

Научно-теоретический журнал

Вестник

Белгородского государственного технологического
университета им. В.Г. Шухова

ISSN 2071-7318

2

2019

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

№ 2, 2019 год

Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова

научно-теоретический журнал

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

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

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

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

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

Официальный сайт журнала: http://vestnik_rus.bstu.ru

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

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

Online подписка: <http://www.akc.ru/itm/255810462/>

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

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

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

- 05.23.01** – Building structures, constructions and facilities (technical sciences)
- 05.23.03** – Heat supply, ventilation, air conditioning, gas supply and lighting (technical sciences)
- 05.23.05** – Building materials and products (technical sciences)
- 05.23.20** – Theory and history of architecture, restoration and reconstruction of historical and architectural heritage (architecture)
- 05.23.21** – Architecture of buildings and structures. Creative concepts of architectural activity (architecture)
- 05.23.22** – Urban planning, rural settlement planning (technical sciences)

- 05.23.22** – Urban planning, rural settlement planning (architecture)
- 05.17.06** – Technology and processing of polymers and composites (technical sciences)
- 05.17.11** – Technology of silicate and refractory nonmetallic materials (technical sciences)
- 05.02.05** – Robots, mechatronics and robotic systems (technical sciences)
- 05.02.07** – Technology and equipment of mechanical and physical-technical processing (technical sciences)
- 05.02.08** – Engineering technology (technical sciences)
- 05.02.13** – Machines, units and processes (branch-wise) (technical sciences)

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

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

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

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

Заместитель главного редактора

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

Члены редакционной коллегии

Айзенштадт Аркадий Михайлович, д-р хим. наук, проф., заведующий кафедрой композиционных материалов и строительной экологии Высшей инженерной школы, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова (РФ, г. Архангельск).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Фишер Ханс-Бертрам, Dr.-Ing., заместитель заведующего кафедрой "Строительные материалы" Баухаус-Университет Ваймар (Германия, г. Веймар).

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

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

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

Юрьев Александр Гаврилович, д-р техн. наук, проф., кафедры теоретической механики и сопротивления материалов (РФ, г. Белгород).

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

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).

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).

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

Andrey G. Bol'shakov, Doctor of Architecture, Professor, Irkutsk National Research Technical University (Russian Federation, Irkutsk).

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, Stavropol).

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 NII ZHB named after A.A. Gvozdeva AO «NIC «Stroitel'stvo» (Russian Federation, Moscow).

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

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

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

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

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

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).

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" KERAM-BET-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. Strokovaya, 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

Высоцкая М.А., Кузнецов Д.А., Курлыкина А.В., Власова Е.А. ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРОПИТОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ С РАЗЛИЧНОЙ ОСНОВОЙ НА АСФАЛЬТОБЕТОН	8
Логанина В.И., Мажитов Е.Б., Аверин И.А., Карманов А.А. ОЦЕНКА СТРУКТУРЫ ПОЛИСИЛИКАТНОГО СВЯЗУЮЩЕГО С ДОБАВКОЙ ГЛИЦЕРИНА	14
Бурьянов А.Ф., Гальцева Н.А., Грунина И.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ПИРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЗАКЛАДКИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК	21
Тольпина Н.М., Шигорева Е.М., Головин М.В., Шигорев Д.С. ПОВЫШЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ БЕТОНОВ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ АКТИВНЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ВТОРОГО ТИПА	27
Модин А.К., Сергеев М.С., Лисятникова М.О., Суханов А.А. АНАЛИЗ РАБОТЫ ВЕРТИКАЛЬНОГО СТЫКА МОНОЛИТНОГО ШПОНОЧНОГО СОЕДИНЕНИЯ ДВУХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПАНЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИБКОЙ СТЕРЖНЕВОЙ АРМАТУРЫ	33
Кужахметова Э.Р. МЕТОДЫ РАСЧЕТА ВАНТ И ВАНТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ	39
Смоляго Г.А., Фролов Н.В. ПРИКЛАДНОЙ СПОСОБ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ И ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С УЧЕТОМ ОПЫТА ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ-АНАЛОГОВ	49
Рыбникова И.А., Рыбников А.М. МЕТОДИКА ПОДГОТОВКИ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ НАТУРНЫХ БУРОНАБИВНЫХ КОНИЧЕСКИХ СВАЙ	55
Карпов Д.Ф. ТЕПЛОВЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТЕРМОКРАСКИ	61
Аверкова О.А., Крюков И.В., Уваров В.А., Минко В.А., Крюкова О.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЫЛИ, ОБРАЗУЕМОЙ В МАНИКЮРНЫХ КАБИНЕТАХ	69
Уляшева В.М., Анисимов С.М., Михайлов Е.В. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА В СИСТЕМАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА ЧИСТЫХ ПОМЕЩЕНИЙ	81
Галюжин С.Д., Лобикова Н.В., Лобикова О.М. МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ПРОЕКТОВ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ	88
Касенкова Я.А., Ладик Е.И. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ТРАНСФОРМАЦИИ ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ МАЛЫХ ГОРОДОВ РФ НА ПРИМЕРЕ Г. ВАЛУЙКИ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ	102
Монастырская М.Е., Песляк О.А. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ	111
Тумасов А.А., Царитова Н.Г. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ОБЪЕМНО-ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФОРМ В АРХИТЕКТУРЕ ИЗ ПЛОСКИХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ СТРУКТУР	122

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Мирошникова О.В., Борисов И.Н. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН, В КАЧЕСТВЕ ВЫГОРАЮЩЕЙ ДОБАВКИ, ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА	131
--	-----

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Кайтуков Б.А., Скель В.И., Горяйнова П.О. ГРАВИТАЦИОННЫЕ БЕТОНОСМЕСИТЕЛИ С УНИФИЦИРОВАННЫМИ МЕХАНИЗМАМИ ПРИВОДА	137
Кушнарев Л.И. К КОНЦЕПЦИИ ОРГАНИЗАЦИИ ФИРМЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ	144
Тетерина И.А., Авдеева А.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАКЕТА КЭ-АНАЛИЗА В ОПРЕДЕЛЕНИИ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ	149
Санин С.Н., Сапелин К.И. АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ ГНУТЫХ ТРУБОПРОВОДОВ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА	156

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Vysotskaya M.A., Kuznetsov D.A., Kurlykina A.V., Vlasova E.A.	8
EFFECTS OF WATERPROOFING MATERIALS WITH DIFFERENT BASIS ON ASPHALT CONCRETE	
Loganina V.I., Mazhitov E.B., Averin I.A., Karmanov A.A.	14
ASSESSMENT OF A POLYSILICATE BINDING STRUCTURE WITH GLYCERINE ADDITIVE	
Buryanov A.F., Galtseva N.A., Grunina I.A.	21
THE USE OF PYROMETALLURGICAL INDUSTRY WASTES IN THE PRODUCTION OF MATERIALS FOR LAYING EXCAVATION	
Tolypina N.M., Shigoreva E.M., Golovin M.V., Shigorev D.S.	27
INCREASE OF CONCRETE INOXIDIZABILITY BY APPLICATION OF ACTIVE FILLERS OF THE SECOND TYPE	
Modin A.K., Sergeev M.S., Lisyatnikova M.O., Sukhanov A.A.	33
ANALYSIS OF VERTICAL JOINT'S WORK IN THE MONOLITHIC KEYED JOINT OF TWO REINFORCED CONCRETE PANELS USING THE FLEXIBLE ROD ARMATURE	
Kuzhakhmetova E.R.	39
METHODS OF CALCULATING CABLES AND CABLE STRUCTURES	
Smolyago G.A., Frolov N.V.	49
APPLIED METHOD FOR PREDICTING CORROSION DAMAGES AND REMAINING RESOURCE OF BENDABLE REINFORCED CONCRETE ELEMENTS TAKING INTO ACCOUNT OPERATING EXPERIENCE OF SIMILAR PROJECTS	
Rybnikova I.A., Rybnikov A.M.	55
THE METHOD OF PREPARATION THE STRAIN GAUGE STUDIES OF NATURAL BORED CONICAL PILES' PERFORMANCE	
Karpov D.F.	61
THERMAL METHODS AND MEANS OF VERIFICATION THE THERMAL CONDUCTIVITY OF THE THERMAL PAINT	
Averkova O.A., Kryukov I.V., Uvarov V.A., Minko V.A., Kryukova O.S.	69
THE STUDY PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF DUST FORMED IN MANICURE CABINETS	
Ulyasheva V.M., Anisimov S.M., Mikhailov E.V.	81
IMPROVING AIR PURIFICATION IN CLEAN ZONES OF MICROCLIMATE SUPPORT SYSTEMS	
Galyuzhin S.D., Lobikava N.V., Lobikava O.M.	88
METHODOLOGY FOR EVALUATING THE PROJECTS OF HEATING SYSTEMS FOR INDIVIDUAL RESIDENTIAL HOUSES	
Kasenkova Y.A., Ladik E.I.	102
PERSPECTIVE METHODS OF TRANSFORMATION THE SOCIAL SPACES OF SMALL CITIES IN THE RUSSIAN FEDERATION ON THE EXAMPLE OF VALUYKI, BELGOROD REGION	
Monastyrskaya M.E., Peslyak O.A.	111
THE METHOD OF DETERMINING THE BOUNDARIES OF URBAN AGGLOMERATIONS	
Tumasov A.A., Tsaritova N.G.	122
GEOMETRIC PATTERNS OF VOLUMETRIC AND SPATIAL FORMS IN ARCHITECTURE OF FLAT KINEMATIC STRUCTURES	

CHEMICAL TECHNOLOGY

Miroshnikova O.V., Borisov I.N.	131
UTILIZING TIRES AS A COMBUSTIBLE ADDITIVE IN CEMENT PRODUCTION	

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

Kaytukov B.A., Skel V.I., Goryaynova P.O.	137
GRAVITATIONAL CONCRETE MIXERS WITH UNIFIED DRIVE MECHANISMS	
Kushnarev L.I.	144
TO THE CONCEPT OF CORPORATE TECHNICAL SERVICE ORGANIZATION OF MACHINERY AND EQUIPMENT	
Teterina I.A., Avdeeva A.A.	149
THE DETERMINATION OF THE STRUCTURAL PARAMETERS OF MECHANICAL ENGINEERING PRODUCTS BY THE FINITE ELEMENT METHOD	
Sanin S.N., Sapelin K.I.	156
AUTOMATION CONTROL OF LARGE DIAMETER BENT PIPELINES	

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.12737/article_5c73fbf09fe241.72442209

^{1,*}Высоцкая М.А., ¹Кузнецов Д.А., ¹Курлыкина А.В., ¹Власова Е.А.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгородская область, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

*E-mail: roruri@rambler.ru

ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРОПИТОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ С РАЗЛИЧНОЙ ОСНОВОЙ НА АСФАЛЬТОБЕТОН

Аннотация. Автомобильные дороги являются важнейшей составляющей экономического развития страны. Они представляют собой комплекс инженерных сооружений, подверженных различного рода деформациям в процессе эксплуатации. Причинами возникающих преждевременных дефектов становятся устаревшие технологии, некачественные материалы, высокие транспортные нагрузки, погодные условия. В среднем, после 2–3 лет эксплуатации новой дороги на асфальтобетонном покрытии возникают ямы, наплывы, выбоины, трещины, колеиность, наличие которых ухудшает условия движения по автомобильной дороге и нарушает беспрепятственный пропуск автомобилей. Для продления жизненного цикла транспортного объекта существуют превентивные мероприятия, предотвращающие разрушения дорожных покрытий. К таким мероприятиям относят регулярное проведение профилактических и ремонтных работ. Одним из эффективных профилактических мероприятий является использование дорожно-пропиточных материалов (ДПМ). Дорожно-пропиточные материалы применяются в случае необходимости предотвращения старения органического вяжущего в составе асфальтобетона в покрытии, а также снижения воздействия внешних факторов. В работе исследовалось влияние основы пропиточного материала двух производителей на показатели свойств асфальтобетона различной степени разрушения. Из рассмотренных пропиточных составов наиболее эффективными оказались ДПМ на основе растворителей. Установлено, что истирающее воздействие на образцы асфальтобетона значительно снижает эффективность пропиточных материалов, особенно на основе битумной эмульсии.

Ключевые слова: дорожно-пропиточные материалы (ДПМ), защита и восстановление асфальтобетона.

Введение. В современном дорожном сообществе вопрос о формировании качественной транспортной сети при минимизации затрат на её содержание и ремонт занимает ключевое место. Асфальтобетонное покрытие лидирует на дорогах РФ. Его широкое применение обосновывается тем, что данный материал имеет ряд положительных свойств (высокая несущая способность, отличная гидроизоляция, высокие упругие свойства, простота содержания и ремонта и т.д.). Однако, несмотря на все имеющиеся достоинства, срок эксплуатации асфальтобетонного покрытия невелик. С течением времени он теряет свои первоначальные свойства за счёт воздействия динамических нагрузок от транспорта и природно-климатических факторов окружающей среды. Под их действием структура асфальтобетона постепенно начинает разрушаться, на покрытии появляются различного рода дефекты, а позже и деформации. Это приводит к увеличению времени транспортировки грузов и пассажиров, стоимости автомобильных перевозок и, в целом, значительно усложняет и удорожает транспортно-грузовую логистику в стране. В связи с чем, для специалистов дорожной отрасли обеспечение долговечности дорог – насущная задача.

Существует немало способов для продления срока эксплуатации дорожного конструктива. Одним из них, на ранних этапах возникновения дефектов, является использование дорожно-пропиточных материалов (ДПМ).

Основная часть. ДПМ – материалы, предназначенные для нанесения на поверхность асфальтобетонного покрытия, служащие для изменения свойств органического вяжущего или защиты поверхности покрытия от воздействия внешних факторов и влаги, проникающих внутрь асфальтобетонного покрытия [1, 2, 5]. Нанесение ДПМ может замедлять старение вяжущего, прогрессирующие разрушения покрытия автомобильной дороги такие как: шелушение, выкрашивание, сетка трещин и другие дефекты, которые в начальный момент не ослабляют конструкцию дорожной одежды.

По составу ДПМ разделяют [1–4]: на основе эмульсий и на основе растворителей (содержащие или не содержащие минеральный материал). Именно на этом классификационном признаке мы и остановимся в работе.

Для исследования и сопоставления влияния основы пропиточного материала на показатели

свойств асфальтобетона из покрытия автомобильной дороги были рассмотрены следующие ДПМ комбинированного типа: Борнит Асфатоп, Борнит Асфатоп-Супер компании «BORNIT» и два защитно-восстанавливающих состава «Брит» от производителя «НоваБрит» [2, 6–12].

Составы «Брит» представляют собой дисперсию минерального наполнителя и неорганических соединений в растворе битумно-полимерного вяжущего в воде или органическом растворителе [6–8]. BORNIT Асфатоп содержит смесь на основе модифицированной полимерами битумной эмульсии с минеральными добавками. В состав пропитки BORNIT Асфатоп-Супер входит модифицированная полимерами битумная смесь, растворители и минеральные добавки [2, 9–12]. Таким образом, для сопоставительного анализа в работе рассматривалось влияние жидкой среды (основы) ДПМ, разных производителей.

В процессе эксперимента изучались следующие показатели:

1. Расход ДПМ при нанесении на дорожное покрытие.

2. Водонасыщение и набухание кернов асфальтобетона из покрытия.

3. Водонасыщение и набухание кернов, покрытых ДПМ (W).

4. Водонасыщение и набухание кернов, покрытых ДПМ после истирающего воздействия W_1 .

5. Водостойкость образцов кернов ($K_{\text{вод}}$) до и после покрытия пропиткой;

6. Прочность на растяжение при расколе при температуре 20 °С (R_p20) образцов кернов до и после покрытия пропиткой.

Рассматривались две серии образцов из покрытия автомобильной дороги: (1) соответствующие требованиям [13] по показателям водонасыщения и малым набуханием, но характеризующиеся незначительным шелушением поверхности и (2) не соответствующие требованиям [13] по указанному показателю и высоким водонасыщением. Данные представлены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительная оценка ДПМ

Исследуемые показатели	Рекомендуемые значения показателей	Образцы без обработки		Рассматриваемые ДПМ							
				Борнит В		Брит В		Борнит Р		Брит Р	
				1	2	1	2	1	2	1	2
Расход ДПМ, л/м ²	–	–		1,12		0,67		0,72		0,72	
Водонасыщение W, %	4,5 не более	3,9	7,37	3,5	5,71	3,1	6,23	3,7	4,07	3,3	4,15
Набухание H, %	–	0,23	0,56	0,18	0,56	0,10	0,18	0,12	0,34	0,14	0,47
Водонасыщение после истирающего воздействия W_1 , %	4,5 не более	–	–	3,7	6,26	3,2	7,00	3,9	5,25	3,7	5,90
Набухание после истирающего воздействия H_1 , %	–	–	–	0,19	0,95	0,15	0,56	0,18	0,45	0,16	0,68
Водостойкость $K_{\text{вод}}$	0,9	0,88	0,84	0,88	0,85	0,89	0,83	0,89	0,85	0,88	0,85
Прочность на растяжение при расколе при температуре 20 °С R_p20 , МПа	–	0,68	0,64	0,69	0,65	0,69	0,64	0,67	0,65	0,68	0,65

Отобранные из покрытия образцы после просушивания до постоянной массы покрывались пропиточным материалом. После формирования защитной плёнки образцы испытывались. Динамика изменения свойств образцов асфальтобетона под воздействием ДПМ приведена в таблице 1.

Анализ влияния пропиточного состава на асфальтобетон из дорожной одежды позволил не только оценить влияние состава ДПМ, эмульсия или растворитель являются основой пропитки, но

и ответить на вопрос – смогут ли ДПМ «улучшить» асфальтобетонные образцы при их несоответствии требованиям ГОСТ.

В соответствии с ГОСТ 9128-2013 «Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия» [13] значение водонасыщения для образцов вырубков и кернов готового покрытия должно быть не более 4,5 %. Для испытания на водонасыщение были взяты образцы, соответствующие техническим требованиям ГОСТ 9128-2013 [13] (1) и значительно их превышающие (2).

Полученные результаты показали, что использование дорожно пропиточных материалов помогает достичь уменьшения водонасыщения. Положительное воздействие на асфальтобетонные керны оказали ДПМ на основе растворителей, благодаря которым водонасыщение уменьшилось до допустимых пределов. При нанесении пропиточных составов на основе эмульсий обозначенный результат достигнут не был. В случае нанесения ДПМ на образцы серии (1) проявилось «консервирующее» свойство пропиточных материалов. Причём наибольший эффект демонстрируют составы пропиточного материала на эмульсионной основе.

Как видно, серия образцов (2) значительно превышает требования [13]. После нанесения пропиточных составов на основе битумной эмульсии на образцы асфальтобетона показатели водонасыщения (W) не достигли значений, отвечающих требованиям [13]. В тоже время, использование ДПМ на основе растворителя позволило снизить исследуемый показатель до нормируемой величины. Очевидно, такой эффект связан с высокой растворяющей способностью пропиточных материалов на основе растворителей. В результате чего, в процессе нанесения пропиточного материала происходит растворение и объединение приповерхностных слоёв асфальтобетона с компонентами ДПМ, с последующим испарением летучего растворителя и кольматацией порового пространства асфальтобетона минеральными включениями пропитки. Однако, как видно из таблицы, этот эффект не долгосрочный. Истирающее воздействие W_1 на образец асфаль-

тобетона быстро убирает «консервирующий эффект». При нанесении ДПМ на основе эмульсии на образцы по водонасыщению соответствующих [13] такой особенности не выявлено, образцы в процессе исследования изменяли показатели незначительно, и существенного влияния ДПМ на показатели свойств не выявлено. Однако нанесение дорожно-пропиточных материалов позволило ликвидировать шелушение поверхности.

После приложения истирающего воздействия к поверхностям образцов серии (2), покрытых пропиточными составами (как на основе эмульсий, так и на основе растворителей) наблюдаются недопустимо высокие показатели водонасыщения (W_1). При обработке пропитками поверхностей асфальтобетона, соответствующих [13] по показателям водонасыщения, после истирающего воздействия сохранились удовлетворительные показатели.

В соответствии с ОДМ [1] принятая норма расхода должна обеспечивать эффективность пропитки ($K_{эф}$) при использовании составов комбинированного действия – не ниже 1,1. Пропиточные материалы являются более эффективными до приложения истирающего воздействия. Это видно на рисунке 1, на котором изображены коэффициенты эффективности ДПМ для образцов асфальтобетона соответствующих [13]. Исходя из рисунка 2, где приведены коэффициенты эффективности для образцов асфальтобетона (2) до ($k_{эф}$) и после ($k_{эф1}$) истирающего воздействия, можно заключить, что наиболее эффективными будут ДПМ на основе растворителей.

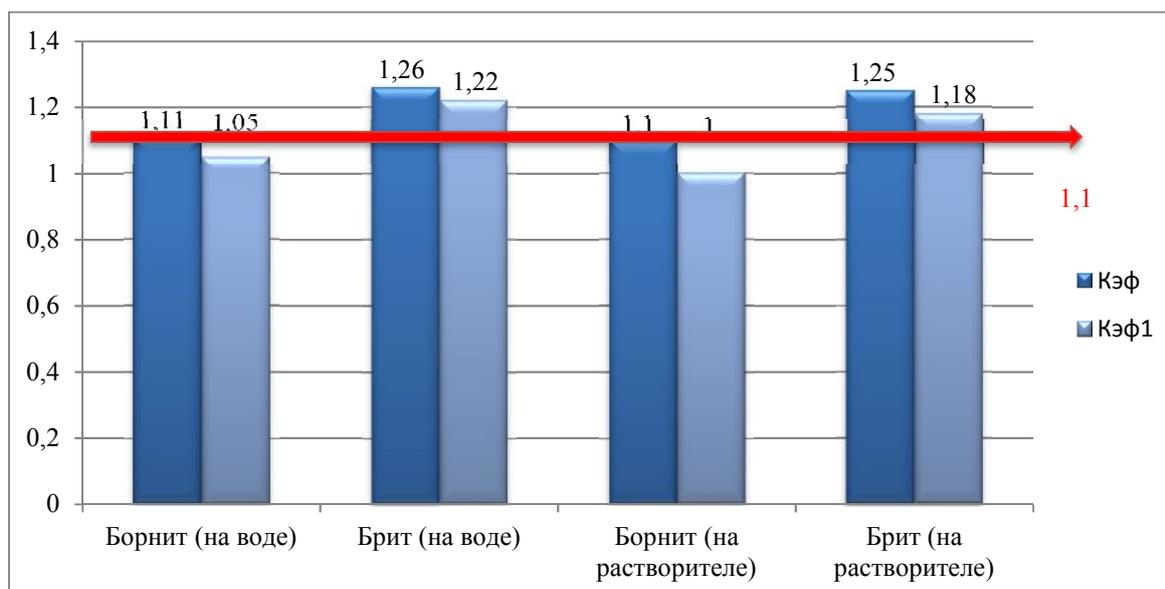


Рис. 1. Коэффициенты эффективности ДПМ, нанесенных на асфальтобетонные образцы соответствующие требованиям ГОСТ 9128-2013

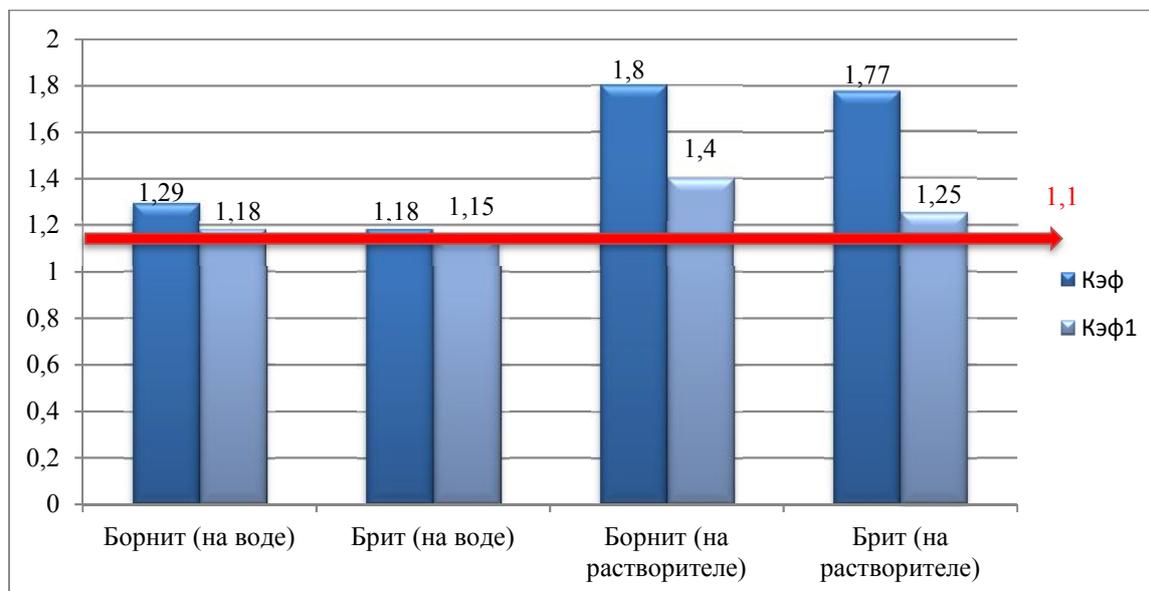


Рис. 2. Коэффициенты эффективности ДПМ, нанесенных на асфальтобетонные образцы не соответствующие требованиям ГОСТ 9128-2013

Выводы. Из рассмотренных пропиточных составов наиболее эффективными оказались ДПМ на основе растворителей. В отличие от ДПМ на эмульсионной основе они максимально улучшили показатели водонасыщения асфальтобетонных образцов, которые не соответствовали нормативным требованиям [13]. Однако, использование рассмотренных ДПМ малоэффективно для дорожного покрытия после приложения истирающего воздействия. Причём, максимальное изменение этого показателя наблюдается у ДПМ на основе растворителя. Таким образом, пропитки не могут полностью остановить деструктивные процессы, а способны только на некоторое время замедлить разрушение дорожной одежды [14, 15]. Очевидно, результативно использовать ДПМ для профилактики покрытия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ОДМ 218.3.073-2016 «Рекомендации по применению пропиточных составов для повышения долговечности асфальтобетонных покрытий». М.: ФДА, 2016. 3 с.
2. Высоцкая М.А., Власова Е.А., Кузнецов Д.А., Курлыкина А.В., Шеховцова С.Ю. Обзор состояния сегмента пропиточных материалов для покрытий автомобильных дорог // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 8. С. 6–12.
3. ASTM D113–7. Developed by Subcommittee: D04.46 – Conshohocken – 2017.
4. ASTM D1754/ D1754M – 09 (2014). Standard Test Method for Elastic Recovery of Bituminous Materials by Ductilometer – Conshohocken – 2014.
5. Траутвайн А.И., Акимов А.Е., Черногиль В.Б., Лукашук А.Г., Яковлев Е.А. Влияние про-

питки «дорлук» на физико-механические характеристики асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №11. С. 11–17.

6. Защитно-восстановительные составы «БРИТ». [Электронный ресурс]: <http://www.brit-g.ru>.

7. Защитно-восстанавливающие составы для асфальта и асфальтобетона «БРИТ». [Электронный ресурс]: <https://arsenal-print.blizko.ru>.

8. Пропитка БРИТ ПП-1. [Электронный ресурс]: <https://mastika-brit.company/БРИТ-ПП-пропитка.html>.

9. BORNIT-Асфатоп – пропитка для асфальта. [Электронный ресурс]: <http://www.aeroplan-spb.ru>.

10. BORNIT®-Асфатоп Готовые смеси. [Электронный ресурс]: <http://uralroad.ru>.

11. Пропитка для асфальта Борнит Асфатоп. [Электронный ресурс]: <https://psk-holding.ru>.

12. Ремонт асфальта и бетона. [Электронный ресурс]: <http://asphatop.com>.

13. ГОСТ 9128-2013 «Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия». М.: ФДА, 2013. С. 2–5.

14. Высоцкая М.А., Власова Е.А., Абубакар Махамату. Технологично, просто, эффективно! // Мир дорог. 2017. № 88. С. 52–54.

15. Курлыкина А.В., Власова Е.А., Ширяев А.О. Влияние ДПМ на свойства асфальтобетона из покрытия автомобильной дороги [Электронный ресурс] // Новая наука: история становления, современное состояние, перспективы развития. 2018. № 1. URL: <https://ami.im>.

Информация об авторах

Высоцкая Марина Алексеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: roruri@rambler.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Кузнецов Дмитрий Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: xidox@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Курлыкина Анастасия Владимировна, магистрант кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: anastasiyakurlykina@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Власова Евгения Александровна, аспирант кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: a.vlasova@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в декабре 2018 г.

© Высоцкая М.А., Кузнецов Д.А., Курлыкина А.В., Власова Е.А., 2019

^{1,*}*Vysotskaya M.A., ¹Kuznetsov D.A., ¹Kurlykina A.V., ¹Vlasova E.A.*

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

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

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

EFFECTS OF WATERPROOFING MATERIALS WITH DIFFERENT BASIS ON ASPHALT CONCRETE

Abstract. Roads are an essential component of country's economic development. They represent a complex of engineering structures subjected to various kinds of deformations during operation. The causes of premature defects are outdated technologies, poor quality materials, high traffic loads, and weather conditions. On the average, after 2-3 years of the new road operation pits, overflows, potholes, cracks, rutting occur on asphalt concrete pavement, its presence worsens the traffic conditions on the road and violates the unimpeded passage of cars. To extend the life cycle of a transport object, there are preventive measures that prevent the destruction of road surfaces. Such activities include regular maintenance and repair work. One of the effective measures is the use of road impregnation materials (RIM). Road-impregnation materials are used in case of need to prevent aging of the organic binder in the composition of asphalt concrete in the coating, as well as to reduce the impact of external factors. In this article, the influence of the basis of the impregnating material of two manufacturers on the indicators of the properties of asphalt concrete of various degrees of destruction is investigated. Among the considered impregnating compositions, solvent-based road impregnation materials proved to be the most effective. It has been established that the abrasive effect on samples of asphalt concrete significantly reduces the effectiveness of impregnating materials, especially based on bitumen emulsion.

Keywords: road impregnation materials (RIM), protection and restoration of asphalt concrete.

REFERENCES

1. Branch road of the methodological document 218.3.073-2016 "Recommendations for the use of impregnating formulations to enhance the durability of asphalt concrete pavements". Moscow, FDA, 2016, p. 3.
2. Vysotskaya M.A., Vlasova E.A., Kuznetsov D.A., Kurlykina A.V., Shekhovtsova S.Yu. Review of the state of the segment of impregnating materials for road coatings. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 8, pp. 6–12.
3. ASTM D113 – 17. Developed by Subcommittee: D04.46, Conshohocken, 2017.

4. ASTM D1754/ D1754M - 09. Standard Test Method for Elastic Recovery of Bituminous Materials by Ductilometer, Conshohocken, 2014.

5. Trautwein A.I., Akimov A.E., Chernovil V.B., Lukashuk A.G., Yakovlev E.A. The influence of impregnation "darlok" on the physico-mechanical characteristics of asphalt concrete coverings of highways. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2008, no. 11, pp. 11–17.

6. Protective-regenerative impregnation of asphalt concrete pavement "PARAGON Asfaltovit" / LAS-320. Available at: <http://www.paragongroup.ru/las.html>.

7. The protective restoring structures for asphalt and asphalt concrete "BRIT". Available at: <https://arsenal-print.blizko.ru>.

8. Impregnation BRIT PP-1. Available at: <https://mastika-brit.company/BRIT-PP-impregnation.html>.

9. BORNIT-Asfatop - impregnation for asphalt. Available at: <http://www.aeroplan-spb.ru>.

10. BORNIT®-Asfatop Ready-mix. Available at: <http://uralroad.ru>.

11. Impregnation for asphalt Bornite Asfatop. Available at: <https://pskholding.ru>.

12. Repair of asphalt and concrete. Available at: <http://asphatop.com>.

13. GOST 9128-2013 "Asphalt concrete mixtures, polymer asphalt concrete, asphalt concrete, polymer asphalt concrete for highways and airfields. Technical conditions", M.: FDA, 2013, pp. 2–5.

14. Vysotskaya M.A., Vlasova E.A., Abubakar Mahamadou. Technologically advanced, simple, efficient! World roads, 2017, no. 88, pp. 52–54.

15. Kurlykina A.V., Vlasova E.A., Shiryayev A.O. Influence of PDM on the properties of asphalt concrete from the pavement of the highway. New science: history of formation, current state, development prospects, 2018, no. 1, Available at: <https://ami.im/sbornik/MNPK-221-1>.

Information about the authors

Vysotskaya, Marina A. PhD, Assistant professor. E-mail: roruri@rambler.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Kuznetsov, Dmitriy A. PhD, Assistant professor. E-mail: xidox@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Kurlykina, Anastasiya V. Master student. E-mail: anastasiyakurlikina@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Vlasova, Evgenia A. Postgraduate student. E-mail: a.vlasova@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in Desember 2018

Для цитирования:

Высоцкая М.А., Кузнецов Д.А., Курлыкина А.В., Власова Е.А. Воздействие пропиточных материалов с различной основой на асфальтобетон // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №1. С. 8–13. DOI: 10.12737/article_5c73fbf09fe241.72442209

For citation:

Vysotskaya M.A., Kuznetsov D.A., Kurlykina A.V., Vlasova E.A. Effects of waterproofing materials with different basis on asphalt concrete. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 2, pp. 8–13. DOI: 10.12737/article_5c73fbf09fe241.72442209

DOI: 10.12737/article_5c73fbf3898734.46559446

^{1,*}Логанина В.И., ¹Мажитов Е.Б., ²Аверин И.А., ²Карманов А.А.¹Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28

²Пензенский государственный университет

Россия, 440026, г. Пенза, ул. Красная, 40

*E-mail: loganin@mail.ru

ОЦЕНКА СТРУКТУРЫ ПОЛИСИЛИКАТНОГО СВЯЗУЮЩЕГО С ДОБАВКОЙ ГЛИЦЕРИНА

Аннотация. В статье представлены результаты исследования свойств золь силикатной краски при введении в рецептуру добавки глицерина. Показано, что введение глицерина улучшает смачиваемость высокодисперсных наполнителей и обеспечивает повышение когезионной прочности покрытий. Установлено, что введение глицерина в рецептуру краски улучшает ее розлив. Выявлен водоудерживающий эффект от введения глицерина. Установлено повышение качества внешнего вида покрытий на основе золь силикатной краски с добавкой глицерина. Показано, что наличие в рецептуре золь силикатной краски добавки глицерина способствует хранению краски при температуре $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение более 46 суток с сохранением свойств краски, что повышает ее технологичность. Химическая структура полисиликатных растворов с добавкой глицерина осуществлялась на ИК фурье-спектрометре ФСМ 1201 с использованием приставки многократного нарушения полного внутреннего отражения МНПВО36 в спектральном диапазоне $650\text{--}3950\text{ см}^{-1}$ с разрешением 4 см^{-1} . Показано, что взаимодействие калиевого жидкого стекла и глицерина носит слабый характер и обусловлено частичным замещением ионов водорода ионами калия. Предложено механизм взаимодействия калиевого жидкого стекла и глицерина, заключающийся в частичном замещении ионов водорода H^+ ионами K^+ .

Ключевые слова: полисиликатное связующее, глицерин, ИК-спектроскопия, золь силикатная краска.

Введение. Анализ научно-технической литературы убедительно свидетельствуют о перспективности нанотехнологии для повышения качества строительных материалов [1–5]. Так, в работах [6–10] отмечается, что формование материалов из растворов с использованием золь-гель процессов получило интенсивное развитие направление в технологии керамики и неорганических композитов. О перспективности применения золя кремниевой кислоты в строительных материалах различного функционального назначения свидетельствуют также работы [11, 12]. Золь кремниевой кислоты находит применение также при получении полисиликатных растворов, которые являются пленкообразователями для золь силикатных красок.

О перспективности применения при отделке и реставрации зданий золь силикатной краски свидетельствуют публикации в научно-технической и патентной литературе [13]. В настоящее время на рынке лакокрасочных материалов имеется золь силикатная краска производства Германии. Учитывая актуальность импортозамещения, нами разработан состав золь силикатной краски, включающий полисиликатное связующее, пигменты, наполнитель, добавки [14–17]. Проведенные исследования подтвердили высокие эксплуатационные свойства покрытий на основе золь силикатной краски. Марка по морозостойкости

покрытий составляет F35, прочность при растяжении $R_p=2,296\text{ МПа}$, предельная растяжимость $0,018\text{ мм/мм}$, адгезия покрытий на растворной подложке, определяемая методом решетчатого надреза в соответствии с ГОСТ 31149-2014, составляет 2 балла.

Основная часть. Для регулирования свойств краски предложено вводить в рецептуру добавку глицерина. Было установлено, что введение данной добавки в рецептуру краски улучшает ее розлив. Так, время розлива золь силикатной краски на растворной подложке составляет 7 мин 20 сек, а при введении глицерина – 6 мин 15 сек. Наличие в рецептуре золь силикатной краски добавки глицерина способствует хранению краски при температуре $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение более 46 суток с сохранением свойств краски, что повышает ее технологичность.

Введение глицерина улучшает смачиваемость высокодисперсных наполнителей и обеспечивает превышение сил адгезии над силами когезии и препятствует отрыву покрытия от подложки.

Выявлен водоудерживающий эффект от введения глицерина. Для исследования водоудерживающей способности красок в качестве пористой поверхности применяли фильтровальную бумагу. При нанесении капли краски на фильтро-

вальную бумагу диаметром $d_{кр}$ водная фаза образует кружок вокруг капли диаметром $d_{ф}$. Диаметр этого кружка характеризует степень проникновения водной фазы в подложку. По отношению $d_{ф}/d_{кр}$ можно судить о водоудерживающей способности краски. Анализ результатов проведенных исследований свидетельствует, что значения $d_{ф}/d_{кр}$ для золь силикатной краски (без глицерина) составляет 1,448, а для краски с глицерином – 1,06, что свидетельствует о большей водоудерживающей способности золь силикатной краски с добавкой глицерина.

Анализ научно-технической литературы свидетельствует, что краски, дающие круги малого диаметра $d_{ф}$, легко наносятся на пористые поверхности, образуя качественное покрытие [18]. Результаты проведенных нами исследований показывают, что шероховатость поверхности

покрытия на основе золь силикатной краски – $R_a=9,125$ мкм, а на основе золь силикатной краски с добавкой глицерина – 6,207 мкм.

Изучение структуры полисиликатных растворов с добавкой глицерина осуществлялось на ИК фурье-спектрометре ФСМ 1201 (ООО «Инфраспек», Россия) с использованием приставки многократного нарушения полного внутреннего отражения МНПВО36 с призмой ZnSe [19–21]. Измерения проводились в спектральном диапазоне $650\text{--}3950\text{ см}^{-1}$ с разрешением 4 см^{-1} .

На рис.1 представлены ИК-спектры МНПВО (многократного нарушения полного внутреннего отражения) полисиликатных растворов различного состава. Для лучшей визуализации спектры сдвинуты друг относительно друга по абсолютной величине пропускания на 0,3, 0,6 и 0,9 отн. Ед/

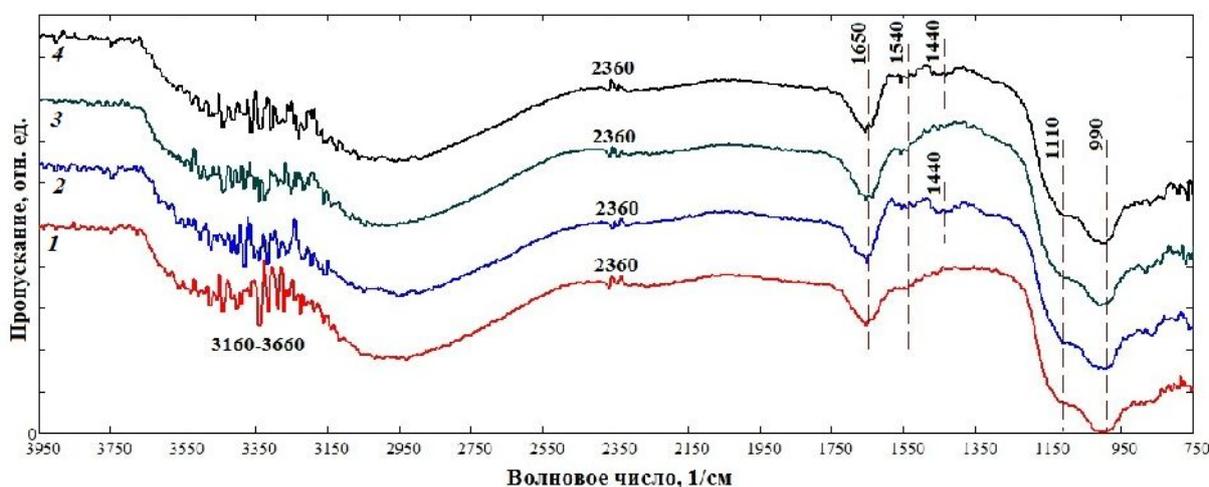


Рис. 1. ИК-спектры МНПВО полисиликатных растворов:

- 1 – калиевое жидкое стекло; 2 – калиевое жидкое стекло + глицерин;
3 – калиевое жидкое стекло + золь кремниевой кислоты; 4 – калиевое жидкое стекло + глицерин + золь кремниевой кислоты

При анализе ИК-спектров полисиликатных растворов установлены характерные полосы и пики поглощения, отвечающие как их качественному составу, так и влиянию добавки глицерина на структуру связующего. Например, на ИК-спектрах наблюдается полоса поглощения в спектральном диапазоне $900\text{--}1200\text{ см}^{-1}$ с локальными минимумами пропускания 990 и 1100 см^{-1} . Первый из этих минимумов отвечает валентным колебаниям Si-OH трех типов гидроксидов, что, очевидно, вызвано поликонденсацией гидратированных ионов HSiO_4 , H_3SiO_4 , а второй соответствует валентным асимметричным колебаниям мостикового кислорода Si-O-Si, а также валентным C-O колебаниям многоатомного спирта (глицерина).

Анализ ИК-спектров показывает, что в составе полисиликатного раствора содержится

вода, как в связанном, так и свободном виде. На это указывает широкая полоса поглощения $3160\text{--}3660\text{ см}^{-1}$, отвечающая валентным симметричным колебаниям O-H группы (вода, связанная с полисиликатным раствором), и пик поглощения при 1650 см^{-1} , который характеризует деформационные H-O-H колебания (вода в несвязанном виде). На присутствие в исследуемых растворах малого количества растворенного атмосферного углекислого газа, указывает слабое поглощение при 1540 и 2360 см^{-1} , отвечающее деформационным и валентным асимметричным колебаниям C=O соответственно.

Главной особенностью ИК-спектров МНПВО силикатных растворов с добавкой глицерина является наличие локального минимума при 1440 см^{-1} (рис. 2), достоверная идентифика-

ция которого затруднена. Однако, поскольку данная колебательная мода присутствует только в полисиликатных растворах с добавкой глицерина, можно предположить, что она отвечает деформационным колебаниям $-CH_2-CO-X$, где X – фрагмент молекулы глицерина, взаимодействующий с калиевым жидким стеклом. При этом другие полосы и пики поглощения, характерные для глицерина и его взаимодействия с компонентами исследуемых полисиликатных растворов, явным образом не прослеживаются, что, по всей видимости, связано с малым содержанием многоатомного спирта в связующем.

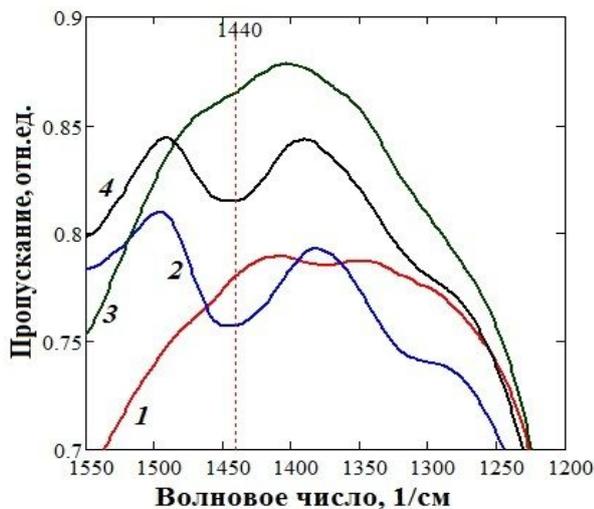


Рис. 2. Фрагмент ИК-спектров МНПВО полисиликатных растворов:

- 1 – калиевое жидкое стекло; 2 – калиевое жидкое стекло + глицерин; 3 – калиевое жидкое стекло + золь кремниевой кислоты; 4 – калиевое жидкое стекло + глицерин + золь кремниевой кислоты

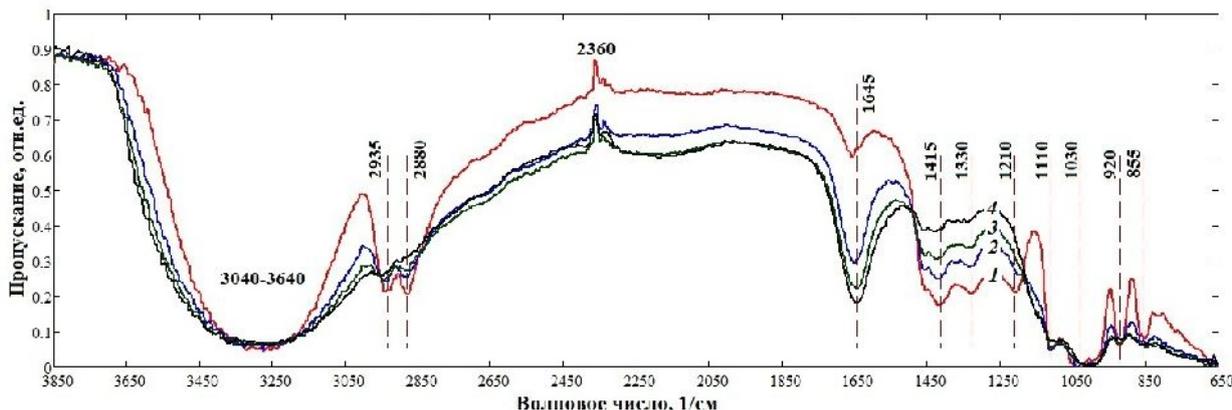


Рис. 3. ИК-спектры МНПВО полисиликатных растворов с различным содержанием калиевого жидкого стекла и глицерина: 1 – 20:80; 2 – 40:60; 3 – 60:40; 4 – 80:20

Анализ представленных ИК-спектров показывает, что для исследуемых полисиликатных растворов с различным содержанием калиевого жидкого стекла и глицерина характерны аналогичные колебательные моды. При этом характерные для глицерина полосы и пики поглощения проявляются более явно. Например, на

Обобщенные результаты анализа ИК-спектров полисиликатных растворов различного состава представлены в табл. 1.

Таблица 1

Интерпретация характеристических полос и пиков поглощения в ИК-спектрах МНПВО полисиликатных растворов различного состава

Положение линий поглощения, см ⁻¹	Интерпретация
990	валентным колебаниям Si-OH трех типов гидроксидов
1110	валентные асимметричные колебания мостикового кислорода Si-O-Si; деформационные C-O многоатомного спирта
1440	деформационные $-CH_2-CO-R$
1540	деформационные C=O
1650	деформационные H-O-H
2360	валентные асимметричные C=O
3160–3660	валентные симметричные O-H

Вышеизложенное предположение о взаимодействии глицерина и калиевого жидкого стекла, проявляющееся в появлении колебательной моды $-CH_2-CO-X$, было проверено на полисиликатных растворах с различным содержанием глицерина. На рис. 3 представлены ИК-спектры МНПВО полисиликатных растворов с различным содержанием калиевого жидкого стекла и глицерина: 1 – 20:80; 2 – 40:60; 3 – 60:40; 4 – 80:20.

ИК-спектрах наблюдаются две четко выраженные полосы (2880 и 2935 см⁻¹), соответствующие валентным симметричным и асимметричным колебаниям $-CH_2-$. В спектральном диапазоне 1150–1450 см⁻¹, в дополнение к колебательной моде $-CH_2-CO-X$ (1440 см⁻¹), присутствуют относительно слабые пики поглощения 1210 и 1330 см⁻¹, соответствующие деформационным

колебаниями С-С и -СН₂- маятникового типа. Также в полисиликатных растворах с высоким содержанием глицерина четко выражены полосы и пики поглощения, отвечающие деформационным колебаниями R-O-H (855 см⁻¹) и С-O-H (920 см⁻¹) связей. Сильное поглощение при 1030 см⁻¹, наблюдаемое ИК-спектрах МНПВО полисиликатных растворов, по всей видимости, соответствует как валентным симметричным колебаниям мостикового кислорода Si-O-Si (калиевое жидкое стекло), так и деформационным колебаниям С-O (глицерин).

Обобщенные результаты анализа ИК-спектров полисиликатных растворов с различным содержанием калиевого жидкого стекла и глицерина представлены в табл. 2.

Таблица 2

Интерпретация характеристических полос и пиков поглощения в ИК-спектрах МНПВО полисиликатных растворов калиевого жидкого стекла и глицерина с различным содержанием компонентов

Положение линий поглощения, см ⁻¹	Интерпретация
855	деформационные R-O-H
920	деформационные колебания С-O-H
1030	валентные симметричные колебания мостикового кислорода Si-O-Si; деформационные С-O
1110	валентные асимметричные колебания мостикового кислорода Si-O-Si; деформационные С-O многоатомного спирта
1210	деформационные С-С
1330	маятниковые -СН ₂ -
1415 (1420, 1430, 1440)	деформационные -СН ₂ -CO-X
1645	деформационные Н-O-H
2360	валентные асимметричные O=C=O
2880	валентные симметричные -СН ₂ -
2935	валентные асимметричные -СН ₂ -
3040-3640	валентные симметричные O-H

На рис. 4 представлен фрагмент ИК-спектров МНПВО полисиликатных растворов с различным содержанием компонентов.

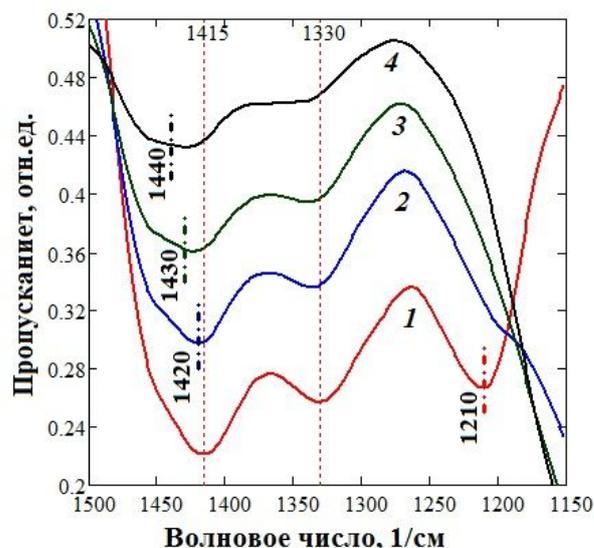
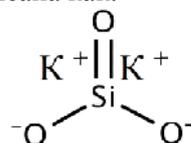
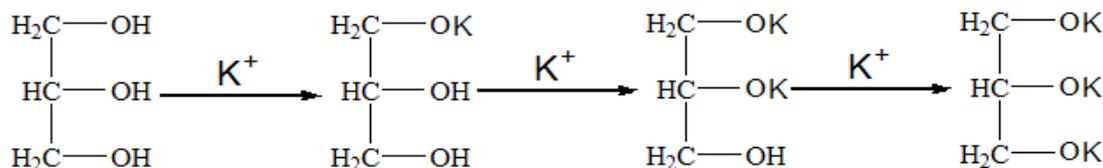


Рис. 4. Фрагмент ИК-спектров МНПВО полисиликатных растворов с различным содержанием калиевого жидкого стекла и глицерина: 1 – 20:80; 2 – 40:60; 3 – 60:40; 4 – 80:20

Исходя из анализа представленных ИК-спектров, можно сделать вывод как об уменьшении интенсивности пика поглощения, соответствующего деформационным колебаниям -СН₂-CO-X, так и о смещении его положения в длинноволновую область при увеличении содержания глицерина (с 1440 см⁻¹ до 1415 см⁻¹). Данное явление, по всей видимости, может быть объяснено следующим механизмом взаимодействия калиевого жидкого стекла и глицерина. В частности, известно, что калиевое жидкое стекло включает ионы К⁺, а его развернутая химическая формула может быть записана как:



В свою очередь глицерин, являющийся простейшим многоатомным спиртом, может вступить во взаимодействие с ионами К⁺, образовав глицерат калия:



При этом возможно, как частичное замещение ионов водорода Н⁺ ионами К⁺, так и полное, в зависимости от соотношения реагирующих компонентов. Это в свою очередь обуславливает различную интенсивность и положение (1415,

1420, 1430 и 1440 см⁻¹) пика поглощения, соответствующего деформационным колебаниям -СН₂-CO-X, где X – фрагмент молекулы глицерина, в котором ионы водорода Н⁺ частично или полностью замещены ионами К⁺.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Королев Е.В. Проблемы и перспективы нанотехнологии в строительстве // Известия КазГАСУ. 2011. № 2 (16). С. 200–208.
2. Кукоз Ф.И., Кукоз В.Ф., Муковнин А.А. Нанотехнология: состояние, проблемы, решения, перспективы // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2006. №3. С. 64–66.
3. Жданок С.А., Хрусталева Б.М., Батяновский Э.И., Леонович С.Н. Нанотехнологии в строительном материаловедении: реальность и перспективы // Наука и техника. 2009. №3. С. 5–23.
4. Бальмаков М.Д., Пухаренко Ю.В. Наноконпозиционное материаловедение // Вестник гражданских инженеров. 2005. № 3(4). С. 53–57.
5. Королев Е.В., Баженов Ю.М., Береговой В.А. Модифицирование строительных материалов нанокремнеземными трубками и фуллеренами // Строительные материалы. Наука. 2006. №8. С. 2–4.
6. Пухаренко Ю.В., Рыжов Д.И. О влиянии углеродных фуллероидных наночастиц на тепло-выделение цементного теста // Вестник гражданских инженеров. 2013. № 4 (39). С. 156–161.
7. Кручинин Л.П. А.С. 477149 (СССР) Смесь для изготовления огнеупорного теплоизоляционного материала. Заявл. 01.03.78, опублик. 07.09.80. в Б.И., 1980, № 33 МКИ С 04 В.
8. Figovskiy O.L., Beylin D.A. Nanostructured Silicate Polymer Concrete // Vestnik MGSU. 2014. № 3. Pp. 197–204.
9. Логанина В.И., Давыдова О.А. Известковые отделочные составы на основе золь-гель технологии // Строительные материалы. 2009. № 3. С. 50–51.
10. Greenwood P. Modified silica sols: titania dispersants and co-binders for silicate paints. PIGMENT&RESINTECHNOLOGY. 2010. Vol. 39. Issue 6. pp. 315–321 DOI: 10.1108/03699421011085803
11. Получение и применение гидрозолей кремнезема / под ред. Ю. Г. Фролова. М.: Труды МХТИ им. Д. И. Менделеева, 1979.
12. Айлер Р. Химия кремнезема. В 2 т. М.: Мир, 1982.
13. Гуляев А.А., Непомилуев А.М., Земляной К.Г. Патент РФ RU 2 272 820 Силикатная краска С09D 1/02 Патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный технический университет». Заявка № 2004124088/04, 06.08.2004 Опубликовано: 27.03.2006 Бюл. № 9.
14. Loganina V.I., Kislytsyna S.N., Mazhitov. Y.B. Structure and Properties of the Modified Binding for Silicate Paints // Materials Science Forum. 2018. Vol. 931. Pp. 469–474.
15. Логанина В.И., Кислицына С.Н., Мажитов Е.Б. Разработка рецептуры золь-силикатной краски // Региональная архитектура и строительство. 2017. №3. С. 51–53.
16. Логанина В.И., Кислицына С.Н., Мажитов Е.Б. Длительная прочность покрытий на основе золь силикатной краски // Вестник МГСУ. 2018. Том 13. Выпуск 7. С. 877–884.
17. Логанина В.И., Кислицына С.Н., Мажитов Е.Б. Свойства жидкого стекла с добавкой золя кремниевой кислоты // Известия вузов. Строительство. 2017. №8. С. 74–79.
18. Быховский А. И. Растекание. Киев: «Наукова думка», 1983.
19. Кудашов А.А. Исследование качественного и количественного состава золь ортокремневой кислоты // Молодой ученый. 2013. №6. С. 63–68.
20. Аверин И.А., Карпова С.С., Мошников В.А., Никулин А.С., Печерская Р.М., Пронин И.А. Управляемый синтез тонких стекловидных пленок // Нано- и микросистемная техника. 2011. № 1. С. 23–25.
21. Логанина В.И., Аверин И.А., Мажитов Е.Б., Карманов А.А. Состав полисиликатного связующего для силикатных красок // Академический Вестник УРАЛНИИпроект РААСН. 2017. №4. С. 69–72.

Информация об авторах

Логанина Валентина Ивановна, доктор технических наук, профессор кафедры управления качеством и технология строительного производства. E-mail: loganin@mail.ru. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. Россия, 440028, Пенза, ул. Титова, 28.

Мажитов Еркебулан Бисенгалиевич, аспирант кафедры управления качеством и технология строительного производства. E-mail: mazhitov201090@gmail.com. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. Россия, 440028, Пенза, ул. Титова, 28.

Аверин Игорь Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры нано-и микроэлектроники. E-mail: nano-micro@mail.ru. Пензенский государственный университет. Россия, 440026, Пенза, ул. Красная, 40.

Карманов Андрей Александрович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры нано-и микроэлектроники. E-mail: nano-micro@mail.ru. Пензенский государственный университет. Россия, 440026, Пенза, ул. Красная, 40.

Поступила в ноябре 2018 г.

© Логанина В.И., Мажитов Е.Б., Аверин И.А., Карманов А.А., 2019

^{1,*}Loganina V.I., ¹Mazhitov E.B., ²Averin I.A., ²Karmanov A.A.

¹Penza State University of Architecture and Construction

Russia, 440028, Penza, st. Titova, 28

²Penza State University

Russia, 440026, Penza, st.Red, 40

* E-mail: loganin@mail.ru

ASSESSMENT OF A POLYSILICATE BINDING STRUCTURE WITH GLYCERINE ADDITIVE

Abstract. The article presents the results of the study of sol-silicate paint properties with the addition of glycerin. The introduction of glycerol improves the wettability of highly dispersed fillers and provides an increase in the cohesive strength of coatings. It is established that the introduction of glycerin improves paint's spill. Water-retaining effect from the introduction of glycerol is identified. The quality increase of coatings based on sol-silicate paint with the addition of glycerin is established. It is shown, that the addition of glycerin in the sol-silicate paint promotes the paint storage at a temperature of -5 °C for more than 46 days while preserving the properties of the paint, which increases its manufacturability. The chemical structure of polysilicate solutions with the addition of glycerin is carried out on FSM 1201 IR Fourier spectrometer using the attachment of multiple violation of the total internal reflection of MNPVO36 in the spectral range of 650–3950 cm^{-1} with a resolution of 4 cm^{-1} . It is shown that the interaction of potassium liquid glass and glycerin is weak and due to the partial replacement of hydrogen ions with potassium ions. A mechanism is proposed for the interaction of potassium liquid glass and glycerin, which consists in the partial replacement of hydrogen ions by H^+ ions by K^+ ions.

Keywords: polysilicate binder, glycerin, IR spectroscopy, sol-silicate paint

REFERENCES

1. Korolev E.V. Problems and prospects of nanotechnology in construction. News of KazGASU. 2011, no. 2 (16), pp. 200–208.
2. Kukoz F.I., Kukoz V.F., Mukovnin A.A. Nanotechnology: state, problems, solutions, prospects. News of universities. North Caucasus region. Engineering science, no. 3, pp. 64–66.
3. Zhdanok S.A., Khrustalev B.M., Batyanovskiy E.I., Leonovich S.N. Nanotechnologies in building materials science: reality and prospects. Science and technology, 2009, (3), pp. 5–23.
4. Balmakov M.D., Puharenko Yu.V. Nanocomposite materials science. Bulletin of civil engineers, 2005, no. 3 (4), pp. 53–57.
5. Korolyov Ye.V., Bazhenov Yu.M., Beregovoy V.A. Modification of building materials by carbon tubes and fullerenes by nan. Construction materials-The science, 2006, no. 8, pp. 2–4.
6. Puharenko Yu.V., Ryzhov D.I. On the effect of carbon fulleroid nanoparticles on heat dissipation of cement paste. Bulletin of civil engineers, 2013, no. 4 (39), pp. 156–161.
7. Figovskiy O.L., Beylin D.A., Kruchinin L.P. A.S. 477149 (USSR) Mix for the manufacture of refractory insulating material. Appl, 01.03,78, publ. 09/07/80. in BI, 1980, N 33 MKI S 04 V
8. Figovskiy O.L., Beylin D.A. Nanostructured Silicate Polymer Concrete. Vestnik MGSU, 2014, no. 3, pp. 197–204.
9. Loganina V.I., Davydova O.A. Alvestic finishing compositions based on sol-gel technology. Construction materials, 2009, vol. 3, pp. 50–51.
10. Greenwood P. Modified silica sols: titania dispersants and co-binders for silicate paints. PIGMENT & RESINTECHNOLOGY, 2010, vol. 39, issue 6, pp. 315–321. DOI: 10.1108 / 03699421011085803.
11. Frolova Yu.G. Preparation and use of silica hydrosols. M.: Trudy MKhTI them. DI Mendeleev, 1979.
12. Ailer P. Chemistry of silica. In 2 t. M.: Mir, 1982.
13. RF Patent RU 2 272 820 Silicate Paint C09D 1/02 Gulyaev Anatoly Alekseevich, Nepomiluev Andrey Mikhailovich, Zemlyanoy Kirill Gennadyevich. No. 2004124088/04.

14. Loganina V.I., Kislitsyna S.N., Mazhitov Y.B. Structure and Properties of the Modified Binding for Silicate Paints. Materials Science Forum, 2018, vol. 931, pp. 469–474.

15. Loganina V.I., Kislitsyna S.N., Mazhitov E.B. Development of the formulation of the sol-silicate paint. Regional architecture and construction, 2017, no. 3, pp. 51–53.

16. Loganina V.I., Kislitsyna S.N., Mazhitov E.B. The durability of coatings based on sol silicate paint. Vestnik MGSU, 2018, vol. 13, issue 7, pp. 877–884.

17. Loganina V.I., Kislitsyna S.N., Mazhitov E.B. Properties of liquid glass with the addition of

silica sol. Proceedings of the universities, Construction, 2017, no. 8, pp. 74–79.

18. Bykhovsky A.I. Spreading. Kiev: "Naukova Dumka", 1983.

19. Kudashov A.A. Study of the qualitative and quantitative composition of sols of orthosilicic acid. Young Scientist, 2013, no. 6, pp. 63–68.

20. Averin I.A., Karpova S.S., Moshnikov V.A., Nikulin A.S., Pecherskaya P.M., Pronin I.A. Controlled synthesis of thin vitreous films. Nano- and microsystem technology, 2011, no.1, pp. 23–25.

21. Loganina V.I., Averin I.A., Mazhitov E.B., Karmanov A.A. Composition of polysilicate binder for silicate paints. Academic Bulletin URAL-NIIproekt RAACS, 2017, no.4, pp. 69–72.

Information about the authors

Loganina, Valentina I. DSc, Professor. E-mail: loganin@mail.ru. Penza State University of Architecture and Construction. Russia, 440028, Penza, st. Titova, 28.

Mazhitov, Erkebulan B. Postgraduate student. E-mail: mazhitov201090@gmail.com. Penza State University of Architecture and Construction. Russia, 440028, Penza, st. Titova, 28.

Averin, Igor A. DSc, Professor. E-mail: nano-micro@mail.ru. Penza State University. Russia, 440026, Penza, st. Krasnaya, 40.

Karmanov, Andrei A. PhD, Associate Professor. E-mail: nano-micro@mail.ru. Penza State University. Russia, 440026, Penza, st. Krasnaya, 40.

Received in November 2018

Для цитирования:

Логанина В.И., Мажитов Е.Б., Аверин И.А., Карманов А.А. Оценка структуры полисиликатного связующего с добавкой глицерина // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №2. С. 14–20. DOI: 10.12737/article_5c73fbf3898734.46559446

For citation:

Loganina V.I., Mazhitov E.B., Averin I.A., Karmanov A.A. Assessment of a polysilicate binding structure with glycerine additive. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 2, pp. 14–20. DOI: 10.12737/article_5c73fbf3898734.46559446

DOI: 10.12737/article_5c73fbf50c6942.61479060

¹Бурьянов А.Ф., ^{1,*}Гальцева Н.А., ¹Грунина И.А.¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д.26.

*E-mail: galcevanadezda@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ПИРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЗАКЛАДКИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Аннотация. В данной статье рассматривается возможность внедрения промышленных отходов в производство строительных материалов. А именно, вариант использования концентрированной серной кислоты для получения модифицированного ангидритового вяжущего, применяемого при изготовлении закладочных смесей. Актуальность вопроса обусловлена тем, что на предприятиях пирометаллургической промышленности, при обжиге руд, выделяется большое количество оксида серы, из которого, в свою очередь, получается концентрированная серная кислота. Серную кислоту возможно переработать в синтетический ангидрит, который после модифицирования используют в закладочных смесях, применяемых для заполнения пустот горных выработок. Для модифицирования синтетического ангидрита использовался комплекс щелочного и сульфатного активаторов (сульфата калия и портландцемента). На основе анализа физико-механических свойств природного и синтетического ангидрита и уже существующих результатов исследований, опытным путём подобрано оптимальное соотношение компонентов модифицированного состава. Разработанная технология получения модифицированного вяжущего проста и возможна в применении непосредственно на месте выработок. Проведено сравнение технологических и физико-механических свойств полученного материала с уже существующими составами, применяемыми для аналогичных видов работ. В результате чего, доказано соответствие модифицированных закладочных смесей предъявляемым требованиям, а также экономическая эффективность применения синтетического ангидрита.

Ключевые слова: синтетический ангидрит, модифицированное вяжущее, структура, физико-механические свойства, серная кислота, отходы промышленности, пирометаллургия.

Одним из методов повышения эффективности производства и улучшения экологии окружающей среды является использование различных промышленных, покупных или собственных отходов предприятий в дальнейшем производстве материалов строительной индустрии. Мировой опыт показывает, что основной отраслью для использования многотоннажных отходов и побочных продуктов химического производства, производства минеральных удобрений, металлургической промышленности является строительство. Данные отходы часто по химическим и техническим свойствам близки к своим природным аналогам, что позволяет использовать их вместо них. Это позволит решить не только экологическую составляющую, но и может быть экономически выгодно. Основным поставщиком является пирометаллургическая промышленность, вопрос утилизации отходов которой в данный момент достаточно актуален.

Концентрированная серная кислота из выбросов оксида серы образуется в больших количествах и её нейтрализация дорогостоящий, трудоёмкий и опасный процесс [13]. Развитие технологий и разработка необходимого оборудования дали возможность получать сульфат кальция различных модификаций на её основе [1, 14]. Для этого необходимо обработать серную

кислоту нейтрализующими составами, которые содержат кальций. В результате образуется сульфат кальция или синтетический ангидрит.

Материалы на основе ангидрита в свою очередь широко применяются в строительной отрасли, например, в качестве одного из составляющих для закладочных смесей [2, 11]. Это связано с замедленными сроками схватывания ангидрита, его прочностными показателями и незначительными деформациями при твердении, вследствие отсутствия объёмного расширения. Ангидрит имеет меньшую растворимость в сравнении со строительным гипсом. Реакция с водой происходит очень медленно и не до конца. Чаще всего используется природный ангидрит с комбинацией различных активаторов, влияющих на свойства получаемых смесей [3, 12].

Опытным путём установлено, что смесь портландцемента и сульфата калия является наиболее оптимальной добавкой, которая обеспечивает требования по срокам начала твердения вяжущих на основе синтетического ангидрита. Также в качестве активатора использовалась известь. Основной задачей при разработке оптимального состава закладочной смеси является уменьшение содержания цемента и исклю-

чение доменного шлака [4]. В результате проведенных экспериментов установлено, что наиболее высокие показатели прочности достигаются при соотношении вяжущего к заполнителю от 1:2 (0,5) и выше, сохраняя соответствие технологических свойств закладочных смесей необходимым параметрам.

На основе полученных результатов, было разработано несколько контрольных составов, различающихся соотношением основных компонентов. После достижения образцами передаточной прочности проведена серия испытаний, для определения качества разработанных составов и их соответствие требованиям, предъявляемым к закладочным смесям.

В качестве основной характеристики принимается предел временного сопротивления при одноосном сжатии, определяемый при испытаниях по стандартным методикам. Контрольные показатели прочности отслеживались по достижении образцами семисуточного возраста. Минимальная нормативная прочность для вертикальных обнажений закладки в стенках горных выработок составляет 1,0 МПа при высоте обнажения до 10 метров [15].

В состав №1 (таблица 1) входят следующие компоненты: модифицированное вяжущее в количестве 740 кг на один кубометр смеси, песок – 1110 кг и вода – 350 кг. Средняя прочность образцов при сжатии в водонасыщенном состоянии составляет 5,2...6,4 МПа в возрасте 7 суток. Данное значение удовлетворяет требованиям по нормативной прочности, но является недостаточным для использования закладочной смеси на большие объёмы выработок.

Для получения средней прочности в 10 МПа и более в состав закладочной смеси вводится дополнительное количество цемента и шлака. В состав №2 (таблица 1) входят следующие компоненты: модифицированное вяжущее в количестве 840 кг на один кубометр смеси, песок – 840 кг, цемент – 22 кг и вода – 370 кг. Средняя прочность образцов при сжатии в водонасыщенном состоянии составляет 8,3...14,5 МПа в возрасте 7 суток. Расчет составов на основе синтетического ангидрита производился на основе существующих регламентов и данных о закладочных смесях на основе природного ангидрита, а также с учётом данных по лабораторным испытаниям модифицированного вяжущего из синтетического ангидрита [6].

Для увеличения водостойкости закладочных смесей производилось дополнительное введение портландцемента, при этом прочность в возрасте 7 суток остается прежней. Для дополнительной модификация вяжущего использовалась пластифицирующая добавка Melment F10.

Выбор данного компонента обусловлен его способностью увеличить сроки схватывания на 5-30 минут, снизить водопотребность проектируемой смеси до 28–32 %, что в производственных условиях является важным фактором. Прочность при сжатии на седьмые сутки увеличивается приблизительно в 2 раза.

Анализ результатов показал, что при содержании 0,4–1 % пластифицирующей добавки Melment F10 в составе модифицированного вяжущего, достигаются наилучшие прочностные показатели. Также было выявлено, что формирования более прочной структуры и повышения водостойкости конечного материала, за счет формирования структуры с кристаллами различной формы (рис. 1) и содержания оптимального количества ангидрита и двуводного гипса, происходит при дозировке пластифицирующей добавки Melment F10 в количестве 1 %.

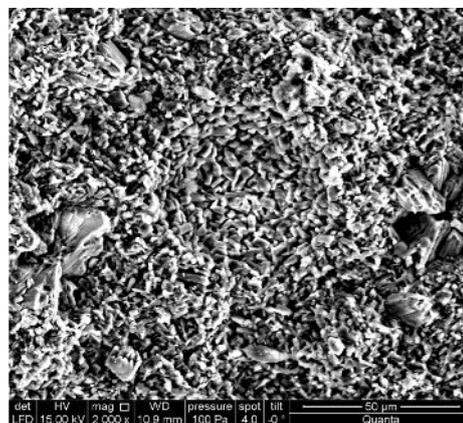


Рис. 1. Микроструктура образец с содержанием добавок ПЦ500Д0 – 2,5 %, K_2SO_4 – 1 %, Melment F10 – 1 %

В ходе исследований выделены два состава закладочных смесей на основе синтетического ангидрита, в наибольшей степени соответствующих предъявляемым к закладочным смесям требованиям (табл. 1). Технологические и физико-механические свойства данных составов отвечают всем требованиям, предъявляемым к закладочным смесям, что позволяет применять полученные закладочные смеси для заделки выработок при производстве горнодобывающих работ.

Были достигнуты необходимые для производства работ эксплуатационные характеристики закладочных смесей:

- оптимальные сроки схватывания (начало 100–130 минут, конец 160–200 минут) и сохраняемость реологических свойств в данный период;

- коэффициент размягчения 0,68, достаточный при условии замкнутых пространств и применяемых технологиях заполнения пустот в горных выработках.

Таблица 1

Оптимальные составы и свойства закладочных смесей

№	Содержание компонентов в смеси	Ед.изм.	Закладочная смесь №2	Закладочная смесь №1
1	Цемент	кг/м ³	22	0
2	Модифицированное вяжущее*	кг/м ³	840	740
3	Песок	кг/м ³	840	1110
4	Вода	кг/м ³	370	350
Свойства закладочных смесей				
5	Плотность	кг/м ³	2040	2150
6	Погружение конуса	см	14	14
7	Растекаемость (по расплыву смеси из вискозиметра Сутгарда)	см	12	12
8	Водоотделение	%	0,1	0,3...0,8
9	Прочность в возрасте 1 суток	МПа	6,0...11,1	3,0...5,3
10	Прочность в возрасте 7 суток	МПа	15,1...24,1	10,0...10,7
11	Прочность в возрасте 7 суток в водонасыщенном состоянии	МПа	8,3...14,5	5,2...6,4
12	Коэффициент размягчения	-	0,55...0,6	0,52...0,6

* - синтетический сульфат кальция с щелочным и сульфатным активаторами (ПЦ 500-Д0 и K₂SO₄) с удельной поверхностью 450 м²/кг

Не менее важным является вопрос возможности внедрения модифицированного синтетического ангидрита в широкое производство. При этом важно максимально снизить затраты на строительство нового оборудования или на переоборудование уже существующих технологических линий, с целью обеспечения рентабельности производства.

Для удобства производства и возможности использования оборудования существующих предприятий по производству сухих строительных смесей процесс условно делится на два: технологическая линия по переработке серной кислоты в синтетический ангидрит и непосредственно технологическая линия по производству сухих строительных смесей [7]. Отличием

схемы производства от классической технологической линии по производству сухих строительных смесей будет являться только необходимость произвести домол синтетического ангидрита с сульфатным активатором K₂SO₄ [5, 8, 9] и ПЦ 500-Д0 до удельной поверхности 450 м²/кг, после чего модифицированное вяжущее на основе синтетического ангидрита можно применять по аналогии с традиционным.

Сравнительный анализ полученных экспериментальных данных разработанных закладочных смесей на основе синтетического ангидрита с аналогичными применяемыми ангидритошлако-цементными составами закладочных смесей (АШЦ) марок М60 и М100 [10] показал эффективность разработанных смесей, что видно из таблицы 2.

Таблица 2

Сравнительный анализ закладочных смесей

№ п/п	Сравнительные характеристики	Ед.изм.	Закладочная смесь №1	АШЦ М100	Закладочная смесь №2	АШЦ М60
1	Цемент	кг/м ³	43	160	18	80
2	Синтетический ангидрит	кг/м ³	819	0	722	0
3	Природный ангидрит	кг/м ³	0	700	0	700
4	Песок	кг/м ³	840	0	1110	0
5	Шлак	кг/м ³	0	800		800
6	Вода	кг/м ³	370	550	350	550
7	Прочность при сжатии в возрасте 7 суток в водонасыщенном состоянии	МПа	8,3...14,5	-	5,2...6,4	-
8	Прочность при сжатии в возрасте 180 суток	МПа	-	8...10	-	5...6

В ходе анализа было установлено, что:

- расход цемента в разработанных составах закладочных смесей меньше по сравнению с аналогичными составами АШЦ;

- прочность при сжатии в водонасыщенном состоянии разработанных составов закладочных

смесей в возрасте 7 суток превышает аналогичные показатели АШЦ в возрасте 180 суток на 0,2...4,5 МПа.

Главным показателем в сравнении разработанных составов и АШЦ является снижение расхода одного из самых дорогих компонентов – цемента, что подтверждает не только экологическую значимость, но и экономическую эффективность использования синтетического ангидрита в качестве вяжущего для закладочных смесей.

Резюмируя все вышесказанное, можно сделать следующие выводы: применение синтетического ангидрита на основе отходов пирометаллургической промышленности в закладочных смесях является целесообразным и достаточно эффективным. Использование синтетического ангидрита совместно с комплексной добавкой, состоящей из сульфата калия и портландцемента, обеспечивающих требуемые реологические свойства и возможность получения материалов с заданными эксплуатационными характеристиками.

Закладочные смеси на основе синтетического ангидрита целесообразно применять в пирометаллургической промышленности, что позволит сделать замкнутый цикл производства (добыча руды – переработка руды – получение отходов производства – переработка отходов производства – закладка выработанных пространств).

Дальнейшее применение и изучение синтетического ангидрита позволит расширить номенклатуру закладочных смесей и даст возможность использования его взамен традиционных вяжущих в других сферах промышленности и строительства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нафталь М.Н., Илюхин И.В., Шестакова Р.Д., Козлов А.Н. Альтернативные направления утилизации диоксида серы из газов пирометаллургического производства // Цветные металлы. 2009. №8. С.41–47.
2. Лукьянова А.Н., Старостина И.В. Строительные композиционные материалы на основе модифицированных гипсовых вяжущих, полученных из отходов производства // Фундаментальные исследования. 2013. №4. С. 818–822.
3. Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б., Полеонова Ю.Ю., Бурьянов А.Ф. Модифицированные гипсовые безобжиговые композиты, Строительные материалы. 2013. № 5. С. 76–79.

4. Герасимова Л.Г., Тюкавкина В.В. Функциональные материалы из синтетических и техногенных отходов // Фундаментальные исследования. 2015. №2-10. С. 2083–2091.

5. Клименко В.Г., Белятинская Л.И., Володченко А.Н. Ускоренный подбор активирующих добавок к ангидриту // Строительные материалы. 1990. №3. С. 22–23.

6. Пименов А.Т., Ильина Л.И. Технология производства вяжущих для закладочных смесей // Строительные материалы. 1997. №5. С. 20–25.

7. Гриневич А.В., Киселев А.А., Кузнецов Е.М., Бурьянов А.Ф. Получение синтетического ангидрита сульфата кальция из концентрированной серной кислоты и молотого известняка // Строительные материалы. 2013. №11. С. 16–19.

8. Маева И.С., Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Бурьянов А.Ф., Пустовгар А.П., Структурирование ангидритовой матрицы нанодисперсными модифицирующими добавками // Строительные материалы. 2009. №6. С. 4–5.

9. Пустовгар А.П., Василик П.Г., Бурьянов А.Ф. Особенности применения гиперпластификаторов в сухих строительных смесях // Строительные материалы. 2010. №12. С. 61–64

10. Гаркави М.С., Артамонов А.В., Колодяжная Е.В., Бурьянов А.Ф. Композиционное ангидритшлаковое вяжущее центробежно-ударного измельчения // Строительные материалы. 2014. №7. С. 16–18.

11. Агеева М.С., Сопин Д.М., Гинзбург А.В., Калашников Н.В., Лесовик Г.А. Разработка композиционных вяжущих для закладочных смесей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №4. С. 43–47.

12. Петропавловская В.Б., Белов В.В., Новиченкова Т.Б., Бурьянов А.Ф., Пустовгар А.П. Оптимизация внутренней структуры дисперсных систем негидратационного твердения // Строительные материалы. 2010. №7. С.22–24.

13. Прокудина Е.В., Тропников Д.Л., Каратаева А.В., Шукшина О.В. Нейтрализация технической серной кислоты природным известняком на ОАО "Святогор" // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016. №8. С. 340–345.

14. Мандра А.Г., Рапопорт Э.Я. Оптимальное по точности управление процессом химической нейтрализации // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: технические науки. 2011. №2(30). С. 193–199.

15. Габараев О.З, Лолаев А.Б, Хулелидзе К.К., Битаров В.Н. Исследование свойств массива из твердеющей закладки при комбинированной технологии приготовления закладочных смесей // Устойчивое развитие горных территорий. 2011. №4. С. 20–24.

Информация об авторах

Бурьянов Александр Фёдорович, доктор технических наук, консультант кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов. E-mail: rga-service@mail.ru Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ). Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26.

Гальцева Надежда Алексеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов. E-mail: galcevanadezda@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ). Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26.

Грунина Ирина Алексеевна, студент кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов. E-mail: ira.grunina@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ). Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26.

Поступила в декабре 2018 г.

© Бурьянов А.Ф., Гальцева Н.А., Грунина И.А., 2019

¹*Buryanov A.F., ^{1,*}Galtseva N.A., ¹Grunina I.A.*

¹*National Research Moscow State University of Civil Engineering
Russia, 129337, Moscow, 26 Yaroslavskoe sh.*

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

THE USE OF PYROMETALLURGICAL INDUSTRY WASTES IN THE PRODUCTION OF MATERIALS FOR LAYING EXCAVATION

Abstract. *This article discusses the possibility of introducing industrial waste into the production of building materials. Namely, the use of concentrated sulfuric acid to obtain a modified anhydrite binder, used in the manufacture of backfill mixtures. The enterprises of the pyrometallurgical industry, when roasting ores, emit a large amount of sulfur oxide from which concentrated sulfuric acid is obtained. Sulfuric acid can be processed into synthetic anhydrite, which, after modification, is used in backfill mixtures to fill the voids of excavations. For the modification of synthetic anhydrite, a complex of alkaline and sulphate activators (potassium sulphate and Portland cement) is used. Based on the analysis of physicomechanical properties of natural, synthetic anhydrite and the existing results of research, the optimum ratio of the components of the modified composition is experimentally selected. The developed technology for producing a modified binder is easy-to-use and available on-site excavations. A comparison is made of technological and physico-mechanical properties of material obtained with the existing compositions used for similar types of work. In result, the compliance of the modified filling mixtures with the requirements has been proven, as well as the economic efficiency of synthetic anhydrite using.*

Keywords: *synthetic anhydrite, modified binder, structure, physical and mechanical properties, sulfuric acid, industrial waste, pyrometallurgy.*

REFERENCES

1. Naftal M.N., Ilyukhin I.V., Shestakova R.D., Kozlov A.N. Alternative directions of sulphur dioxide utilization from gases of pyrometallurgical. Non-ferrous metals, 2009, no. 8, pp. 41–47.
2. Lukjanova A.N., Starostina I. Construction composite materials based on modified gypsum produced from waste production. Fundamental research, 2013, no. 4, pp. 818–822.
3. Petropavlovskaya V.B., Novichenkova T.B., Polenov Y.Yu, Buryanov A.F. Modified plaster of chemically bonded composites. Construction materials, 2013, no. 5, pp. 76–79.
4. Gerasimova L.G., Tyukavkina V.V. Functional materials from mineral and synthetic man-made wastes. Fundamental research, 2015, no. 2–10, pp. 2083–2091.
5. Klimenko V.G., Balyatinskaya L.I., Volodchenko A.N. Accelerated selection of activating additives to anhydrite. Building materials, 1990, no. 3, pp. 22–23
6. Pimenov A.T., Ilyina L.I. Production technology of binders for filling mixtures. Building materials, 1997, no. 5, pp. 20–25.
7. Grinevich A.V., Kiselev A.A., Kuznetsov E.M., Buryanov A.F. Preparation of synthetic calcium sulphate anhydrite from concentrated sulfuric acid and ground limestone. Building Materials, 2013, no. 11, pp. 16–19.
8. Maeva I.S., Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Burianov A.F., Pustovgar A.P. Structuring of anhydrite matrix with nanodispersed modifying additives. Building materials, 2009, no. 6, pp. 4–5.
9. Pustovgar A.P., Vasilik P.G., Burianov A.F. Features of application of hyperplasticizers in dry

building mixtures. *Building materials*, 2010, no. 12, pp. 61–64.

10. Garkavi M.S., Artamonov A.V., Kolodyazhnaya E.V., Buryanov A.F. Composite anhydrite slag binder of centrifugal impact grinding. *Building materials*, 2014, no. 7, pp. 16–18.

11. Ageeva M.S., Sopin D.M., Ginzburg A.V., Kalashnikov N.V., Lesovik G.A. Development of composite binders for filling mixtures. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2013, no. 4, pp. 43–47.

12. Petropavlovskaya V.B., Belov V.V., Novichenkova T.B., Buryanov A.F., Pustovgar A.P. Optimization of the internal structure of dispersed systems of non-hydration hardening. *Building materials*, 2010, no. 7, pp. 22–24.

13. Prokudina E.V., Tropnikov D.L., Karataeva A.V., Shukshina O.V. The neutralization of technical sulfuric acid with the natural limestone at JSC "Svyatogor". *Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2016, no. 8, pp. 340–345.

14. Mandra A.G., Rapoport E.Y. Optimum on accuracy management of process of chemical neutralization, *Bulletin of the Samara State Technical University. Series: Technical Sciences*, 2011, no.2 (30), pp. 193–199.

15. Gabaraev O.Z., Lolaev A.B., Khulelidze K.K., Bitarov V.N. Investigation of the properties of an array of hardening bookmarks with a combined technology of preparation of filling mixtures. *Sustainable development of mountain territories*, 2011, no. 4, pp. 20–24.

Information about the authors

Buryanov, Alexander F. DSc. E-mail: rga-service@mail.ru. National research Moscow State University of Civil Engineering, Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe sh. 26.

Galtseva, Nadezhda A. PhD, Assistant professor. E-mail: galcevanadezda@mail.ru. National research Moscow State University of Civil Engineering, Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe sh. 26.

Grunina, Irina A. Bachelor student. E-mail: ira.grunina@mail.ru. National research Moscow State University of Civil Engineering, Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe sh. 26.

Received in Desember 2018

Для цитирования:

Бурьянов А.Ф., Гальцева Н.А., Грунина И.А. Использование отходов пиromеталлургической промышленности в производстве материалов для закладки горных выработок // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №2. С. 21–26. DOI: 10.12737/article_5c73fbf50c6942.61479060

For citation:

Buryanov A.F., Galtseva N.A., Grunina I.A. The use of pyrometallurgical industry wastes in the production of materials for laying excavation. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2019, no. 2, pp. 21–26. DOI: 10.12737/article_5c73fbf50c6942.61479060

DOI: 10.12737/article_5c73fbf6df9f53.10093605

^{1,*}Толыпина Н.М., ¹Щигорева Е.М., ¹Головин М.В., ¹Щигорев Д.С.
¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
 Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46
 *E-mail: tolypina.n@yandex.ru

ПОВЫШЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ БЕТОНОВ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ АКТИВНЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ВТОРОГО ТИПА

Аннотация. Авторами проведены сравнительные исследования коррозии мелкозернистых цементных бетонов с обычным заполнителем (кварцевый песок) и активными заполнителями второго типа на основе бетонного лома и керамзита. Результаты экспериментальных исследований показали положительное влияние активных заполнителей второго типа на коррозионную стойкость мелкозернистого бетона, что подтверждается значениями коэффициента стойкости образцов мелкозернистого бетона в растворе сульфата магния через год испытаний. Установлена зависимость между видом активного заполнителя второго типа и стойкостью бетонов в агрессивных сульфатно-магнезиальных средах: керамзитовый заполнитель повышает коррозионную стойкость мелкозернистого бетона в 1,3 раза, а бетонный лом в 1,2 раза по сравнению с кварцевым песком. Исследуемые виды активных заполнителей второго типа можно расположить в ряд по мере убывания стойкости бетонов на их основе: керамзит – бетонный лом – кварцевый песок. Применение активных заполнителей второго типа способствует повышению стойкости бетона в агрессивных средах благодаря повышенному физическому сцеплению с цементной матрицей бетона. При этом необходимо учитывать, что высокая пористость заполнителей увеличивает проницаемость конгломерата, что снижает положительного эффект, обусловленный повышенным сцеплением.

Ключевые слова: мелкозернистый бетон, активные заполнители, коррозионная стойкость, цементная матрица, контактная зона

Введение. Для повышения долговечности бетона при воздействии на него агрессивных сред целесообразно использовать приемы, направленные на уменьшение проводимости слоев в зоне контакта цементной матрицы бетона с заполнителями [1–4]. Большое влияние на снижение проницаемости контактной зоны оказывают активные заполнители [5–6], которые благодаря взаимодействию с цементной матрицей по тем или иным механизмам, снижают проводимость контактных поверхностей и тем самым повышают долговечность изделий. Выделено два типа активных заполнителей по характеру сил взаимодействия между заполнителями и цементной матрицей бетона [7–8]. Активные заполнители второго типа усиливают их физическое срастание с цементной матрицей бетона за счет повышенной пористости поверхностных слоев. Свойства активных заполнителей II типа прояв-

ляют керамзит и бетонный лом, однако их влияние на коррозионную стойкость бетонов мало изучено, особенно в условиях химической коррозии. Ниже излагаются результаты исследований по данному вопросу.

Цель данной работы состоит в сравнительных исследованиях коррозии цементных бетонов на традиционном и активных заполнителях второго типа.

Методология. Для проведения исследований использовали следующие материалы: портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н (ЗАО «Белгородский цемент»), кварцевый песок (ГОСТ 8736–93) ЗАО «Гидромехстрой» ($M_{кр} = 1,65$), керамзитовый песок М 600 (ГОСТ 9757–90) фракции 0–5 мм (ОАО ЖБК–1), бетонный лом ($M_{кр}=2,5$) из бетона (М 300, М 400) измельченного на лабораторной щековой дробилке. Химический и фазовый состав керамзита и бетонного лома приведены в табл. 1 и на рис. 1.

Таблица 1

Химический состав керамзита и бетонного лома

Заполнитель	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	CaO	Na ₂ O
Керамзит	62,87	20,02	5,94	2,26	2,18	1,35	0,65
Бетонный лом	55,92	8,64	1,53	1,82	0,87	15,34	1,55

Коррозионную стойкость мелкозернистого на различных заполнителях изучали на образцах размером 2,5×2,5×10 см состава Ц:П=1:3. Образцы после изготовления твердели 28 сут в воде, затем их помещали в 1 %-ный раствор сульфата

магния. После 1, 3, 6 и 12 мес испытаний определяли прочность, исследовали фазовый состав продуктов коррозии и микроструктуру корродированной зоны [9]. В качестве контрольных составов использовали образцы мелкозернистого

бетона 1:3 на кварцевом песке. Результаты испытаний приведены на рисунках 2–3.

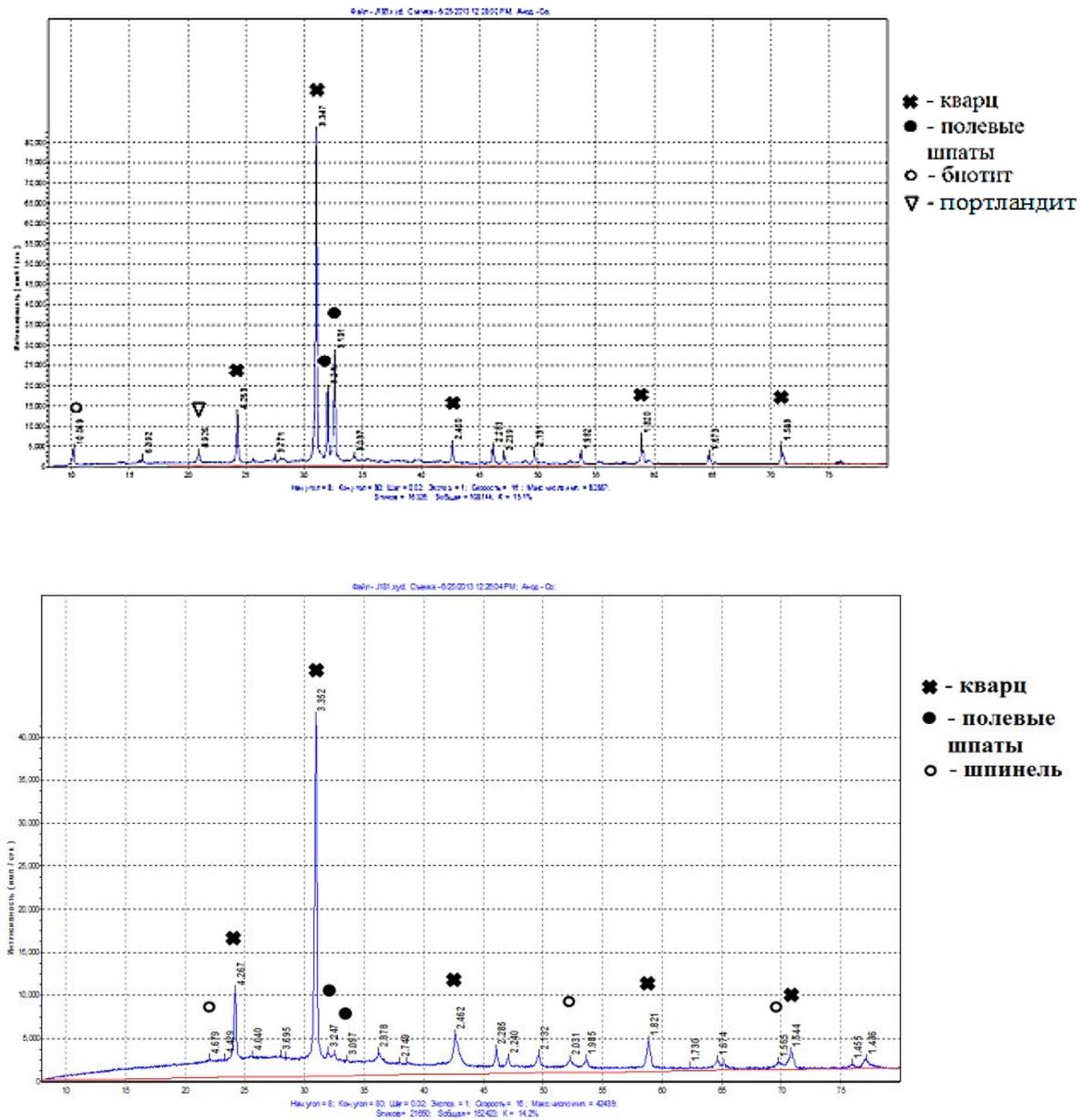


Рис. 1. Рентгенограмма: а) бетонного лома; б) керамзита

Как видно из рентгенограммы в бетонном ломе в основном присутствуют кварц (4,26; 3,34; 2,46; 1,83; 1,55 Å); полевые шпаты (альбит, микроклин,) (3,23; 3,18 Å), биотит (10,068 Å), портландит (4,92 Å). Фазовый состав керамзита: кварц (4,26; 3,34; 2,45; 1,83; 1,54 Å), полевой шпат (3,247; 3,096 Å); шпинель (4,678; 2,032; 1,57 Å).

Основная часть. Активность бетонного лома обусловлена химическим сродством гидратных фаз на поверхности заполнителей и цементной матрицы [10–11]. Отличие керамзита, как заполнителя II-го типа от бетонного лома заключается в том, что кристаллохимическое сродство между цементным камнем и поверхностью

заполнителя отсутствует. Поскольку у керамзита более высокая пористость, поэтому физические силы сцепления значительно больше, чем у бетонного лома [12]. Такие особенности придают керамзиту и бетонному лому определенные специфические свойства, которые оказывают большое влияние на коррозионную стойкость бетонов.

Проведенные исследования позволили установить, что заполнитель из бетонного лома повышает прочность при изгибе и сжатии образцов бетона в растворе сульфата магния, по сравнению с прочностью контрольных образцов на кварцевом песке (рис. 2). Преимущество заполнителя из бе-

тонного лома перед кварцевым песком подтверждается существенным превышением прочности при изгибе на 38 % образцов бетона, как наиболее чувствительного показателя при коррозионных испытаниях. Коэффициент стойкости образцов на бетонном ломе ($K_{C_{360}}=1,1$) превосходил аналогичный показатель у образцов бетона на кварцевом песке ($K_{C_{360}}=0,78$). В течение всего периода испытаний в растворе $MgSO_4$ прочность при сжатии образцов бетона на керамзитовом мелком заполнителе продолжала расти, при этом

прочность при изгибе практически оставалась без изменений (рис. 2). Полученные данные подтверждают, что благодаря повышенному физическому сцеплению керамзита с цементной матрицей бетона коррозионная стойкость бетона в агрессивных средах возрастает. Однако, при этом необходимо учитывать, что из-за высокой пористости заполнителя увеличивается проницаемость конгломерата, что снижает положительный эффект, обусловленный повышенным сцеплением.

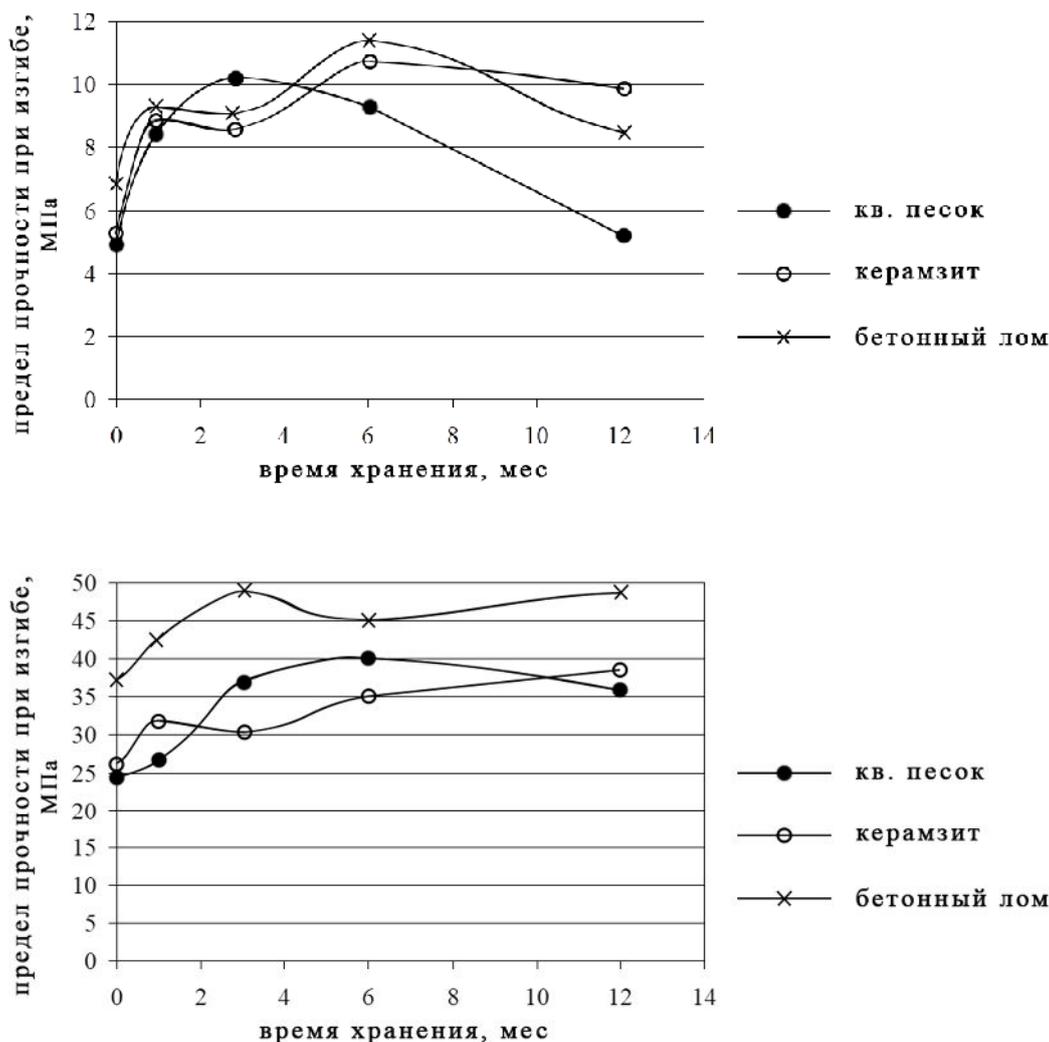


Рис. 2. Кинетика твердения мелкозернистого бетона в 1 %-ном растворе сульфата магния

На основе полученных результатов испытаний коррозионной стойкости мелкозернистых бетонов с использованием активных заполнителей второго типа, обладающих физическим сцеплением в разной степени, установлена зависимость между видом применяемого заполнителя и стойкостью бетонов в высоко агрессивных сульфатно-магниевых средах. Наиболее четко это видно по значениям коэффициентов стойкости, полученных после 360 сут хранения образцов мелкозернистого бетона в растворе $MgSO_4$ (рис. 3).

Результаты исследований показывают, что коррозионная стойкость образцов мелкозернистого бетона с заполнителем из бетонного лома превышает в 1,2 раза, а с керамзитовым заполнителем в 1,3 раза стойкость образцов мелкозернистого бетона на традиционном заполнителе из кварцевого песка в 1 %-ном растворе сульфата магния (рис. 2). Исследуемые виды активных заполнителей второго типа можно расположить в ряд по мере убывания стойкости бетонов на их основе: керам-

зит – бетонный лом – кварцевый песок. Полученные результаты подтверждают положительное влияние активных заполнителей II-го типа на стойкость бетона, обусловленную степенью физического срастания поверхности заполнителя с цементной матрицей бетона, что приводит к усилению сцепления и снижению проводимости контактной зоны для агрессивных агентов, поступающих из внешней среды.

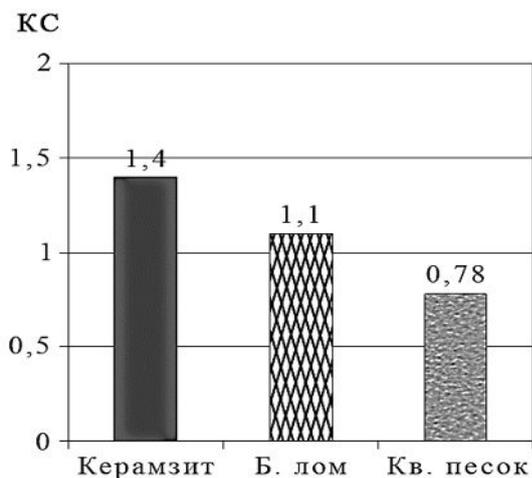


Рис. 3. Коэффициент стойкости (по $R_{изг}$) мелкозернистого бетона с различным заполнителем после 360 сут твердения в 1 %-ном растворе $MgSO_4$

Выводы. Таким образом, проведенные исследования подтвердили, что применяемые активные заполнители II-го типа оказывают большое влияние на коррозионную стойкость бетона. Это обусловлено величиной сцепления и составом контактных слоев между цементной матрицей бетона и поверхностью заполнителя. Два этих фактора оказывают влияние на проницаемость и в конечном счете на стойкость бетона в агрессивных средах. Заполнители II-го типа – бетонный лом и керамзит обеспечивают повышенное сцепление в основном за счет физического срастания, что приводит к повышению сопротивления бетона проникновению агрессивных компонентов по сравнению с заполнителем из кварцевого песка.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Гузев Е.А. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. Под общей редакцией В.М. Москвина. М.: Стройиздат, 1980. 536 с.

2. Штарк И., Вихт Б. Долговечность бетона. Пер. с нем. А.Тулганова, под ред. П.Кривенко. Киев: Оранта, 2004. 301 с.

3. Алексеев С.Н., Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость конструкций в агрессивной промышленной среде. М.: Стройиздат, 1976. 205 с.

4. Less S.T., Moon H.Y., Swamy R.N. Resistance of concrete in salt solutions exposure to extreme intensity // Cement and Concrete Composites. 2005. № 1. Pp. 65–76.

5. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М. Повышение коррозионной стойкости бетонов путем рационального выбора вяжущего и заполнителей. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. 321 с.

6. Рахимбаев И.Ш., Толыпина Н.М. Термодинамический расчет активности в щелочной среде минералов, входящих в состав заполнителей бетонов // Вестник Центрального Регионального отделения: мат-лы Академических научных чтений «Науч. и инженер. пробл. строит.-технол. утилизации техногенных отходов». Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. Вып.13. С. 174–178.

7. Толыпина Н.М. К вопросу о взаимодействии цементной матрицы с заполнителями // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 6. Ч. 1. С. 81–85.

8. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М., Толыпин Д.А. Сравнительная стойкость бетонов с заполнителем различных размеров и без него // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 11. С. 43–47.

9. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М. Методы оценки коррозионной стойкости цементных композитов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. № 3. С.23–24.

10. Курочка П.Н., Мирзалиев Р.Р. Бетоны с заполнителем из продуктов дробления вторичного бетона // Вестник РГУПС. 2012. № 3. С. 140–147.

12. Калыгин А.А., Фахратов М.А., Сохряков В.И. Опыт использования отходов дробленого бетона в производстве бетонных и железобетонных изделий // Строительные материалы. 2010. № 6. С.32–33.

13. Батаев Д.К.-С., Муртазаев С.-А.Ю., Исмаилова З.Х. Составы и свойства бетонов на основе техногенных отходов // Наука, образование и производство: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. Грозный: ГГНИ. 2008. С.77–81.

Информация об авторах

Толыпина Наталья Максимовна, доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: tolypina.n@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Щигорева Евгения Максимовна, магистрант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: tolypina.n@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Головин Максим Васильевич, магистрант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: tolypina.n@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

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

Поступила в декабре 2018 г.

© Тольпина Н.М., Щигорева Е.М., Головин М.В., Щигорев Д.С., 2019

^{1,*}*Tolypina N.M., ¹Shigoreva E.M., ¹Golovin M.V., ¹Shigorev D.S.*

¹*Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov*

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

**E-mail: tolypina.n@yandex.ru*

INCREASE OF CONCRETE INOXIDIZABILITY BY APPLICATION OF ACTIVE FILLERS OF THE SECOND TYPE

Abstract. *The authors conducted a comparative study of the corrosion of fine-grained cement concrete with conventional aggregate (silica sand) and active fillers of the second based on concrete scrap and expanded clay. The results of experimental studies present a positive influence of active fillers of the second type on the corrosion resistance of fine concrete. This is confirmed by the values of resistance coefficient of fine-grained concrete in a solution of magnesium sulfate after a year of testing. The dependence between the filler of the second type and durability of concretes in aggressive sulphate-magnesium environments is established. The clay filler improves the corrosion resistance of fine concrete in 1.3 times, and concrete scrap in 1.2 times in comparison with quartz sand. The investigated fillers can be arranged according to the durability of concrete: expanded clay - concrete scrap - quartz sand. The use of active fillers of the second type contributes to the durability of concrete in aggressive environments, due to increased physical adhesion with the cement matrix. It should be noted that the high porosity of the aggregates increases the permeability of the conglomerate, which reduces the positive effect due to increased adhesion.*

Keywords: *fine concrete, active fillers, corrosion resistance, the cement matrix, contact area.*

REFERENCES

1. Moskvina V.M., Ivanov F.M., Guzeev E.A. Corrosion of concrete and reinforced concrete, methods of their protection. M.: Stroyizdat, 1980, 536 p.

2. Stark I., Wicht B. Durability of concrete. Trans. with A. Dolganova, ed. by P. Krivenko. Kiev: Orans, 2004, 301 p.

3. Alekseev S.N., Rosenthal N.K. Corrosion resistance of structures in aggressive industrial environments. M.: Stroyizdat, 1976, 205 p.

4. Less S.T., Moon H.Y., Swamy R.N. Resistance of concrete in salt solutions, exposure to extreme intensity. Cement and Concrete Composites, 2005, no. 1, pp. 65–76.

5. Rakhimbaev S.M., Tolypina N.M. The increased corrosion resistance of concrete by rational selection of binder and fillers: monograph. Belgorod: Publishing house BGTU, 2015, 321 p.

6. Rakhimbaev I.Sh., Tolypina N.M. Thermodynamic calculation of the activity in the alkaline environment of the minerals composing the aggregates

concretes. Vestnik of the Central Regional offices: Mat-ly Academic scientific. readings and engineer. Probl. builds.-tekhnol. disposal of industrial waste. Belgorod: Publishing house BGTU im. V.G. Shukhov, 2014, vol. 13, pp. 174–178.

7. Tolypina N.M. To the question about the interaction of the cement matrix with aggregates. Modern high technologies, 2016, no. 6, Part 1, pp. 81–85.

8. Rakhimbaev Sh.M., Tolypina N.M., Talapin D.A. Comparative resistance of concrete with various aggregate sizes and without him. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2017, no. 11, pp. 43–47.

9. Rakhimbaev Sh.M., Tolypina N.M. Methods of evaluation of corrosion resistance of cement composites. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2012, no. 3, pp. 23–24.

10. Kurochka P.N., Mirzaliyev R.R. Concrete with the aggregate of the products of secondary crushing of concrete. Bulletin RGUPS, 2012, no. 3, pp. 140–147.

12. Kalugin A.A., Fortov M.A., Sokratov V.I. Experience of using waste crushed concrete in the production of concrete products. *Construction materials*, 2010, no. 6, pp. 32–33.

13. Bata D.K-S., Murtazaev S-A., Ismailova Z.H. Composition and properties of concrete based on technogenic waste. *Science, education and production: materials vs. scientific-pract. Conf. Ivan: MSTI*, 2008, pp. 77–81.

Information about the authors

Tolypina, Natalia M. DSc, Professor. E-mail: tolypina.n@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Shigoreva, Evgenija M. Master student. E-mail: tolypina.n@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Golovin, Maksim V. Master student. E-mail: tolypina.n@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Shigorev, Dmitrii S. Postgraduate student. E-mail: tolypina.n@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in Desember 2018

Для цитирования:

Толыпина Н.М., Шигорева Е.М., Головин М.В., Шигорев Д.С. Повышение коррозионной стойкости бетонов путем применения активных заполнителей второго типа // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №2. С. 27–32. DOI: 10.12737/article_5c73fbf6df9f53.10093605

For citation:

Tolypina N.M., Shigoreva E.M., Golovin M.V., Shigorev D.S. Increase of concrete inoxidizability by application of active fillers of the second type. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2019, no. 2, pp. 27–32. DOI: 10.12737/article_5c73fbf6df9f53.10093605

DOI: 10.12737/article_5c73fbfe576a47.59051268

^{1,*}Модин А.К., ¹Сергеев М.С., ¹Лисятникова М.О., ¹Суханов А.А.¹Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича

и Николая Григорьевича Столетовых

Россия, 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87

*E-mail: art_modin@mail.ru

АНАЛИЗ РАБОТЫ ВЕРТИКАЛЬНОГО СТЫКА МОНОЛИТНОГО ШПОНОЧНОГО СОЕДИНЕНИЯ ДВУХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПАНЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИБКОЙ СТЕРЖНЕВОЙ АРМАТУРЫ

Аннотация. Дано понятие стыкового соединения элементов. Разобраны основные типы соединений, воспринимающие сдвиговые усилия. Рассмотрены вертикальные стыки шпоночного соединения двух железобетонных панелей и использование гибкой стержневой арматуры в стыке Передерия. Представлен вариант соединения железобетонных панелей при помощи стальных петель Reiko. Изучены основные проблемы существующих методик расчета соединения железобетонных конструкций и их жесткостных характеристик. Представлены ранее полученные результаты анализа несущей способности и деформативности стыка. Разобрана диаграмма зависимости податливости связи от усилия для реальной и смоделированной ситуации. Проанализированы линейные и нелинейные схемы расчета конструкции с применением шпоночного соединения. Рассмотрен вопрос об использовании гладкой стержневой арматуры. Произведен расчет податливости вертикального шпоночного стыка с учетом действующих нормативных документов и выполнено сравнение полученных жесткостных характеристик. Получены выводы и рекомендации по применению существующих норм по расчету стыков железобетонных панелей.

Ключевые слова: панельное домостроение, вертикальный стык, шпоночное соединение, гибкая арматурная связь, монолитный стык.

Несущая способность и эксплуатационные характеристики крупнопанельных жилых домов напрямую зависят от принятой конструктивной схемы, но что более важно от конструктивных решений стыков наружных и внутренних панелей.

Стыковое соединение, иначе говоря, стык – это узел соединения несущих, а также не несущих конструктивных элементов здания между собой. По схеме расположения стык может быть вертикальным или горизонтальным.

По способу восприятия вертикальных сдвигающих усилий, различают следующие типы соединения:

- а) сварные соединения закладных деталей, установленных в стеновых панелях;
- б) болтовые, с механическим зацеплением и затяжкой;
- в) сварные соединения арматурных выпусков с последующим омоноличиванием;
- г) бетонные и железобетонные шпонки.

Монолитные стыковые связи с применением петлевых выпусков из стеновых панелей имеют высокую жесткость соединения. При соединении стеновых панелей за счет монолитной связи образуется бетонная шпонка, которая воспринимает сдвигающие силы. Также, часть усилий переходит на плиты перекрытия, при использовании платформенного стыка.

На сегодняшний день наиболее популярным является использование тросовых петлевых соединений, в частности тросовые петли компании «Reikko», которые зарекомендовали себя более чем хорошо, а их работа в конструкции была описана и подтверждена в [3].

Но данное конструктивное решение может быть экономически не выгодным или вносить ряд неудобств в небольшие предприятия, специализирующиеся на производстве сборных железобетонных панелей. Выходом могло послужить использование гибкой стержневой арматуры Ø8-10 класса А240. Петли вертикального стыка, выполняемые из гладкой стержневой арматуры, не требуют дополнительной сертификации, и могут производиться на территории предприятия. Гладкий арматурный стержень изготавливается на производстве с учетом требований по анкеровке в тело железобетонной панели и служит основным элементом в стыке Передерия. Использование несъемной опалубки дает возможность создания монолитной шпонки любой формы.

Опираясь на эти два факта можно сделать вывод, что предприятие по производству сборных панелей способно самостоятельно выполнять сборку комплектующих материалов и не зависеть от сторонних поставщиков, что благоприятно влияет на экономическую составляющую.

Основная проблема, с которой встречаются при проектировании крупнопанельных зданий –

это отсутствие единой методики расчета и конструктивных требований при их проектировании. На данный момент готовится выход СП «Крупнопанельные конструктивные системы. Правила проектирования» [9], но, не смотря на, представленные редакции данного нормативного документа, остается ряд вопросов, требующих обоснования и экспериментального подтверждения. Существующие методы определения несущей способности монолитных шпоночных стыков основаны на различных предпосылках, учитывают характер разрушения стыка, двухосное напряженное состояние, стадии разрушения и опираются на результаты экспериментов, выполненные авторами данных исследований. Но даже эти данные и существующие методики дают различные между собой результаты.

Расчет железобетонных конструкций можно вести по линейной и нелинейной схеме. При линейном расчете, широкое применение получила дискретно-континуальная модель крупнопанельного здания. Линейная схема рассматривала здание как ряд столбов с заданной жесткостью вертикальных связей, и вводилось допущение об абсолютной жесткости данных связей при взаим-

ном сдвиге столбов равным 0. При этом вводится понятие критерия количественной жесткости – коэффициент μ .

$$\mu = \sqrt{\frac{H_{эт}}{\lambda_{сд}} \cdot \left(\frac{1}{E \cdot F_1} + \frac{1}{E \cdot F_2} + \frac{L^2}{\sum E \cdot I_{сг}} \right)} \quad (1)$$

где $E \cdot F_1$ и $E \cdot F_2$ – продольная жесткость при соединении связей; L – расстояние между геометрическими центрами полос; $E \cdot I_{сг}$ – сумма изгибных жесткостей полос при изгибе в плоскости расчетного направления горизонтальной нагрузки на здание.

Продольную связь между полосами можно считать абсолютно жесткой при $\mu > 12/n$ и шарнирной при $\mu < 2/n$, где n – количество этажей

Но, несмотря на возможность расчета по линейной схеме, действующие нормы [6] требуют учитывать нелинейную работу конструкции, и об этом свидетельствует теоретические и экспериментальные данные, проводимые ранее. Испытания, проводимые в МИСИ, помогли построить диаграмму, связывающую усилия и перемещения и наглядно показывающая нелинейность работы конструкции. Данный вопрос был освещен в [3].

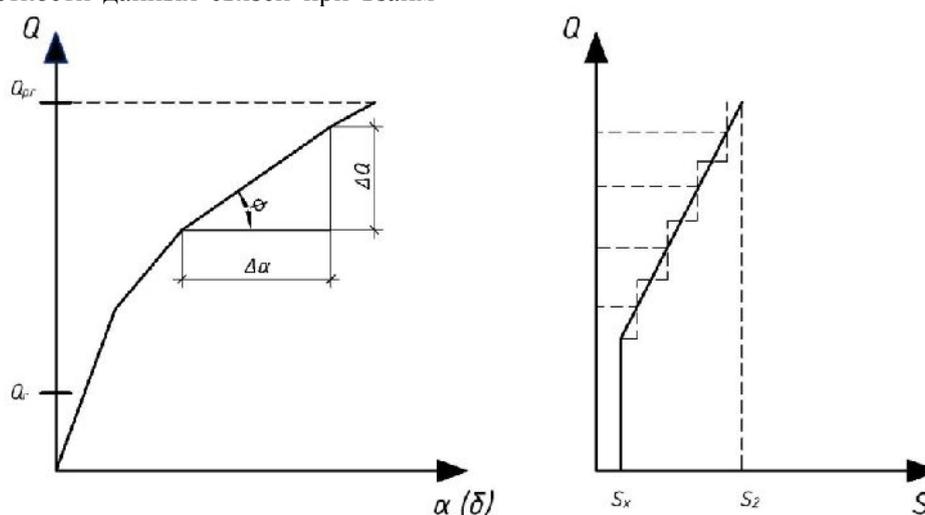


Рис. 1. Зависимость податливости связи от усилия (реальная и смоделированная)

Исследования, проводимые отечественными и зарубежными учеными и направленные на анализ несущей способности и деформативности стыка, смогли дать следующие ответы:

- наличие горизонтальной арматуры в вертикальном стыке увеличивает его несущую способность;
- несущую способность многошпоночного соединения нельзя рассматривать как обобщенную несущую способность нескольких шпонок;
- шпоночное соединение носит хрупкий характер разрушения;
- представлены наиболее характерные типа разрушения шпоночных соединений.

Работа шпоночного соединения с тросовой петлей в качестве горизонтального армирования была произведена и натурально испытана в компании «Reikko», но без публикации результатов. В научной работе [3] автор дает пояснение к данному типу соединения и наглядно показывает результаты эксперимента по определению несущей способности и деформативности шпоночного соединения с тросовыми петлями.

При рассмотрении вопроса об использовании гладкой стержневой арматуры, в качестве горизонтальной арматуры в вертикальном шпоночном соединении, обратимся к действующим нормам [5] и [7].

Выполним расчет податливости вертикального шпоночного стыка для двух стеновых ж/б панелей толщиной 180 мм. Расстояние между панелями – 100 мм. Начальный модуль упругости бетона заполнения стыка – 30000 МПа (Н/мм²) для бетона кл. В25. Начальный модуль упругости бетона панели – 30000 МПа (Н/мм²) для бетона кл. В25. Глубина заделки арматурной петли $\phi=8$ принимается 444 мм. Шпонка глубиной 22 мм и шириной 50 мм.

Согласно [7] коэффициент податливости при сдвиге λ_{τ} (мм/Н) соединения двух сборных элементов принимается равным сумме коэффициентов податливости для сечений, примыкающих к каждому из соединяемых элементов.

Коэффициент податливости вертикального стыка стеновых панелей при сдвиге определяется по формуле:

$$\lambda_{\tau,s} = \frac{6}{s \cdot n_s} \left(\frac{1}{E_b} + \frac{1}{E_{мон}} \right) = \frac{6}{8 \cdot 2} \left(\frac{1}{3000} + \frac{1}{3000} \right) = 25 \cdot 10^{-6}, \text{ (мм/Н)} \quad (4)$$

d_s – диаметр петли, 8 мм; n_s – количество петель, 2 шт.

$$\lambda_{\tau} = 7,57 \cdot 10^{-6} + 25 \cdot 10^{-6} = 32,57 \cdot 10^{-6}, \text{ (мм/Н)} \quad (5)$$

Соответственно жесткость вертикального стыка на сдвиг:

$$K_{\tau} = \frac{1}{\lambda_{\tau}} = \frac{1}{32,57 \cdot 10^{-6}} = 30703, \text{ (Н/мм)} \quad (6)$$

Коэффициент податливости вертикального стыка стеновых панелей при сдвиге с учетом длительного действия нагрузок определяется с пониженным значением модуля упругости бетона.

$$E_{pl,t} = \frac{E_b}{1 + \phi_{b,cr}} = \frac{3000}{1 + 2,5} = 8571 \text{ (Н/мм}^2\text{)} \quad (7)$$

$\phi_{b,cr}$ – 2,5 коэффициент ползучести бетона, принимаемый по т. 6.12 СП 63.13330-2012.

Тогда,

$$Q_1 = R_b \cdot l_k \cdot t_k \cdot n_k = 14,5 \cdot 50 \cdot 22 \cdot 2 = 31900 \text{ Н} = 3,19 \text{ т} \quad (12)$$

$$Q_2 = 1,5 R_{bt} \cdot l_k \cdot h_k \cdot n_k = 1,5 \cdot 1,05 \cdot 50 \cdot 180 \cdot 2 = 28350 \text{ Н} = 2,84 \text{ т} \quad (13)$$

R_b – расчетное сопротивление бетона шпонки на сжатие; R_{bt} – расчетное сопротивление бетона шпонки на растяжение; l_k – ширина шпонки; t_k – глубина шпонки; h_k – высота шпонки; n_k – кол-во шпонок.

Соответственно жесткость вертикального стыка на сдвиг:

$$\lambda_{\tau} = \lambda_{\tau,i} + \lambda_{\tau,s}, \text{ (мм/Н)} \quad (2)$$

$\lambda_{\tau,i}$ – податливость бетонного шпоночного соединения; $\lambda_{\tau,s}$ – дополнительная податливость армированного шпоночного соединения

$$\lambda_{\tau,d} = \frac{l_{loc} \left(\frac{1}{E_b} + \frac{1}{E_{мон}} \right)}{A_{loc} \cdot n_k} = \frac{250 \left(\frac{1}{3000} + \frac{1}{3000} \right)}{22 \cdot 50 \cdot 2} = 7,57 \cdot 10^{-6}, \text{ (мм/Н)} \quad (3)$$

l_{loc} – уловная высота шпонки, 250мм; E_b – начальный модуль упругости бетона панели, 30000 Н/мм²; $E_{мон}$ – начальный модуль упругости бетона замоноличивания, 30000 Н/мм²; A_{loc} – площадь сжатия шпонки; n_k – кол-во шпонок, 2 шт.

Податливость шпонки после образования наклонных трещин:

$$\lambda_{\tau,d} = \frac{250 \left(\frac{1}{8571} + \frac{1}{8571} \right)}{22 \cdot 50 \cdot 2} = 26,5 \cdot 10^{-6}, \text{ (мм/Н)} \quad (8)$$

$$\lambda_{\tau,s} = \frac{6}{8 \cdot 2} \left(\frac{1}{8571} + \frac{1}{8571} \right) = 87,5 \cdot 10^{-6}, \text{ (мм/Н)} \quad (9)$$

$$\lambda_{\tau} = 26,5 \cdot 10^{-6} + 87,5 \cdot 10^{-6} = 114,01 \cdot 10^{-6}, \text{ (мм/Н)} \quad (10)$$

Соответственно жесткость вертикального стыка на сдвиг при действии длительной нагрузки:

$$K_{\tau} = \frac{1}{\lambda_{\tau}} = \frac{1}{114,01 \cdot 10^{-6}} = 8771, \text{ (Н/мм)} \quad (11)$$

Выполним аналогичный расчет по определению жесткости вертикального стыка, изложенного в [5].

Сдвиговое усилие, приходящееся на стык, принимается равной несущей способности шпоночного стыка, определяемой по формулам:

$$K = \frac{Q}{\Delta} = \frac{2,84}{0,001} = 2840 \text{ т/м} \quad (14)$$

$Q = Q_{min}$ – сдвиговое вертикальное усилие, приходящееся на 1м.п., Q_{min} (Q_1, Q_2); Δ – смещение стыка, вызываемое усилием Q и равное 1мм/м.п.

Полученные результаты представлены в таблице 1 «Жесткость вертикального стыка».

Таблица 1

Жесткость вертикального стыка

Жесткость вертикального стыка	Пособие по расчету жилых зданий вып. 3 [7]		СТО 36554501-2012 [5]
	при кратковременной нагрузке	при длительной нагрузке	
К до образования трещин, т/м	13201,4	3772,1	2890
К после образования трещин, т/м	3070,3	877,1	

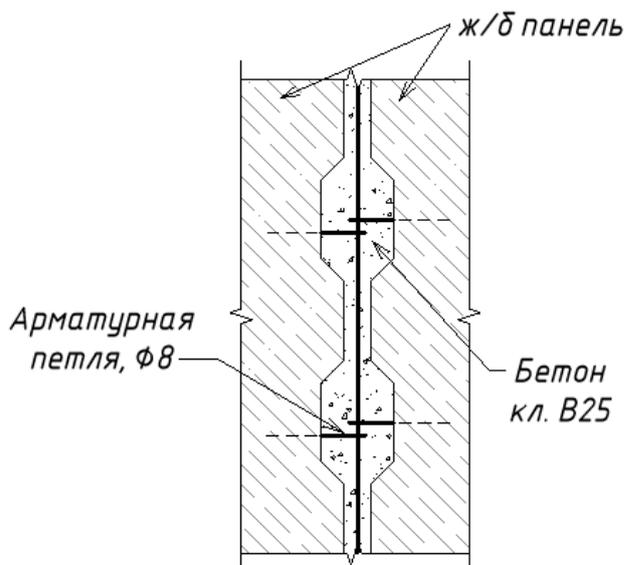


Рис. 2. Эскиз шпоночного вертикального стыка

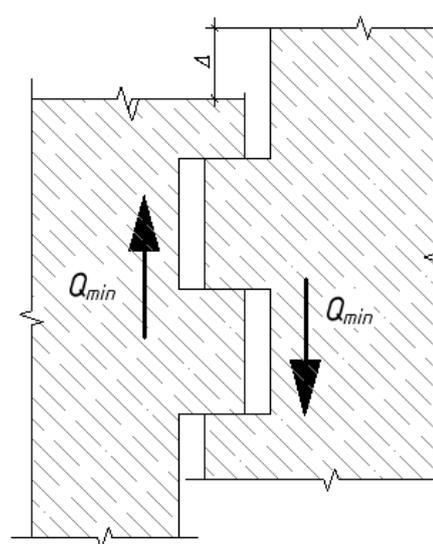


Рис. 3. Расчетная схема вертикального стыка при сдвиге

Значения жесткости вертикального стыка, рассчитанного по двум действующим методикам, имеют отличительный характер. Разница в жесткостях обусловлена учетом фактических жесткостных характеристик материалов, диаметров петлевых стержней, а также двух стадий работы шпонок, что не учтено в методике расчета по СТО 36554501-2012.

Опираясь на все вышеизложенное, можно сделать следующие выводы и рекомендации:

- наиболее прочным и эффективным вертикальным стыком является шпоночное соединение с использованием гибкой стержневой арматурой по типу Передерия;
- на сегодняшний день нет единой нормативной документации по расчету крупнопанельного домостроения, в частности расчета жесткости вертикального стыка;
- требуется проработка СП «Крупнопанельные конструктивные системы. Правила проектирования» ред. №2;
- действующие нормативные документы, по расчету жесткостных характеристик, имеют различные формулы и, как следствие, отличные друг от друга результаты;
- требуется экспериментальная проверка действующих формул по определению жесткостных характеристик вертикальных стыков с применением гладкой стержневой арматуры в качестве горизонтального армирования по типу Передерия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Блажко В.П. Тенденции в развитии конструктивных систем панельного домостроения // Жилищное строительство. 2012. №4. С. 43–46.

2. Васильков Б.С. Володин Н.М. Расчет сборных конструкций зданий с учетом податливости соединений. М.: Стройиздат, 1985, 144 с.

3. Данель В.В. Анализ формул для определения жесткости при сжатии платформенных стыков крупнопанельных зданий // Строительная механика и расчет сооружений. 2010. №1. С. 21–25.

4. Дербенцев И.С. Несущая способность и деформативность шпоночных соединений с петлевыми гибкими связями в стыках крупнопанельных многоэтажных зданиях: На правах рукописи. 2014.

5. Киреева Э.И. Крупнопанельные здания с петлевыми соединениями конструкций // Жилищное строительство. 2013. №9. С. 47–51.

6. Попова М.В., Лисятников М.С., Сергеева А.Н., Модин А.К. Расчет прочности нормальных сечений изгибаемых элементов с учетом полной диаграммы деформирования бетона. БСТ: Бюллетень строительной техники. 2017. № 12 (1000). С. 44–45.

7. Рязанов М.А., Шишов И.И., Рощина С.И., Лукин М.В. Расчет изгибаемых элементов с учетом физической нелинейности деформирования // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 12. С. 58–64.

8. СТО 36554501-026-2012 Рекомендации по расчету и конструированию жилых крупнопанельных домов с применением бессварных вертикальных и горизонтальных стыков на тросовых петлевых соединениях и многпустотными плитами без опалубочного формирования. Москва, 2012.

9. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003.

10. СП «Крупнопанельные конструктивные системы. Правила проектирования» ред. №2.

11. Roshchina S., Ezzi H., Shishov I., Lukin M.,

Sergeev M. Evaluation of the deflected mode of the monolithic span pieces and preassembled slabs combined action // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 19. Ser. "Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport, EMMFT 2017" 2017. С. 012075.

Информация об авторах

Модин Артем Константинович, аспирант кафедры строительных конструкций. E-mail: art_modin@mail.ru. Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ). Россия, 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87.

Сергеев Михаил Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций. E-mail: sergeevmichael@inbox.ru Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ). Россия, 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87.

Лисятникова Марина Олеговна, аспирант кафедры строительных конструкций. E-mail: fate-judo@mail.ru. Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ). Россия, 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87.

Суханов Артем Андреевич, магистрант кафедры строительных конструкций. E-mail: ksenia_landau@mail.ru. Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ). Россия, 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87.

Поступила в декабре 2018 г.

© Модин А.К., Сергеев М.С., Лисятникова М.О., Суханов А.А., 2019

^{1,*}**Modin A.K., ¹Sergeev M.S., ¹Lisyatnikova M.O., ¹Sukhanov A.A**

¹Vladimir State University named after Alexander Grigorievich
and Nikolai Grigorievich Stoletovs (VISU)

Russia, 600000, Moscow, Vladimir, st. Gorky, 87

*E-mail: art_modin@mail.ru

ANALYSIS OF VERTICAL JOINT'S WORK IN THE MONOLITHIC KEYED JOINT OF TWO REINFORCED CONCRETE PANELS USING THE FLEXIBLE ROD ARMATURE

Abstract. The concept of butt joining of elements is given. The main types of compounds that perceive shear forces are analyzed. The vertical joints of the key connection of two reinforced concrete panels and the use of flexible rod reinforcement at the Perederia joint are considered. An option of connecting reinforced concrete panels using Peiko steel hinges is presented. The main problems of existing methods for calculating the connection of reinforced concrete structures and their stiffness characteristics are studied. The previously obtained results of the carrying capacity analysis and deformability of the joint are presented. The diagram of dependence of bond compliance on effort for a real and simulated situation is analyzed. Linear and nonlinear design calculations using keyed joints are analyzed. The issue of using smooth rod reinforcement is considered. The calculation of the vertical keyway compliance with the current regulatory documents is produced. The obtained stiffness characteristics are compared. Conclusions and recommendations on the application of existing standards for the calculation of joints of reinforced concrete panels are obtained.

Keywords: panel house, vertical joint, keyed joint, flexible reinforcing connection, monolithic joint.

REFERENCES

1. Blazhko V.P. Trends in the development of constructive systems panel housing. Housing construction, 2012, no. 4, pp. 43–46.
2. Vasilkov B.S., Volodin N.M. Calculation of prefabricated buildings with regard to the pliability of compounds. M.: Stroyizdat, 1985
3. Danel V.V. Analysis of formulas for determining the stiffness in compression of platform

joints of large-panel buildings. Construction mechanics and calculation of structures, 2010, no. 1. pp. 21–25.

4. Derbentsev I.S. Bearing capacity and deformability of keyed joints with loopback flexible connections in the joints of large-panel multi-storey buildings: As manuscripts. 2014.

5. Kireeva E.I. Large-panel buildings with loop connections of structures. Housing construction, 2013, no. 9, pp. 47–51.

6. Popova M.V., Lisyatnikov M.S., Sergeeva A.N., Modin A.K. Calculation of the strength of the normal sections of the bent elements, taking into account the full concrete deformation diagram. BST: Bulletin of construction equipment, 2017, no. 12 (1000), pp. 44–45.

7. Ryazanov M.A., Shishov I.I., Roshchina S.I., Lukin M.V. The calculation of the bent elements, taking into account the physical nonlinearity of deformation. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2016, no. 12, pp. 58–64.

8. STO 36554501–026–2012 Recommendations for the calculation and design of residential

large-panel houses with the use of welded vertical and horizontal joints on cable loopback joints and hollow-core slabs without shuttering formation. Moscow, 2012.

9. SP 63.13330.2012 Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions. Updated edition of SNiP 52-01-2003.

10. SP “Large-panel structural systems. Design. №2.

11. Roshchina S., Ezzi H., Shishov I., Lukin M., Sergeev M. Evaluation of the deflected mode of the monolithic span pieces and preassembled slabs combined action // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 19. Сер. "Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport, EMMFT 2017" 2017. С. 012075.

Information about the authors

Modin, Artem K. Graduate student. E-mail: art_modin@mail.ru. Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletovs (VISU). Russia, 600000, Moscow, Vladimir, st. Gorky, 87.

Sergeev, Mikhail S. PhD, Associate Professor. E-mail: sergeevmichael@inbox.ru. Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletovs (VISU), Russia, 600000, Moscow, Vladimir, st. Gorky, 87.

Lisyatnikova, Marina O. Graduate student. E-mail: fate-judo@mail.ru. Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletovs (VISU). Russia, 600000, Vladimir, st. Gorky, 87.

Sukhanov, Artem A. Master student. E-mail: ksenia_landau@mail.ru. Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletovs (VISU). Russia, 600000, Vladimir, st. Gorky, 87.

Received in Desember 2018

Для цитирования:

Модин А.К., Сергеев М.С., Лисятникова М.О., Суханов А.А. Анализ работы вертикального стыка монолитного шпоночного соединения двух железобетонных панелей с использованием гибкой стержневой арматуры // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №2. С. 33–38. DOI: 10.12737/article_5c73fbfe576a47.59051268

For citation:

Modin A.K., Sergeev M.S., Lisyatnikova M.O., Sukhanov A.A. Analysis of vertical joint's work in the monolithic keyed joint of two reinforced concrete panels using the flexible rod armature. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 2, pp. 33–38. DOI: 10.12737/article_5c73fbfe576a47.59051268

DOI: 10.12737/article_5c73fc07ba7858.43737360

¹. **Кужахметова Э.Р.*

*¹Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта
Россия, 236016, Калининградская область, г. Калининград, ул. Александра Невского, 14
Email: elja_09@bk.ru

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ВАНТ И ВАНТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Аннотация. Статья посвящена методам расчета вант и вантовым конструкциям, которые используют вант, как несущий растянутый элемент с шарнирным защемлением на опорах. Вант является гибкой нитью с криволинейным очертанием. Форма нити напоминает «изогнутую линию», подвешенную на шарнирах. Альтернативным вариантом ванта можно условно назвать модель «ломаной линии», которая представляет собой балочную конструкцию с низкой изгибной жесткостью. Использование данной модели существенно упрощает расчет. Он сводится к расчету обычной балки с шарнирными связями и равными пролетами, максимально повторяющее изогнутое очертание гибкой нити. Сечение ванта назначают согласно ГОСТ таким, какое имеет реальный стальной канат. Программный комплекс ПК Femap/NX NASTRAN позволяет представить вант двумя расчетно-геометрическими моделями: изогнутой и ломанной линиями, что является преимуществом перед другими специализированными программами. Указанный комплекс позволяет выбирать любую схему для задач разной сложности. В статье приводится сопоставительный анализ результатов машинного и ручного расчета реальной вантовой системы в соответствии с указанными моделями. Результаты расчетов подтверждают возможность использования упрощенной модели «ломаная линия» для расчета вант как поддерживающих крепежных элементов вантовых покрытий зданий и сооружений, висячих мостов, корабельных мачт, линий электропередач.

Ключевые слова: вант, гибкая нить, изогнутая линия, ломаная линия, шарнирно-балочная схема ванта, вантовая система, стержневая схема ванта

Введение. Висячие, они же вантовые конструкции используются для покрытий большепролетных зданий (сооружений) разного типа [1–2], например, спортивных, зрелищных, торговых, т. е. где они наиболее экономически эффективны и эстетически привлекательны. Несущим элементом в висячих покрытиях является вант - гибкая стальная нить.

Материалом для вант являются пучки высокопрочной проволоки и канатов сортамента согласно ГОСТ 3062-80, 3063-80*, 3064-80 (Стальные канаты одинарной свивки), а также ГОСТ 2688-80, 7668-80*, 14954-80 (Стальные канаты двойной свивки).

В конструктивных решениях с небольшими пролетами в качестве вант можно использовать стержневую арматуру периодического профиля класса А-III (А400), А-IV (А600). По сортаменту горячекатаной арматуры по ГОСТ 5781-82 – для арматуры класса А-III (А400) максимальный диаметр – 40 мм, а для арматуры класса А-IV (А600) максимальный диаметр – 32 мм.

Характерная особенность ванта – это изменение начальных очертаний при воздействиях внешних нагрузок: постоянных, ветровых, температурных, снеговых и гололедных, рассчитанных по СП 20.13330.2011 [3].

Основная часть. Вант с изогнутой осью (трос) можно рассчитать в геометрически нели-

нейной постановке с использованием специализированных программных комплексов ЛИРА, STARK и др.

Пусть на вант по всей длине действует равномерно – распределенная постоянная нагрузка q и временная нагрузка p . (рис. 1). Далее равномерно-распределенная нагрузка q (Н/м).

Пролет ванта между неподатливыми крайними шарнирными опорами составляет $L = 30,0$ (м), диаметр $\varnothing 0,017$ (м). Вант изготовлен из стали и представляет собой канат одинарной свивки типа ТК согласно ГОСТ 3064 с провисанием (стрелой провеса) $f = 3,5$ (м). Интенсивность равномерно – распределенной нагрузки по всей длине ванта с учетом собственного веса самого ванта составляет $q = 10000$ (Н/м). Изгибная жесткость ванта $EA = 28628200$ (Н), собственный вес ванта – $m = 131,96$ (Н/м), начальный модуль продольной упругости $E = 1,70293 \cdot 10^{11}$ (Н/м²) (табл. Г.10 [4]). Коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$ (табл. Г.10 [4]).

Выполним упрощенный статический расчет ванта, приведенный на рис. 1. С учетом симметрии достаточно рассмотреть его половину (рис. 2).

По методам строительной механики определим силу натяжения T , которая раскладывается на составляющие: вертикальную V и горизонтальную H .

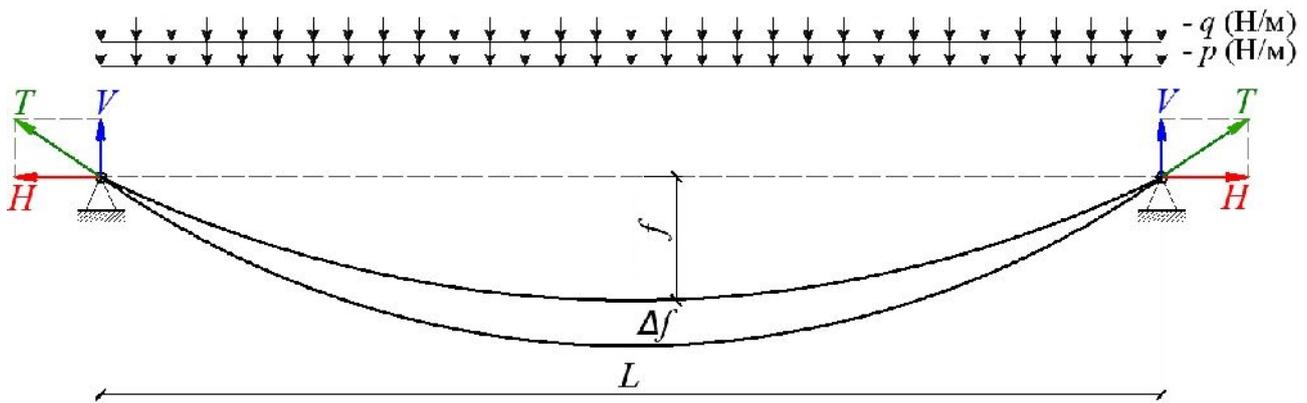


Рис. 2. Расчетная схема ванта – модель «изогнутая линия»

L – пролет, м; f – провисание (стрела провеса), м; Δf – прогиб (перемещение) ванта, м; q – равномерно-распределенная нагрузка, Н/м; V – вертикальная составляющая опорной реакции, Н; T – сила натяжения (опорная сила), Н; H – горизонтальная составляющая опорной реакции, Н

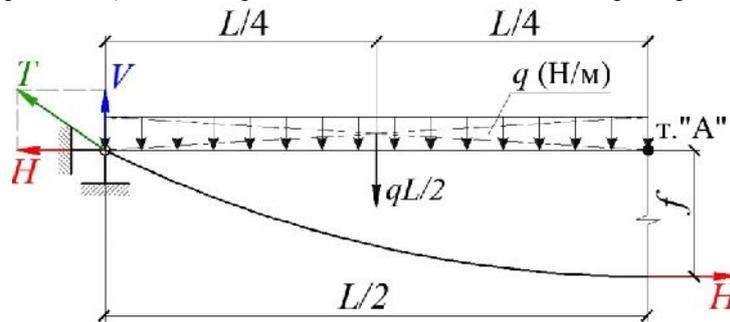


Рис. 3. Расчетная модель половины ванта

Определим максимальный прогиб Δf в точке «А», с этой целью выполним следующие операции:

1. Определяем вертикальную составляющую опорной реакции ванта V , (Н) при шарнирно-неподвижных опорах по формуле:

$$V = qL/2, \tag{1}$$

где q – равномерно распределенная нагрузка, Н/м, $q=10000$ (Н/м); L – пролет ванта, м, следовательно, принимаем $L = 30,0$ (м). Вертикальная опорная реакция составит $V = qL/2 = 1,5 \cdot 10^5$ (Н).

$$H = \left[\frac{qL}{2} \times \frac{L}{2} - q \times \frac{L}{2} \times \frac{L}{4} \right] \times \frac{1}{f} = \left[\frac{qL^2}{4} - \frac{qL^2}{8} \right] \times \frac{1}{f} = \frac{qL^2}{8f},$$

Горизонтальная составляющая опоры (распор) составит:

$$H = \frac{qL^2}{8f} = \frac{10000(H/м) \times 30^2(м)}{8 \times 3,5(м)} = 321428(H)$$

Данная формула позволяет в любой точке n определить распор ванта H_n в том случае, если известно значение стрелы провисания f_n точки n . Но бывают случаи, когда необходимо узнать стрелу провеса f_n в какой-то определенной точке n по длине ванта. Тогда необходимо вычислить изгибающий момент M_n в точке n . В этом случае определяем расстояние L_n от вертикальных сил до

2. Определяем распор ванта без учета деформации от растяжения по формуле:

$$\sum M_{ca} - H \times f = 0 \tag{2}$$

выполняя преобразование формулы (2) получим: $H = \frac{\sum M_{ca}}{f}$; где $\sum M_{ca}$ – сумма моментов вертикальных сил q (включая опорную реакцию V , (Н)), расположенных слева от точки «А»;

f – провисание ванта (стрела провеса), м, принимаем, $f = 3,5$ (м) – начальная геометрическая характеристика ванта

точки n при уже известном значении распора. Далее воспользуемся преобразованной формулой

$$(2) \text{ и вычислим стрелу провеса } f_n = \frac{\sum M_n}{H}.$$

3. Определяем опорное усилие – силу натяжения T , (Н) по формуле: $T = \sqrt{H^2 + V^2}$ (3)

$$T = \sqrt{321428(H)^2 + 15000(H)^2} = 354705(H)$$

Далее определяем прогиб (деформацию) Δf , м по формуле [5, 6]:

$$\Delta f = \frac{3}{128} \times \frac{\mu^2}{f^2} \times \frac{qL^4}{EA}, \quad (4) \quad \text{где } \mu = 1 + \frac{8}{3} \left(\frac{f}{L} \right)^2 = 1 + \frac{8}{3} \left(\frac{3,5(м)}{30,0(м)} \right)^2 = 1,0363 -$$

отношение длины ванта L к пролету [5];

$$\Delta f = \frac{3}{128} \times \frac{\mu^2}{f^2} \times \frac{qL^4}{EA} = \frac{3}{128} \times \frac{1,0363^2}{3,5(м)^2} \times \frac{9100(Н/м) \times 30(м)^4}{28628200(Н)} = 0,529(м)$$

Результаты расчета ванта с применением ПК ЛИРА по расчетной схеме (модели) «изогнутая линия» (см. рис. 1), представлены на рис. 3, 4.

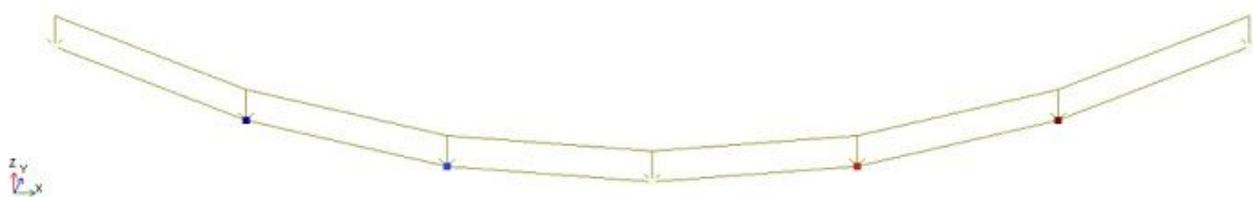
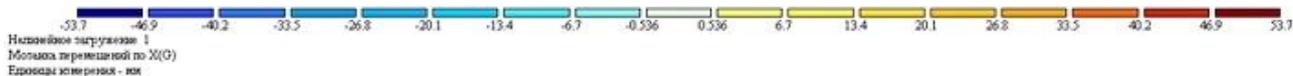


Рис. 3. Перемещение ванта по оси X составило 0,0537 (м)



Рис. 4. Перемещение ванта по оси Z составила в центре 0,528 (м)

Представим вант в виде стержня, жесткость которого на изгиб (EJ) и кручение пренебрежимо мала по сравнению с жесткостью при растяжении (EA). На примере большепролетного здания [1–2] рассмотрим вантовое покрытие с параллельным расположением вант.

Железобетонные плиты покрытия, изготавливаемые в сборном или монолитном виде из легкого или тяжелого бетонов, укладываются на

ванты и закрепляются на них с помощью фиксаторов – зажимов.

При этом они передают вантам свой вес как сосредоточенную нагрузку, в силу чего изогнутая линия вант становится ломаной. Фиксаторы – зажимы представляют собой выпуски рабочей арматуры (рис. 5) из железобетонных плит покрытия. Класс бетона по прочности на сжатие должен быть не ниже класса В15 [7].

Если линия вантового покрытия зафиксирована, например, устройством жесткого утеплителя с заполнением швов между плитами, то расчет гибкой нити может быть выполнен с использованием компьютерных программ как для наклонных стержней, например, с применением ПК FEMAP with NX NASTRAN. Стержни, ориентированные под разными углами, образуют ломаную линию, подобную изогнутой оси.

Таким образом, расчетная схема (см. рис. 6) представляет собой стержневую систему, состоящую из равных наклонных участков (стержней), соединенных с помощью шарниров [8]. В местах шарнирного соединения соседних участков (стержней) приложены сосредоточенные силы P_i .

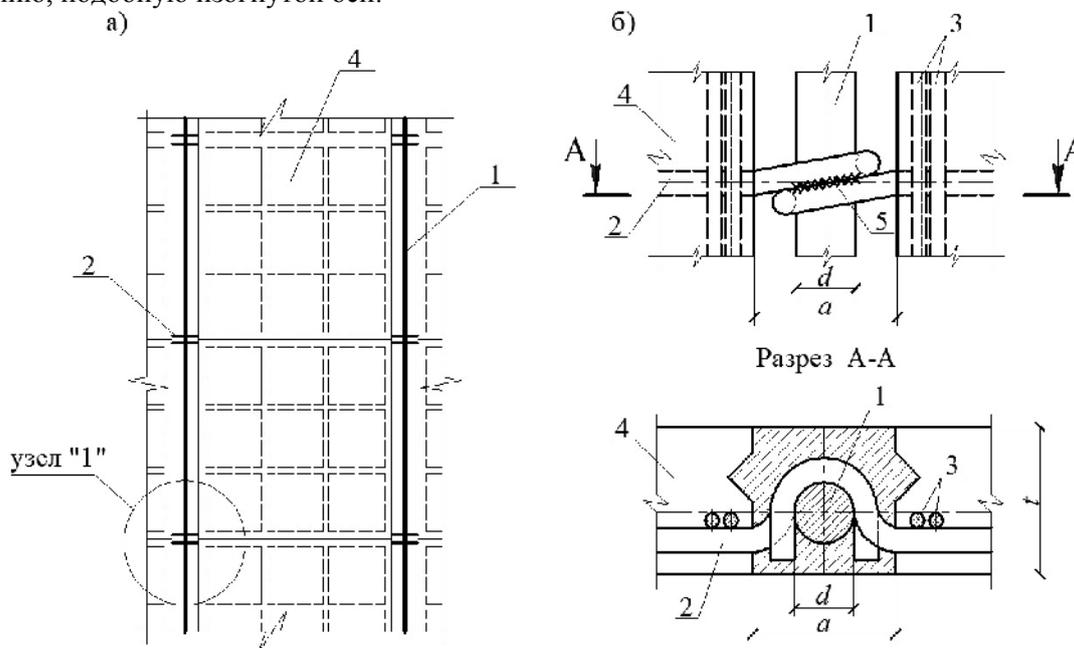


Рис. 5. Фрагмент вантового покрытия с параллельным расположением вант

- а) План раскладки железобетонных плит покрытия с вантами;
 - б) Узел «1» – соединение ванты с железобетонными плитами покрытия
- 1 – вант; 2 – выпуски арматуры ж/б плиты покрытия; 3 – армирование ж/б плиты покрытия; 4 – ж/б плита покрытия; 5 – сварка

Примем для машинного расчета модели вант «ломаная линия» исходные данные из предыдущего примера. Только вместо равномерно – распределенной нагрузки $q=10000$ (Н/м), приложим

к системе сосредоточенные силы в пяти точках $P = P_2 = P_3 = P_4 = P_5 = P_6 = q \cdot L / 6 = 10000 \cdot 30 / 6 = 50000$ (Н) и две сосредоточенные силы на опорах $P_1 / 2 = P_7 / 2 = 50000 / 2 = 25000$ (Н).

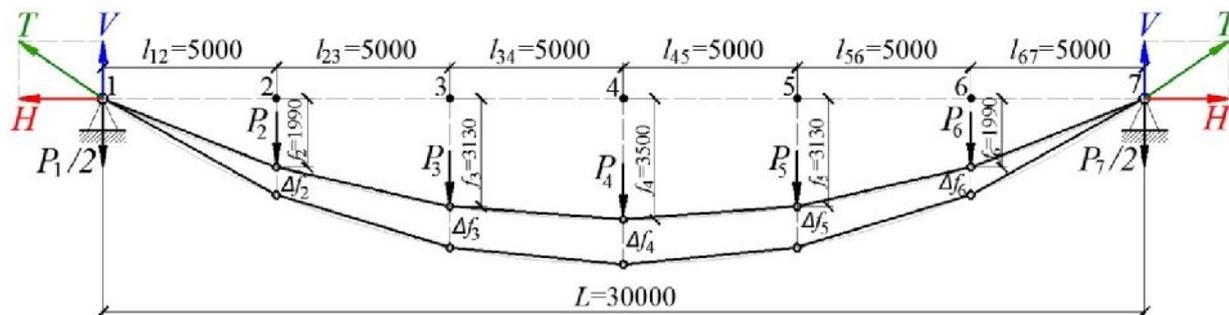


Рис. 6. Расчетно-геометрическая схема ванты – модель «ломаная линия»

L – пролет между опорами, м; P – сосредоточенная сила, Н; Δf_n – прогиб (перемещение) ванты в n точке, м

Геометрическая схема ванты предусматривает разбиение пролета $L = 30$ м семью точками с соответствующим разделением на шесть равных

участков длиной $l_{12} = l_{23} = l_{34} = l_{45} = l_{56} = l_{67} = 5$ м (индексами обозначены номера участков).

Общая стрела провисания в точке «4» составит $f = 3,5$ (м). Провесы в точках имеют разные значения:

- на опорах, т.е. в точках «1» и «7» провес отсутствует, $f_1 = f_7 = 0$ м;
- в пролете, а именно, на приопорных участках, т.е. в точках «2» и «6», стрела провеса составит $f_2 = f_6 = 1,99$ м;
- в середине пролета в точках «3» и «5» провисание составит $f_3 = f_5 = 3,13$ м.

Поперечные деформации ванты под нагрузкой трансформируются в его продольные деформации, требующие геометрического нелинейного анализа [9]. Физическая нелинейность подразумевает пластическое деформирование материала.

В программном комплексе FEMAP with NX NASTRAN нелинейный статический анализ (Nonlinear Static Analysis) представляет собой решение нелинейного матричного уравнения (5) итерационным методом Ньютона – Рафсона [10].

$$[C]\{\Delta\} = \{P\}, \quad (5)$$

где $[C]$ – матрица жесткости ванты (Н/м); $\{\Delta\}$ – вектор перемещений (м); $\{P\}$ – вектор нагрузки (Н).

Материал ванты – сталь, рассматривается в расчете как идеально упруго-пластический материал с пределом текучести $\sigma_T = 240 \cdot 10^6$ Н/м² и модулем продольной упругости $E = 1,70293 \cdot 10^{11}$ (Н/м²).

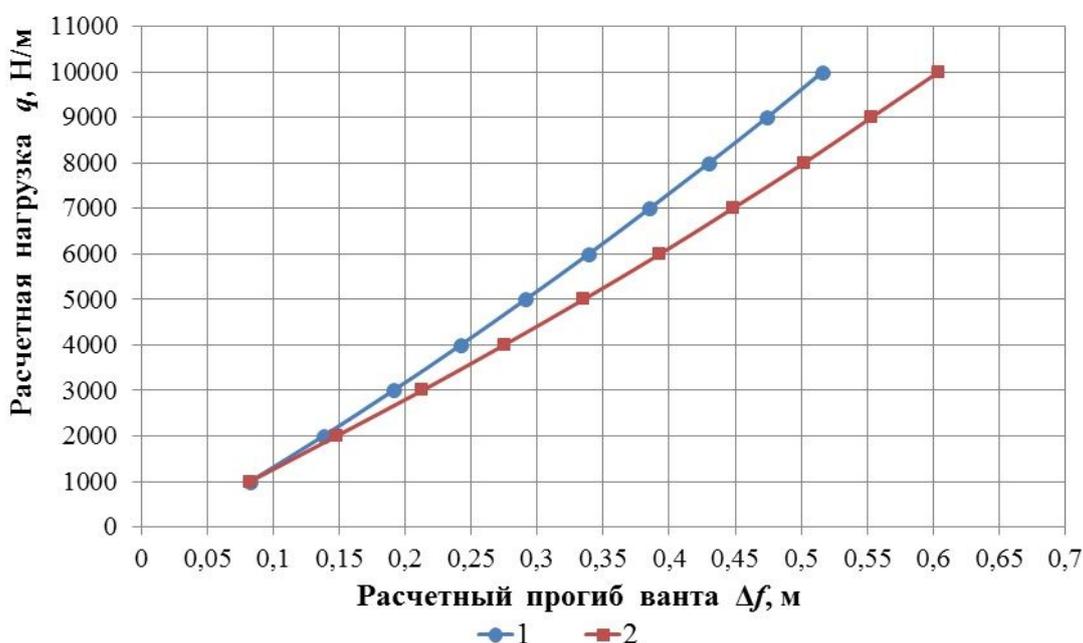


Рис. 7. График изменения расчетного прогиба ванты Δf, (м) от равномерно-распределенной нагрузки q (Н/м)

1 – геометрическая нелинейность ванты; 2 – геометрическая+физическая нелинейность ванты

На рисунке 7 и в таблице 1 приводятся силовые характеристики ванты, рассчитанные с учетом геометрической (1), а также геометрической + физической (2) нелинейности. Степень относительного влияния физической нелинейности деформирования материала иллюстрируется на рисунке 8. Результаты анализа демонстрируют су-

щественное влияние геометрической и физической нелинейности на силовые характеристики ванты как удерживающего конструктивного элемента.

Результаты расчета реакций опор R (H , V , T) и прогиба Δf модели «ломаная линия», выполненные в ПК FEMAP/NX NASTRAN приведены на рисунках 9–13.

Таблица 1

Прогиб ванты с учетом геометрической и физической нелинейности

Нелинейность ванты	Равномерно распределенная нагрузка q (Н/м):									
	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
1	0,0825	0,138	0,191	0,242	0,291	0,339	0,385	0,430	0,474	0,516
2	0,0825	0,148	0,213	0,275	0,335	0,393	0,448	0,501	0,554	0,604
разница	0 %	6,75 %	10,33 %	12,00 %	13,13 %	13,74 %	14,06 %	14,17 %	14,44 %	14,57 %



Рис. 8. График влияния физической нелинейности (ФН) на расчетный прогиб

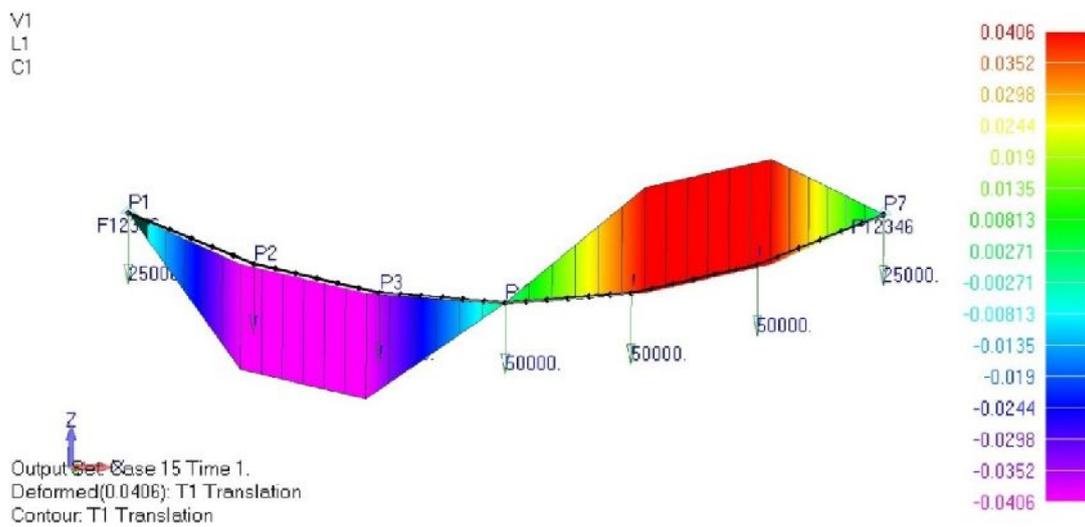


Рис. 9. Перемещение ванта по оси X равно 0,0406 (м)

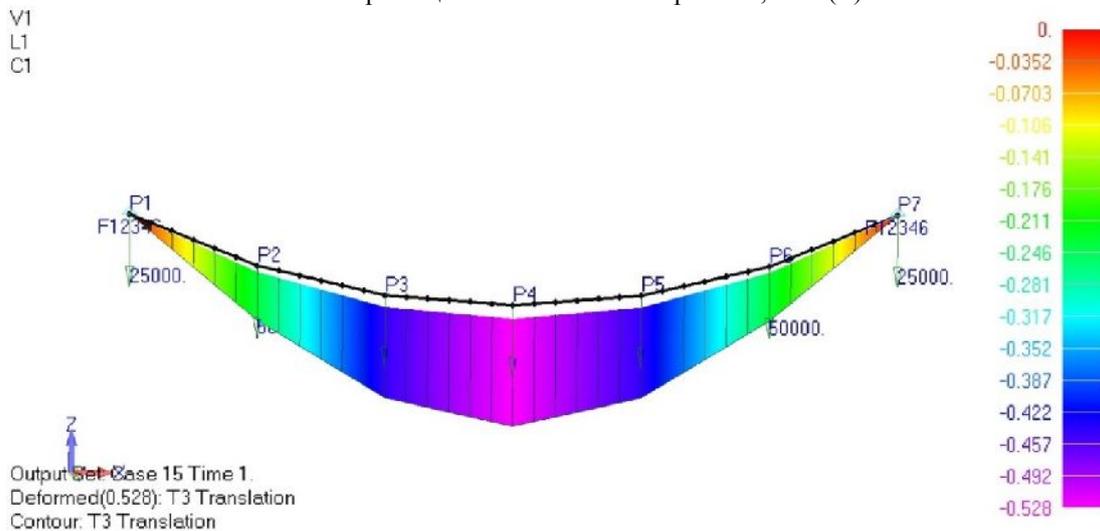


Рис. 10. Перемещение ванта в центре по оси Z равно 0,528 (м)

В данном расчете при окончательном шаге 15 (Case 15 Time 1) нагрузки $P = P_{\max} = 50000$ (Н) перемещение в точке «4» составило 0,528 (м), т.

е. при действующей расчетной нагрузке (рис. 10). Аналогично выполнены реакции опор R (H , V , T) в точках «1» и «2» (см. рис. 11, 12, 13).

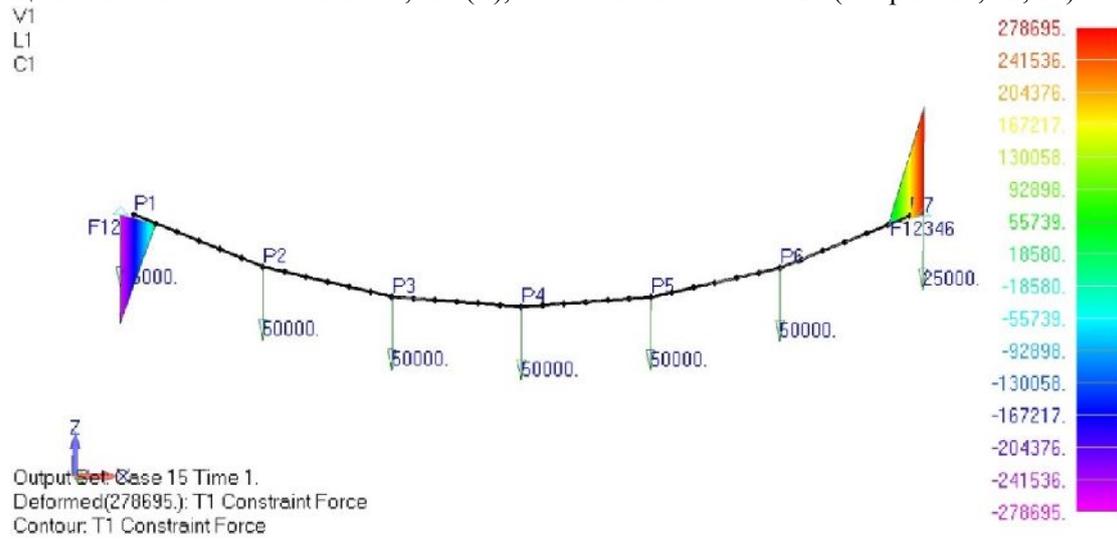


Рис. 11. Горизонтальная составляющая опорной реакции $H = 278355$ (Н)

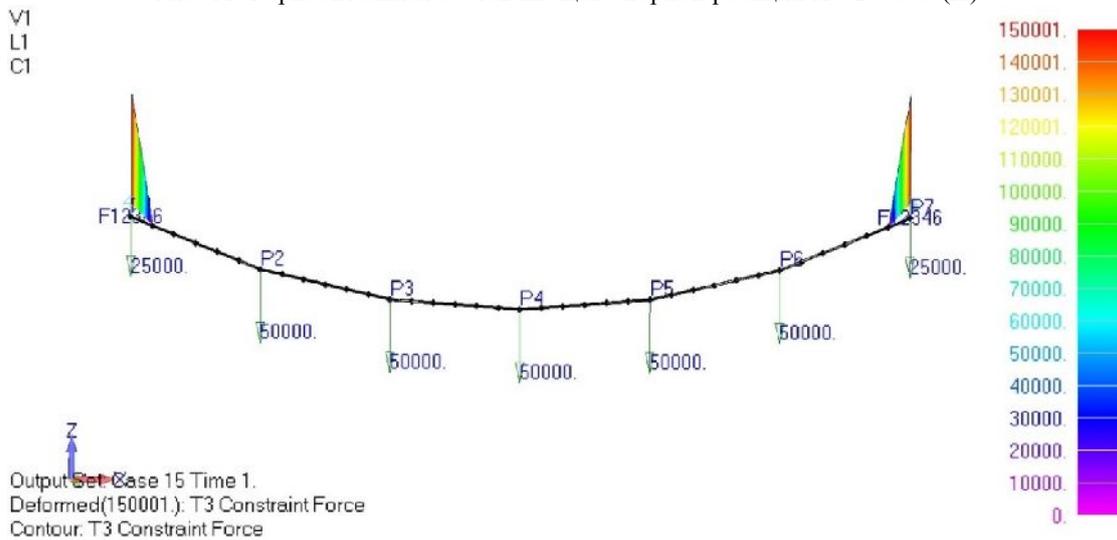


Рис. 12. Вертикальная составляющая опорной реакции $V = 150001$ (Н)

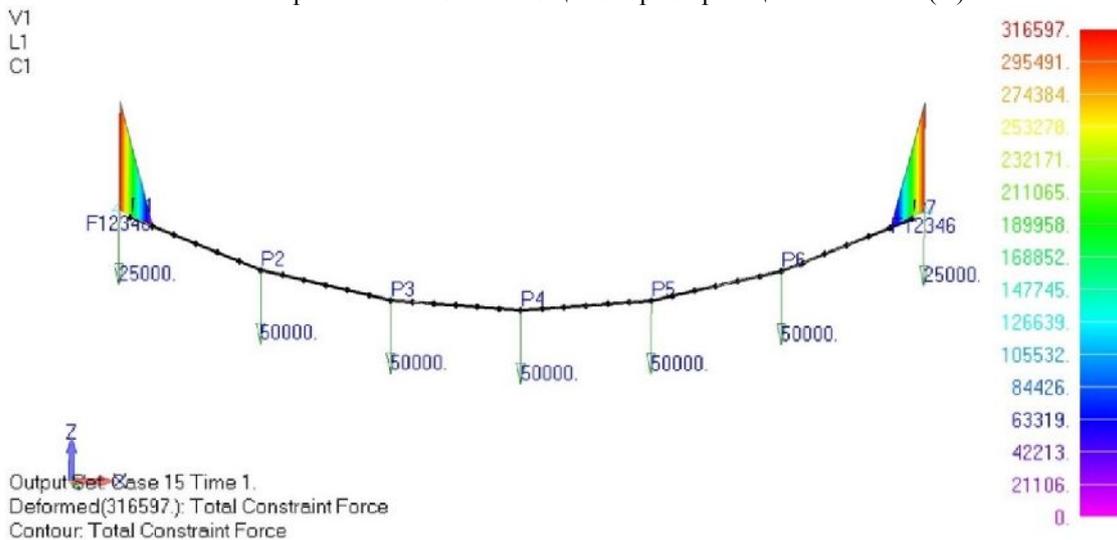


Рис. 13. Сила натяжения $T = 316597$ (Н)

Результаты расчетов вант (рис. 1, 2 и 6) по трем разным моделям приведены в таблице 1. Проанализировав реакции опор R_i (H_i , V_i , T_i) в

точках «1» и «2» можно определить погрешность между упрощенной схемой и моделями «изогнутая линия» и «ломаная линия».

Таблица 2

Результаты расчетов

№ п/п	Расчетные модели вант	Реакции опор R_i , (Н) в вантах:			Расчетный прогиб Δf , (м)	
		Вертикальная сила V_i , (Н)	Горизонтальная сила H_i , (Н)	Сила натяжения T_i , (Н)	По оси Z, (м)	По оси X, (м)
1.	Упрощенная схема	150000	321428	354705	0,529	-
2.	«Изогнутая линия»	150000	278355	316199	0,528	0,0537
3.	«Ломаная линия»	150001	278695	316597	0,528	0,0406
Сравнительный анализ расчетных моделей вант						
1.	Упрощенная схема / «Изогнутая линия»	0 %	Число уменьшилось на 13,40 %	Число уменьшилось на 10,85 %	Число уменьшилось на 0,18 %	-
2.	Упрощенная схема / «Ломаная линия»	0 %	Число уменьшилось на 13,29 %	Число уменьшилось на 10,74 %	Число уменьшилось на 0,18 %	-
3.	«Изогнутая линия» / «Ломаная линия»	0 %	Число увеличилось на 0,12 %	Число увеличилось на 0,12 %	0 %	Число уменьшилось на 24,39 %

Выводы:

1. Вантовые системы нашли широкое применение в строительстве и технике [11–13].

2. При расчетах вантовых систем применяются различные модельные представления, используются сложные программные комплексы ЛИРА, STARK, FEMAP with NX NASTRAN.

3. В статье выполнено сравнение результатов расчетов с применением моделей «ломаная линия» и «изогнутая линия». Для сравнения использован программный комплекс ЛИРА и ПК FEMAP with NX NASTRAN.

4. Модель «ломаная линия» представляет особый интерес в связи с возможностью упрощенного (инженерного) расчета вант, основанного на балочном его представлении.

5. На основе результатов сопоставительных расчетов вант можно сделать вывод, что, несмотря на разные расчетные схемы значения сил на приопорных участках R_i (H_i , V_i , T_i) и перемещений по осям X и Z изменились несущественно (таблица 2).

6. Расчетный анализ показал, что упрощенную модель «ломаная линия» можно использовать для инженерных поверочных расчетов вантовых систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кужахметова Э.Р., Сапожников А.И. Архитектурная выразительность и физиологическая целесообразность зданий с криволинейными поверхностями // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2012. №11 (166). С. 42–45.

2. Сапожников А.И. Жизнь зданий в земной стихии. Германия: LAP LAMBER Academic Publishing, 2014. 60 с.

3. Кужахметова Э.Р. Деформация вант при различных условиях нагружения // Балтийский морской форум: материалы VI Международного Балтийского морского форума 2018 года: «Прогрессивные технологии, машины и механизмы в машиностроении и строительстве»: IV Международная конференция, (Калининград, 3-6 сентября 2018). Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ». 2018. Т. 6. С. 129–140.

4. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*.

5. Трущев А.Г. Пространственные металлические конструкции: Учеб. пособие для вузов. М.: Стройиздат, 1983. 215 с.

6. Кирсанов Н.М. Вантовые конструкции. Под общей редакцией д-ра техн. наук проф. Н.С. Стрелецкого. М.: Стройиздат, 1968. 25 с.

7. СП 52-101-2003 Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры.

8. Сапожников А.И., Горелов С.Ф. Численный метод расчета проводов линий электропередачи // Изв. вузов. Энергетика. 1981. №3. С. 90–92.

9. Кужахметова Э.Р. Сравнительный анализ работы вант с разной геометрической характеристикой при вертикальном нагружении // Известия Калининградского государственного технического университета. 2017. №45. С. 235–244.

10. Сутырин В.И. Метод приведения в практике расчетов корпусных конструкций // Судостроение. 2008. №4. С. 17–21.

11. Сутырин В.И. Возможности повышения эффективности метода конечных элементов при проектировании судовых конструкций // Судостроение. 2005. №3. С. 9–13.

12. Wai-Fah Chen, Lian Duan. Bridge engineering handbook. Superstructure desing. 2nd ed. Boca Ration London New York, Taylor Francis Group, 2010. 736 p.

13. Podolny W.Jr., Scalzi J.B. Construction and design of cable-stayed bridges. 2nd ed. Wiley, New York, 1986. 227p.

Информация об авторах

Кужахметова Эльвира Рафаэлевна, аспирант кафедры машиноведения и технических систем. Email: elja_09@bk.ru. Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта. Россия, 236016, Калининградская область, г. Калининград, ул. Александра Невского, 14.

Поступила в ноябре 2018 г.

© Кужахметова Э.Р., 2019

^{1,*}**Kuzhakhmetova E.R.**

¹Immanuel Kant Baltic Federal University
Russia, 236016, Kaliningrad, st. A. Nevskogo, 14
E-mail: elja_09@bk.ru

METHODS OF CALCULATING CABLES AND CABLE STRUCTURES

Abstract. The article is devoted to the methods of calculation cables and cable-stayed structures, which use cables as a supporting element with hinged clamping. The cable is a flexible thread with a curvilinear outline. The form of the thread resembles a “curved line” suspended on hinges. An alternative version of the cable is called the model of a “broken line”, which is a beam construction with low flexural rigidity. The use of this model simplifies the calculation greatly. It comes down to the calculation of a conventional beam with hinged connections and equal spans, which maximally repeats the curved outline of a flexible line. The section of the cable is prescribed according to GOST. The software package PC Femap / NX NASTRAN allows to present the cables with two design-geometric models: curved and broken lines, which is an advantage over other specialized programs. This complex allows to choose any scheme for tasks of varying complexity. The article provides a comparative analysis of machine and manual calculation results of the real cable system in accordance with specified models. The results confirm the possibility of using the simplified “broken line” model for calculating cables as supporting fasteners for cable-stayed coatings of buildings and structures, suspension bridges, ship masts, power lines.

Keywords: cable, flexible thread, curved line, broken line, articulated beam cable, cable system, rod cable scheme.

REFERENCES

1. Kuzhakhmetova E.R., Sapozhnikov A.I. Architectural expressiveness and physiological expediency of buildings with curvilinear surfaces. Building materials, equipment, technologies of the 21st century, 2012, no. 11 (166), pp. 42–45.

2. Sapozhnikov A.I. The life of buildings in the earth element. Germany: LAP LAMBER Academic Publishing. 2014, 60 p.

3. Kuzhakhmetova E.R. Deformation of guys under different loading conditions. Baltic Sea Fo-

rum: materials of the VI International Baltic Sea Forum 2018: “Advanced technologies, machines and mechanisms in mechanical engineering and construction”: IV International Conference, (Kaliningrad, 3- September 6, 2018), Kaliningrad: Publishing House BFFSA FSBEI HE “KSTU”, 2018, vol. 6, pp. 129–140.

4. SP 16.13330.2011. Steel construction. Updated edition of SNiP II-23-81*.

5. Trushchev A.G. Spatial metal structures: Proc. manual for universities. M.: Stroyizdat. 1983, 215 p.

6. Kirsanov N.M. Guy constructions. Under the general editorship of Dr. Tech. Sciences prof. N.S. Streletsky. M.: Stroyizdat. 1968, 25 p.

7. SP 52-101-2003 Concrete and reinforced concrete structures without prestressing the reinforcement.

8. Sapozhnikov A.I., Gorelov S.F. Numerical method for calculating power lines. Izv. Universities. Energy, 1981, no. 3, pp. 90–92.

9. Kuzhakhmetova E.R. Comparative analysis of the work of the guys with different geometric characteristics under vertical loading. News of Kaliningrad State Technical University, 2017, no. 45, pp. 235–244.

10. Sutyryn V.I. The method of reduction in the practice of calculations of hull structures. Shipbuilding, 2008, no. 4, pp.17–21.

11. Sutyryn V.I. Opportunities to improve the efficiency of the finite element method in the design of ship structures. Shipbuilding, 2005, no.3, pp.9-13.

12. Wai-Fah Chen, Lian Duan. Bridge engineering handbook. Superstructure desing. 2nd ed. Boca Ration London New York, Taylor Francis Group, 2010, 736 p.

13. Podolny W.Jr., Scalzi J.B. Construction and design of cable-stayed bridges. 2nd ed. Wiley, New York, 1986, 227 p.

Information about the authors

Kuzhakhmetova, Elvira R. Postgraduate student. E-mail: elja_09@bk.ru. Immanuel Kant Baltic Federal University. Russia, 236016, Kaliningrad, st. A. Nevskogo, 14.

Received in November 2018

Для цитирования:

Кужахметова Э.Р. Методы расчета вант и вантовых конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №2. С. 39–48. DOI: 10.12737/article_5c73fc07ba7858.43737360

For citation:

Kuzhakhmetova E.R. Methods of calculating cables and cable structures. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 2, pp. 39–48. DOI: 10.12737/article_5c73fc07ba7858.43737360

DOI: 10.12737/article_5c73fc0ef063c3.60645861

¹Смоляго Г.А., ^{1,*}Фролов Н.В.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

*E-mail: frolov_pgs@mail.ru

ПРИКЛАДНОЙ СПОСОБ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ И ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С УЧЕТОМ ОПЫТА ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ-АНАЛОГОВ

Аннотация. Статья посвящена проблемам долговечности изгибаемых железобетонных элементов, имеющих коррозионные повреждения бетона и арматуры. Отмечается, что из-за коррозионных повреждений материалов несущая способность эксплуатируемых железобетонных конструкций может снижаться вплоть до их разрушения. Для обеспечения безопасной эксплуатации зданий и сооружений необходимо располагать адаптированными методиками расчета, позволяющими с допустимой погрешностью определять остаточный ресурс конструкций, понятие которого применительно к строительным конструкциям многими исследователями трактуется по-разному. В задачах, не связанных с безопасностью прогнозирование развития коррозионных повреждений и уменьшения величины остаточного ресурса, предлагается выполнять прикладным способом, основанном на данных по обследованию текущего технического состояния исследуемых железобетонных конструкций и опыте эксплуатации идентичных конструкций (объектов-аналогов). Под объектами-аналогами в работе представляются здания и сооружения аналогичного функционального назначения, находящиеся в схожих климатических условиях и имеющие идентичные железобетонные конструкции. Приведена последовательность действий, по результатам которой можно определить остаточный срок службы изгибаемых железобетонных элементов. В заключение отмечена острая необходимость разработки с последующим включением в нормы проектирования универсальных методик расчета железобетонных конструкций и определения остаточного ресурса при эксплуатации под нагрузкой в агрессивных средах.

Ключевые слова: изгибаемый железобетонный элемент, коррозионное повреждение, остаточный ресурс, срок службы, прикладной способ, прогнозирование, время.

Введение. Проблемы долговечности эксплуатируемых железобетонных конструкций привлекают все возрастающее внимание. Это обусловлено тем, что фактический срок службы многих зданий и сооружений, выполненных из железобетона, на сегодняшний день превышает 60 лет и их количество ежегодно только растет. За такое длительное время с начала эксплуатации накапливаются различные технологические дефекты и средовые повреждения конструкционных материалов вследствие совместных силовых и средовых воздействий, что приводит к снижению несущей способности конструкций вплоть до их разрушения.

Определяющим показателем долговечности эксплуатируемых зданий и сооружений является остаточный ресурс основных несущих конструкций. Его расчет и прогнозирование является актуальной, сложной и информативной задачей при обеспечении дальнейшей безопасной эксплуатации строительных объектов, а также при обосновании экономической целесообразности капиталовложений в недвижимость, имеющую около или сверхнормативный срок службы.

В настоящее время существует ряд методов и основанных на них методик расчета остаточного ресурса железобетонных конструкций, описание которых подробно приведено в работах [1–3]. Присущие недостатки пока не позволяют считать какую-либо методику универсальной и включить ее в строительные нормы. Кроме того, к дополнительным сложностям приводит тот факт, что многие исследователи по-разному истолковывают само понятие остаточного ресурса строительных конструкций [4].

Согласно ГОСТ 27.002 «Надежность в технике», *остаточный ресурс* – суммарная наработка объекта от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние. При этом под *наработкой* подразумевается продолжительность или объем работы объекта. То есть, остаточный ресурс железобетонных конструкций может быть выражен как в единицах времени, тогда под ним понимается остаточный (предельно допустимый) срок службы, так и в других единицах, например, относительных единицах силового сопротивления, диктуемых поверочными расчетами по двум группам предельных состояний, тогда под ним понимается некоторый

запас (прочности, устойчивости, деформативности и др.), при реализации которого наступит предельное состояние. На наш взгляд, трактовать термин остаточный ресурс более правильно именно по второму случаю, потому что здесь осуществляется непосредственная привязка к основным параметрам предельных состояний конструкций, а соответственно, технического состояния. Временной период, за который произойдет исчерпание запаса по одному из параметров (исчерпание минимального из ресурсов до нулевого значения), определяет остаточный срок службы конструкции и, таким образом, будет выдержана логическая последовательность в расчетах. Выполняя расчеты по прогнозированию остаточного ресурса, мы тем самым прогнозируем интенсивность исчерпания несущей способности, жесткости и трещиностойкости во времени и находим остаточный срок службы.

Разберем сказанное выше в виде упрощенного графика (рис. 1), описывающего изменение ресурса конструкции r во времени t . Начало координат соответствует моменту ввода объекта в эксплуатацию ($t = 0$), когда ресурс силового сопротивления имеет максимальную величину r_u ,

которая в большинстве эксплуатационных сред постоянна до определенного времени t_0 – прямой участок на графике (период ожидания коррозии, дефекты и повреждения незначительны). В рассматриваемый момент времени t_i на основании данных по натурному обследованию технического состояния конструкции определяется ее остаточный ресурс r_i . Зная функциональные зависимости изменения геометрических и деформативно-прочностных характеристик материалов с течением времени, выполняется прогнозирование остаточного ресурса до его полного исчерпания ($r = 0$), что будет соответствовать фактическому сроку службы конструкции t_u . Остаточный срок службы конструкции (остаточный ресурс, выраженный в единицах времени) T находится как разница времени t_u и t_i .

В ситуациях, когда произведены усиление или замена конструкций, начало координат соответствуют моменту возобновления эксплуатации после ремонта [5].

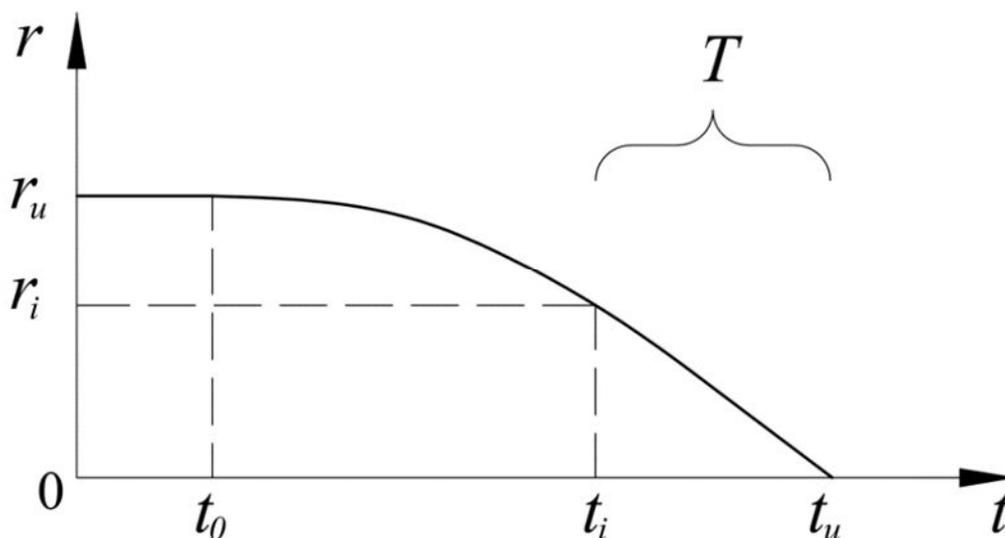


Рис. 1. Изменение ресурса (запаса) конструкции во времени

Для изгибаемых железобетонных элементов остаточный ресурс определяется как минимальный из всех рассчитанных по простой инженерной формуле (1). Данное выражение при необходимости дополняется другими видами расчетов по предельным состояниям и конструктивным требованиям [6]. Исправное состояние конструкции предполагает, что минимальный остаточный ресурс больше нулевого значения.

$$r_i = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{M_{\max}}{M_u \Theta_i} \\ 1 - \frac{Q_{\max}}{Q_u \Theta_i} \\ 1 - \frac{f \Theta_i}{f_u} \\ 1 - \frac{a_{crc} \Theta_i}{a_{crc,u}} \end{array} \right. , \quad (1)$$

где M_{\max} и Q_{\max} – максимальные значения изгибающего момента и поперечной силы, возникающих в сечении элемента от внешней нагрузки; $M_u(t_i)$ и $Q_u(t_i)$ – предельный изгибающий момент и поперечная сила, которые могут быть восприняты сечением в рассматриваемый момент времени; $f(t_i)$ и $a_{cr}(t_i)$ – прогиб и ширина раскрытия трещин от действия внешней нагрузки в рассматриваемый момент времени; f_u и $a_{cr,u}$ – предельно допустимые значения прогиба и ширины раскрытия трещин, принимаемые по нормам проектирования.

Часто превалирующей причиной снижения несущей способности изгибаемых железобетонных элементов является негативное влияние агрессивной эксплуатационной среды, приводящей к коррозионным повреждениям бетона и арматуры [7]. При прогнозировании остаточного ресурса и определении остаточного срока службы таких конструкций необходимо знать кинетику коррозионных процессов в материалах [8–10, 14]. В отдельных случаях для этой цели может быть применен прикладной способ прогнозирования, описанный в настоящей работе.

Методика. При выполнении работы задействованы общенаучные методы исследования, основными из которых являются обобщение и аналогия принципов работы изгибаемых железобетонных элементов в агрессивных средах под нагрузкой.

Основная часть. В задачах, когда отсутствует вероятность внезапных отказов и напрямую не связанных с безопасностью [11, 12], например, при экономическом обосновании решений на краткосрочный период и финансовом планировании ремонтов, с достаточной точностью может быть применен прикладной способ прогнозирования коррозионных повреждений и остаточного ресурса изгибаемых железобетонных элементов. Способ основывается на результатах натурных обследований технического состояния конструкций и учитывает опыт эксплуатации объектов-аналогов, под которыми понимаются здания и сооружения аналогичного функционального назначения, находящиеся в схожих климатических условиях и имеющие идентичные железобетонные конструкции.

Имеющийся опыт эксплуатации зданий и сооружений формируется экспертными организациями как информационный банк данных по основным параметрам, определяющим техническое состояние железобетонных конструкций за различный период эксплуатации. Стоит отметить, что здесь большую роль играет высокая квалификация экспертов, проводивших обследования.

Вначале проводят детальное обследование изгибаемых железобетонных элементов, на предмет обнаружения и измерения имеющихся коррозионных повреждений бетона и арматуры, измерения габаритных размеров, ширины раскрытия трещин, максимальных прогибов и т.д. Влияние агрессивной среды на бетон рассматривается как фактор, изменяющий его прочность, которая устанавливается известными неразрушающими методами контроля; количественной мерой коррозионного процесса является глубина нейтрализации композита, определяемая на сколе измерением микротвердости либо показателя pH. Считается, что прочность арматурной стали из-за процессов коррозии, меняется незначительно; количественной мерой является глубина коррозионного повреждения стержня [15].

Затем выполняются поверочные расчеты конструкций по предельным состояниям, и устанавливается их текущий остаточный ресурс по различным параметрам напряженно-деформированного состояния.

Далее по отдельности производится прогнозирование процессов развития коррозионных повреждений δ бетона и арматуры во времени t (рис. 2). Для этого, в соответствующую систему координат добавляются точки, характеризующие величину повреждений материалов конструкций объектов-аналогов и точка, характеризующая текущее значение повреждения материалов рассматриваемой конструкции. Для совокупности данных при помощи современных математических программных комплексов устанавливается аппроксимирующая функциональная зависимость $\delta = f(t)$, линия графика которой обязательно проходит через точку (δ_i, t_i) . Если проводились периодические обследования исследуемых конструкций, то при аппроксимации учитывается несколько таких точек.

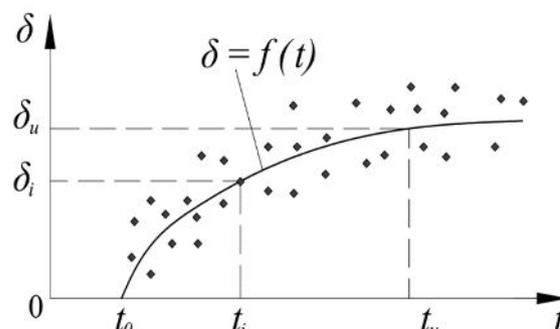


Рис. 2. Прогнозирование коррозионных повреждений с учетом опыта эксплуатации объектов-аналогов

Возможно применение различных функциональных зависимостей $\delta = f(t)$: линейной, степенной, логарифмической, экспоненциальной и

др. Это в большей степени зависит от вида агрессивной среды, вызывающей коррозию бетона и арматуры.

Выполняя прогнозирование текущих значений коррозионных повреждений δ_i до значений δ_u , при которых по расчетам наступит предельное состояние конструкции (полное исчерпание ресурса), мы в результате найдем ее остаточный срок службы.

Выводы. Накопление коррозионных повреждений бетона и арматуры сопровождается снижением несущей способности, жесткости и трещиностойкости эксплуатируемых железобетонных конструкций вплоть до их разрушения, что может стать причиной гуманитарного, экологического и экономического ущерба.

Для обеспечения безопасной эксплуатации изгибаемых железобетонных элементов, имеющих коррозионные повреждения, необходимо располагать адаптированными методиками расчета, позволяющими с допустимой погрешностью определять остаточный ресурс, что позволит находить время наступления предельного состояния, а соответственно, остаточный срок службы.

Прогнозирование коррозионных повреждений и остаточного ресурса с достаточной точностью вполне допустимо в настоящее время выполнять с помощью прикладного способа, основанного на данных по обследованию технического состояния конструкций и опыте эксплуатации идентичных конструкций (объектов-аналогов).

Назрела острая необходимость разработки с последующим включением в нормы проектирования универсальных методик расчета железобетонных конструкций и определения остаточного ресурса при эксплуатации под нагрузкой в агрессивных средах [13].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ишков А.Н. Методы прогнозирования остаточного ресурса по II группе предельных состояний для изгибаемых железобетонных конструкций, эксплуатируемых в неагрессивных средах: дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2007. С 26–42.
2. Байбурин А.Х., Байбурин Д.А. Некоторые аспекты оценки остаточного ресурса строительных конструкций // Наука и безопасность. 2011. № 1 (9). С. 16–22.
3. Дегтярь А.Н., Серых И.Р., Панченко Л.А., Чернышева Е.В. Остаточный ресурс конструкций зданий и сооружений // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 10. С. 94–97.
4. Беляев С.М. Расчет остаточного ресурса зданий с учетом запаса несущей способности конструкций // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2013. № 3 (11). С. 22–25.
5. Шилин А.А. Ремонт железобетонных конструкций: Учеб. пособие для вузов. М.: Изд-во «Горная книга», 2010, 519 с.
6. Шматков С.Б. Расчет остаточного ресурса строительных конструкций зданий и сооружений // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2007. № 22 (94). С. 56–57.
7. Селяев В.П., Селяев П.В., Сорокин Е.В., Кечуткина Е.Л. Оценка влияния химически активных агрессивных сред на процесс деградации композитов // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций. Материалы Всероссийской научно-технической конференции. Ответственный редактор Т.А. Низина. 2018. С. 170–174.
8. Смоляго Г.А., Дронов А.В., Фролов Н.В. Моделирование величины коррозионных повреждений арматуры железобетонных конструкций в условиях хлоридной агрессивной среды // Известия Юго-Западного государственного университета. 2017. № 1 (70). С. 43–49.
9. Колчунов В.И., Андросова Н.Б. Прочность корродирующего бетона при одновременном проявлении силовых и средовых воздействий // Строительство и реконструкция. 2013. № 5 (49). С. 3–9.
10. Пахомова Е.Г., Меркулов Д.С., Гордеев А.В. Прочность и деформативность изгибаемых железобетонных конструкций при коррозионном повреждении бетона и арматуры // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. 2008. № 3-19. С. 29–32.
11. Тамразян А.Г. Оценка риска и надежности несущих конструкций и ключевых элементов – необходимое условие безопасности зданий и сооружений // Вестник НИЦ «Строительство». 2009. №1. С. 160–171.
12. Меркулов С.И. Развитие теории конструктивной безопасности объектов в условиях коррозионных воздействий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 3. С. 44–46.
13. Карпенко Н.И., Карпенко С.Н., Ярмаковский В.Н., Ерофеев В.Г. О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций // Academia. Архитектура и строительство. 2015. № 1. С. 93–102.
14. Nygaard P., Geiker M., Elsener B. Corrosion rate of steel in concrete: evaluation of confinement techniques for on-site corrosion rate measurements // Materials and Structures. 2009. Vol. 42. Pp. 1059–1076.

15. Andrade C., Alonso C. Test methods for on-site corrosion rate measurement of steel reinforce-

ment in concrete by means of the polarization resistance method // Materials and Structures. 2004. Vol. 37. Pp. 623–643.

Информация об авторах

Смоляго Геннадий Алексеевич, доктор технических наук, профессор кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: trk-psv@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Фролов Николай Викторович, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: frolov_pgs@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в декабре 2018 г.

© Смоляго Г.А., Фролов Н.В., 2019

¹*Smolyago G.A., ^{1,*}Frolov N.V.*

¹*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46*

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

APPLIED METHOD FOR PREDICTING CORROSION DAMAGES AND REMAINING RESOURCE OF BENDABLE REINFORCED CONCRETE ELEMENTS TAKING INTO ACCOUNT OPERATING EXPERIENCE OF SIMILAR PROJECTS

Abstract. *The article covers the problems of durability of bent reinforced concrete elements that have concrete and reinforcement corrosion damages. It is noted, due to corrosion damage of materials, the bearing capacity of the reinforced concrete structures in use can be reduced to destruction. To ensure the safe operation of buildings and structures, it is necessary to have adapted calculation methods that allow determining the remaining resources of structures with an acceptable deviation, the concept of which is interpreted differently by many researchers. Tasks not related to the safety of predicting corrosion damage and reducing the remaining resource are proposed to be performed by an applied method. The method is based on data of current technical condition survey of the reinforced concrete structures under study and operating experience of identical structures (similar objects). Buildings and structures of similar functional purpose, which are in similar climatic conditions and have identical reinforced concrete structures, are presented as analogous objects. A sequence of actions is given, the results of which can determine the remaining resource of bent reinforced concrete elements. In conclusion, the urgent need is noted to develop and subsequently include in the design standards of universal methods for calculating reinforced concrete structures and determining the remaining resource during operation under load in aggressive environments.*

Keywords: *bendable reinforced concrete element, corrosion damage, remaining resource, applied method, predicting, time.*

REFERENCES

1. Ishkov A.N. Methods for predicting residual life for group II of limit states for bent reinforced concrete structures used in non-aggressive environments: PhD dissertation. Voronezh, 2007, pp. 26–42.
2. Bayburin A.Kh., Bayburin D.A. Some aspects of the assessment of the residual life of building structures. Science and safety, 2011, no. 1 (9), pp. 16–22.
3. Degtyar A.N., Serykh I.R., Panchenko L.A., Chernysheva E.V. Residual life of buildings and structures. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2017, no. 10, pp. 94–97.
4. Belyaev S.M. Calculation of the residual life of buildings with regard to the stock bearing capacity of structures. Bulletin SGASU. Urban planning and architecture, 2013, no. 3 (11), pp. 22–25.
5. Shilin A.A. Repair of reinforced concrete structures: Proc. manual for universities. Moscow: Gornaya Kniga Publishing House, 2010, 519 p.
6. Shmatkov S.B. Calculation of the residual life of building structures of buildings and structures. Bulletin of the SUSU. Series: Building and Architecture, 2007, no. 22 (94), pp. 56–57.
7. Selyaev V.P., Selyaev P.V., Sorokin E.V., Kechutkina E.L. Evaluation of the influence of chemically active corrosive media on the process of degradation of composites. Durability of building materials, products and structures. Materials of the All-Russian scientific and technical conference. Responsible editor T.A. Nizina. 2018, pp. 170–174.

8. Smolyago G.A., Dronov A.V., Frolov N.V. Modeling the value of corrosion damage to reinforcement of reinforced concrete structures in a chloride aggressive environment. News of SWSU, 2017, no. 1 (70), pp. 43–49.

9. Kolchunov V.I., Androsova N.B. The strength of corrosive concrete with the simultaneous manifestation of power and environmental influences. Construction and reconstruction, 2013, no. 5 (49), pp. 3–9.

10. Pakhomova E.G., Merkulov D.S., Gordeev A.V. Strength and deformability of bent reinforced concrete structures in case of corrosion damage to concrete and reinforcement. News of the Oryol State Technical University. Series: Construction and Transportation, 2008, no. 3-19, pp. 29–32.

11. Tamrazyan A.G. Risk assessment and reliability of supporting structures and key elements - a necessary condition for the safety of buildings and structures. Bulletin of the “Construction” Center, 2009, no. 1, pp. 160–171.

12. Merkulov S.I. The development of the theory of constructive safety of objects in the conditions of corrosive effects. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2014, no. 3, pp. 44–46.

13. Karpenko N.I., Karpenko S.N., Yarmakovskiy V.N., Erofeev V.T. On modern methods of ensuring the durability of reinforced concrete structures. Academia. Architecture and construction, 2015, no. 1, pp. 93–102.

14. Nygaard P., Geiker M., Elsener B. Corrosion rate of steel in concrete: evaluation of confinement techniques for on-site corrosion rate measurements. Materials and Structures, 2009, no. 42, pp. 1059–1076.

15. Andrade C., Alonso C. Test methods for on-site corrosion rate measurement of steel reinforcement in concrete by means of the polarization resistance method. Materials and Structures, 2004, no. 37, pp. 623–643.

Information about the authors

Smolyago, Gennady A. DSc, Professor. E-mail: tpk-psv@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Frolov, Nikolay V. Postgraduate student. E-mail: frolov_pgs@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in Desember 2018

Для цитирования:

Смоляго Г.А., Фролов Н.В. Прикладной способ прогнозирования коррозионных повреждений и остаточного ресурса изгибаемых железобетонных элементов с учетом опыта эксплуатации объектов-аналогов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №2. С. 49–54. DOI: 10.12737/article_5c73fc0ef063c3.60645861

For citation:

Smolyago G.A., Frolov N.V. Applied method for predicting corrosion damages and remaining resource of bendable reinforced concrete elements taking into account operating experience of similar projects. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 2, pp. 49–54. DOI: 10.12737/article_5c73fc0ef063c3.60645861

DOI: 10.12737/article_5c73fc129623f7.77024943

¹Рыбникова И.А., ²*Рыбников А.М.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
(Новороссийский филиал)

Россия, 353915, Краснодарский край, г. Новороссийск, ул. Мысхакское шоссе, д. 75

²Государственный морской университет им. адм. Ф.Ф. Ушакова

Россия, 353918, Краснодарский край, г. Новороссийск, пр. Ленина, д. 93

E-mail: a.ribnikov@novoroskhp.ru

МЕТОДИКА ПОДГОТОВКИ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ НАТУРНЫХ БУРОНАБИВНЫХ КОНИЧЕСКИХ СВАЙ

Аннотация. С целью исследования работы буронабивных конических свай длиной 4,5 м с диаметрами голов 0,4; 0,6 м и одинаковым для обоих диаметром нижнего торца равным 0,2 м была разработана методика тензометрических исследований, которые являются одними из точных и надёжных. Для данного типа свай с углом конусности $1^{\circ}20'$ и $2^{\circ}40'$ в качестве оптимальных измерительных изделий предложены тензодинамометры и мессдозы, оснащённые тензорезисторами. Они позволяют выявить распределение усилий по длине ствола и по боковой поверхности таких свай при вдавливающей нагрузке. Приведены схемы конструкций тензодинамометров и мессдоз, технология подготовки их к работе в комплекте с прибором ИДЦ-1 (измеритель деформаций цифровой). Как показала тарировка тензометрических изделий погрешность измерений исследуемых параметров не превышает 4%. Данные тензометрических исследований работы позволяют построить эпюры распределения усилий в сечениях и по стволу, а также эпюры контактных напряжений по наклонной боковой поверхности буронабивных конических свай, что послужит в дальнейшем для разработки методики расчёта их несущей способности.

Ключевые слова: буронабивная свая, конусность сваи, тензодинамометр, мессдоза, тензорезистор, погрешность измерений.

Введение. Давно известны конструкции свай с изменяющимся сечением по стволу как забивных, так и набивных. Типичной формой набивной сваи, образованной коническим сердечником без выемки грунта из скважины, является свая системы «Компрессоль», предложенная французским инженером Дюлаком ещё в 1900 г. У сваи «Франкиньюль», созданной во Франции в 1909 г. обсадная труба состоит из концентрических звеньев, вставленных друг в друга. Длина звеньев 3...6 м при диаметре 40–70 см. Специальные муфты, не мешая телескопическому передвижению звеньев в грунте при образовании скважины, предохраняют их от разведения. Широко используются в практике фундаментостроения забивные пирамидальные сваи прямоугольного и треугольного сечения, а также сваи в выштампованных скважинах конусной формы. Такой тип свай обладает повышенной удельной несущей способностью (на 1 м^3) за счёт расклинивающего эффекта по боковой поверхности при действии вертикальной нагрузки.

Цилиндрические буронабивные сваи, изготовленные в пробуренных скважинах с удалением грунта, имеют свою область рационального применения. Идея повышения несущей способности таких свай путём придания им конусности привнесена из приведенных выше типов свай, что позволило бы сочетать в себе основные пре-

имущества забивных клиновидных и буронабивных свай. Результаты модельных и натурных испытаний трёх типоразмеров буронабивных конических свай показали их эффективность [1, 2]. Диаметры голов (верхних торцов) буронабивных конических свай были приняты $d_f = 0,4; 0,5; 0,6 \text{ м}$. Для удобства заполнения скважины бетонной смесью с последующим её уплотнением в узкой нижней части скважины минимальный диаметр был принят $d_o = 0,2 \text{ м}$. При длине сваи 4,5 м и принятых диаметрах голов и торца (острия) конусность свай составила $\alpha = 1^{\circ} \dots 2,5^{\circ}$. Буквенные обозначения свай были приняты по их наименованию – БКС (буронабивные конические сваи).

С целью выяснения распределения усилий по длине ствола и по боковой поверхности принятых буронабивных конических свай на экспериментальном полигоне [2] после завершения испытаний были проведены исследования работы под вдавливающей нагрузкой четырёх свай с помощью тензометрического оборудования и приборов. Цифровые обозначения таких свай также были приняты по их наименованию, длине в м, диаметру головы и нижнего торца (острия) в сантиметрах, например – БКС 4,5-40/20 (длина 4,5 м, верхнее и нижнее основание 40 и 20 см соответственно).

Для изучения взаимодействия свай с грунтом основания предпочтение было отдано тензометрическому методу, так как он является одним

из наиболее точных и надёжных. С этой целью в две сваи БКС 4,5-40/20-1 с углом конусности $\alpha = 1^\circ 20'$ и БКС 4,5-60/20-1 с углом конусности $\alpha = 2^\circ 40'$ были установлены по четыре тензодинамометра, а в сваи БКС 4,5-40/20-2 и БКС 4,5-60/20-2 по десять мессдоз – по пять с каждой из диагональных противоположных сторон по высоте.

Основная часть. Известен ряд конструкций тензометрических приборов для измерений и деформаций в грунтах [3]. Однако оптимальным

для исследований буронабивных конических свай является тензодинамометр, конструкция которого приведена в работе [4]. Он устроен таким образом, что постоянно самоцентрирует передаваемую нагрузку на упругий измерительный элемент (рис. 1). Его конструкция позволяет определять продольные усилия в любых сечениях свай различных параметров по высоте.

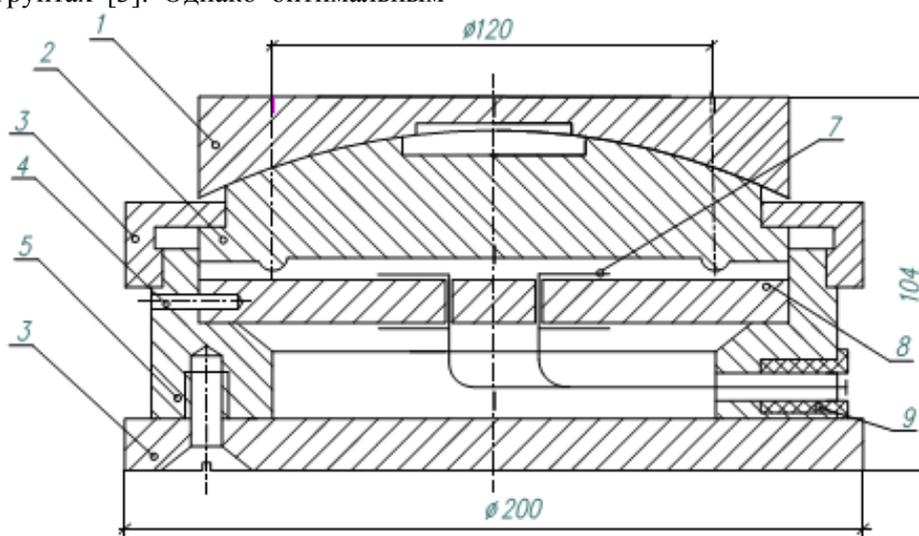


Рис. 1. Конструктивная схема тензодинамометра:

1 – самоцентрирующийся диск; 2 – прокладка; 3 – накидная гайка; 4 – винт стопорный; 5 – корпус; 6 – дисковое основание; 7 – тензорезистор; 8 – мембрана; 9 – пробка резиновая

Рабочим упругим силоизмерительным элементом в тензодинамометре является круглая пластина-мембрана 8 из высокопрочной легированной стали 30 ХГСА, обладающей хорошими упругими свойствами. Мембрана опирается по контуру на цилиндрический выступ корпуса 5 и крепится стопорным винтом 4. Усилие на мембрану передаётся соосно диском 1 через прокладку 2, прилегающих друг к другу по сферической поверхности. Для лучшего скольжения в полость центральной части сферы между ними вводится густая смазка. Прокладка 2 имеет выступ в форме кольца диаметром 120 мм и прижимается к цилиндрическому корпусу 5 накидной гайкой 3. Снизу корпус закрыт диском 6. При наличии нагрузки мембрана 8 получает чистый изгиб, который фиксируется наклеенными на неё тензорезисторами 7. Электропровода от тензорезисторов выводятся из корпуса через отверстие, закрытое резиновой пробкой 9.

Напряжения в поперечных сечениях свай по длине под нагрузкой различны, поэтому толщина мембран для разного уровня сечений принималась неодинаковой, чтобы мембраны обладали наибольшей чувствительностью. При этом напряжения при максимальной ожидаемой нагрузке не должны были превышать предела

упругости принятой стали. Поэтому тензодинамометры были рассчитаны на усилия 150, 300, 600, 800 кН. Таким образом, толщина мембран составила 5, 7, 11, 15 мм. При максимальной нагрузке в 800 кН расчётные напряжения в самой мембране толщиной 15 мм составляли 70,8 МПа.

Тензорезисторы в тензодинамометрах применялись проволочные 2 ПКБ с базой 20 мм, сопротивлением 200 Ом, так как их чувствительность при измерении деформаций зависит от базы и особенно понижается при её размерах менее 10 мм. Четыре тензорезистора клеили клеем БФ-2 на нижнюю (2 активных) и верхнюю (2 компенсационных) поверхности мембраны. Гидроизоляция тензорезисторов осуществлялась после тепловой обработки путём наклеивания на них изоляционной ленты с прокладкой из конденсатной бумаги и покрытия 1,5–2 миллиметровым слоем эпоксидного клея.

Гидроизоляционная защита проводилась для предохранения материала тензорешётки от воздействия влаги в грунте и бетоне, так как за счёт разбухания клея и бумажной основы проволока растягивается и искажает величину измерения деформаций мембраны. Активные и компенсационные тензорезисторы соединялись между собой

по полумостовой схеме. Провода от них из корпуса тензодинамометра выводились через специальное отверстие, которое закрывалось резиновой пробкой и заделывалось водонепроницаемой замазкой. Подключение полумостов тензорезисторов к регистрирующему прибору ИДЦ-1 (измеритель деформаций цифровой) применялось независимое, преимущество которого состоит в том, что при выходе из строя любого тензорезистора показания остальных не изменяются.

После проверки качества крепления тензорезисторов и сборки тензодинамометров производилась их тарировка на гидравлическом прессе. Величина ступени нагрузки назначалась в зависимости от толщины мембраны. При достижении максимальной нагрузки, превышающей на 8–10 % расчётную, усилие такими же ступенями уменьшалось до нуля. Цикл «нагрузка-разгрузка» повторялся три раза.

Точность показаний тензодинамометра складывается из погрешностей электрической и механической систем. Погрешность электрической системы зависит в основном от чувствительности регистрирующего прибора и составляет для ИДЦ-1 примерно 1,5 %. Механическая погрешность происходит из-за разности жёсткостей тензодинамометров, бетона сваи и стальной упорной балки испытательного анкерного стенда, а также погрешности мембраны. Расчёты по формулам Руководства ЦНИИСК по применению прямого метода измерений давлений в сыпучих средах и грунтах показали, что погрешность в измерениях сил за счёт разности жёсткости перечисленных материалов незначительна и составляет 4 %.

Для определения нормальных давлений отпора на контакте боковой поверхности конических свай с грунтом основания использовались мессдозы конструкции ЦНИИСК заводского изготовления [5]. Они имели наружный диаметр корпуса 70 мм, и состояли из жёсткого корпуса 3 с закреплённой крышкой (гибкой упругой мембранной 1), контактирующей с грунтом (рис. 2). На внутреннюю поверхность мембраны наклеен кольцевой тензорезистор 2, реагирующий на небольшие прогибы мембраны. Для исключения концентрации краевых напряжений по краям мембраны сделаны кольцевые выточки 4, заполненные пористой резиной. Деформируемость мембраны была подобрана в соответствии с жёсткостью грунта основания, в котором выбуривались конические скважины под сваи.

При нижнем пороге чувствительности измерений 0,02–0,04 МПа, максимальное давление составляло 0,1 МПа. Тарирование мессдоз производилось по три раза в тарировочном устройстве

(баке) с песком, в котором создавалось контролируемое распределение давления. Мессдозы помещались в специальные углубления, расположенные на дне бака. Для каждой мессдозы строился градуировочный график, который получался близким к прямолинейному при создании и снятии нагрузки, не имел петель и пересечений. Суммарная погрешность мессдоз в комплекте с прибором ИДЦ-1 составила порядка 15–30 %.

Тензодинамометры и мессдозы устанавливались в конические скважины перед их бетонированием с интервалом по высоте ствола сваи в 1 м (рис. 3). Предварительно тензодинамометры закреплялись между двумя круглыми пластинами (кондукторами) толщиной 10 мм, диаметры которых соответствовали диаметрам конических скважин на определённой высоте ствола сваи.

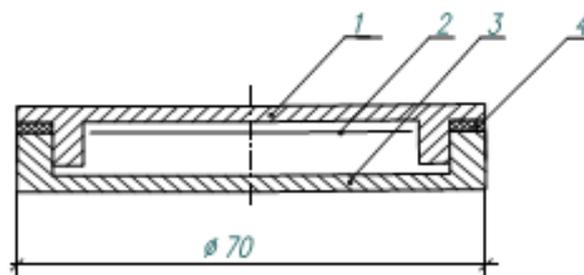


Рис. 2. Конструктивная схема тензорезисторной мессдозы

Первый тензодинамометр укладывался на схватившуюся бетонную подготовку, заполняющую острие сваи, последующие – в процессе бетонирования скважины. Таким образом, тензодинамометры в кондукторах разрезали ствол сваи на участки, и продольная сила при испытаниях полностью воспринималась мембранами по участкам. Кабели от них выводились из скважины на поверхность и с помощью электроразъемов подключались к ИДЦ-1.

Мессдозы устанавливались в скважину таким образом, чтобы обеспечивался полный контакт наружных мембран с грунтом по всей их плоскости. Это не составило больших трудностей, поскольку предварительно мессдозы были смонтированы в забетонированные кондукторы из швеллеров длиной 4,5 м. Бетон заливался в корытообразную опалубку из швеллеров на всю высоту полка с оставлением гнезд под мессдозы. По пять штук мессдоз в резиновых кольцевых обоймах устанавливались в гнезда на выравнивающую прослойку из гипсового раствора толщиной 0,5–0,8 мм. Расположение мессдоз по высоте швеллера приведено на рис. 3. В гнездо заливалось дозированное количество раствора, и мессдозы, с лёгким постукиванием через мягкую круглую плитку, устанавливались заподлицо с бетонной поверхностью швеллеров. Кабели от

мессдоз проводились по штрабам в бетоне. Таким способом были изготовлены четыре тензошвеллера – по два на каждую тензосваю. Элемент тензошвеллера и его разрез приведены на рис. 4. Дублирование измерений давления, как показала практика, необходимо, так как несколько мессдоз вышли из строя из-за обрыва сигнальных проводов и были исключены из рассмотрения.

Плоская контактная поверхность для вдавливания мессдоз в грунт обеспечивалась путём

продельвания обычным швеллером по всей высоте стенок скважины двух диаметрально противоположных полос-бороздок. Осыпавшийся грунт был уплотнён в забое скважины ручной трамбовкой. В бороздки вставлялись тензошвеллеры и прижимались распорками, от чего мессдозы впрессовывались в грунт. Затем скважины бетонировались на всю высоту, и мессдозы прижимались к грунту бетоном сваи.

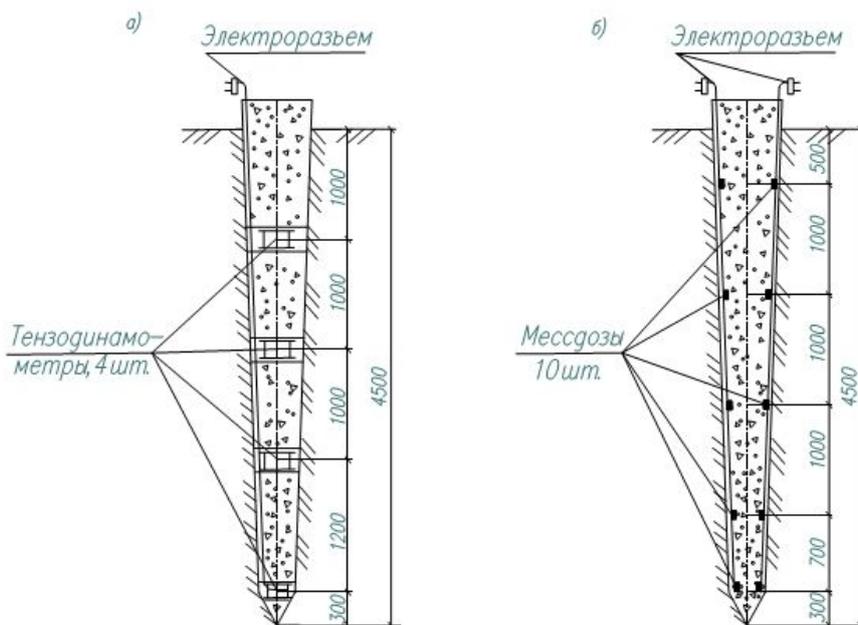


Рис. 3. Схема тензометрической сваи, оснащённой тензодинамометрами (а) и мессдозами (б)

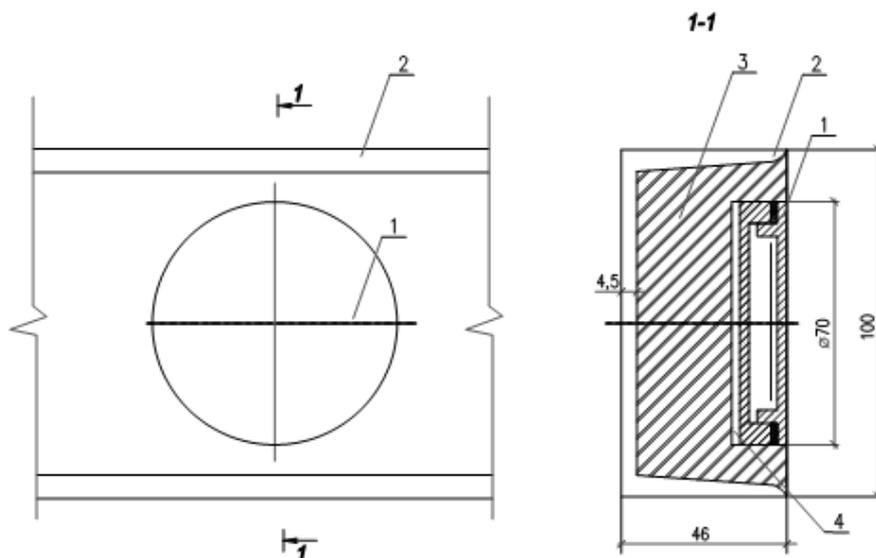


Рис. 4. Элемент тензошвеллера:

1 – мессдоза; 2 – швеллер; 3 – бетон; 4 – гипсовый раствор

Выводы. Разработанная методика позволила оснастить буронабивные конические сваи тензометрическими приборами в полевых условиях для проведения статических испытаний вдавливающей нагрузкой с целью выяснения распределения усилий по длине ствола и по боковой поверхности, включая усилия отпора. Показания

тензометрических приборов фиксировались на каждой ступени нагрузки одновременно со снятием отсчётов по прогибомерам реперной системы. По данным тензометрических замеров построены эпюры распределения усилий в сечениях по стволу и эпюры контактных напряжений

по наклонной боковой поверхности буронабивных конических свай. Результаты полученных тензометрических исследований будут предложены к публикации отдельным материалом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рыбникова И.А., Рыбников А.М. Разработка конструкций буронабивных конических свай // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2017. № 2. С. 68–72.
2. Рыбникова И.А., Рыбников А.М. Анализ результатов натурных испытаний буронабивных

Информация об авторах

Рыбникова Ирина Александровна, старший преподаватель кафедры гуманитарных и естественнонаучных дисциплин. Новороссийский филиал Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. Россия, 353915, Краснодарский край, г. Новороссийск, ул. Мысхакское шоссе, д.75.

Рыбников Александр Михайлович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры «Подъемно-транспортные машины и комплексы». E-mail: a.ribnikov@novoroskhp.ru. Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова. Россия, 353918, Краснодарский край, г. Новороссийск, пр. Ленина, д. 93.

Поступила в августе 2018 г.

© Рыбникова И. А., Рыбников А. М., 2019

¹*Rybnikova I.A.*, ^{2,*}*Rybnikov A.M.*

¹*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Novorossiysk branch
Russia, 353915, Krasnodar region, Novorossiysk, Myshaksky highway str., 75*

²*State Maritime University named after admiral F. F. Ushakov
Russia, 353918, Krasnodar region, Novorossiysk, Lenin Avenue, 93*

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

THE METHOD OF PREPARATION THE STRAIN GAUGE STUDIES OF NATURAL BORED CONICAL PILES' PERFORMANCE

Abstract. A technique of tensometric studies is developed in order to study the work of bored conical piles with a length of 4.5 m, with head diameters of 0.4; 0.6 m and the bottom end diameter of 0.2 m, which are accurate and reliable. The strain gauge and messdoses are proposed as optimal measuring products for a pile type with a taper angle of $1^\circ 20'$ and $2^\circ 40'$. They allow to identify the distribution of forces along the length of the trunk and along the lateral surface of such piles under a pressing load. Schemes of strain gauges structures and messdoses, the preparation of their operation in combination with the IDC-1 device (digital strain gauge) are given. Calibration of strain gauge products shows the measurement error of the parameters studied does not exceed 4%. The tensometric studies allow to construct diagrams of force distribution in sections and along the trunk, as well as diagrams of contact stresses on the inclined side surface of bored conical piles. It will serve in the future to develop a method of calculating the bearing capacity.

Keywords: bored piles, diameter of piles, strain gauge, messdoses, tenzodinamometr, measurement error.

REFERENCES

1. Rybnikova I.A., Rybnikov A.M. Razrabotka designs bored conical piles. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2017, no. 2, pp. 68–72.
2. Rybnikova I. A., Rybnikov A. M. Analysis of the results of full-scale tests of bored-bore conical piles on the effect of various types of loads. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 3, pp.

конических свай на действие различных видов нагрузок // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2018. № 3. С. 24–29.

3. Голли А.В. Методика измерения напряжений и деформаций в грунтах: Учебное пособие. Л.: ЛИСИ, 1984. 53 с.

4. Фремке А.В. Электрические измерения. М.: Энергия, 1973. 424 с.

5. Баранов Д.С. Руководство по применению прямого метода измерения давлений в сыпучих средах и грунтах. М.: ЦНИИСК, 1965. 147 с.

24–29.

3. Golli A.V. Methods of measuring stresses and deformations in soils: A study guide. L.: LISI. 1984, 53 p.

4. Fremke A.V. Electrical measurements. M.: Energy, 1973, 424 p.

5. Baranov D. Guidelines for the application of the direct method of measuring pressures in granular media and soils. M.: TsNIISK, 1965, 147p.

Information about the authors

Rybnikova, Irina A. Senior lecturer. Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, Novorossiysk branch. Russia, 353915, Krasnodar region, Novorossiysk, Myshaksky highway str., 75.

Rybnikov, Aleksandr M. PhD, Assistant professor, Senior researcher. E-mail: a.ribnikov@novoroskhp.ru. State Maritime University named after admiral F.F. Ushakov. Russia, 353918, Krasnodar region, Novorossiysk, Lenin Avenue, 93.

Received in August 2018

Для цитирования:

Рыбникова И.А., Рыбников А.М. Использование отходов пиromеталлургической промышленности в производстве материалов для закладки горных выработок // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №2. С. 55–60. DOI: 10.12737/article_5c73fc129623f7.77024943

For citation:

Rybnikova I.A., Rybnikov A.M. The method of preparation the strain gauge studies of natural bored conical piles' performance. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 2, pp. 55–60. DOI: 10.12737/article_5c73fc129623f7.77024943

DOI: 10.12737/article_5c73fc15ccba41.40690275

^{1,*}Карпов Д.Ф.¹Вологодский государственный университет

Россия, 160000, Вологда, ул. Ленина, д. 15

*E-mail: karpov_denis_85@mail.ru

ТЕПЛОВЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТЕРМОКРАСКИ

Аннотация. Обозначена роль и значимость тепловой изоляции в решении вопросов энерго- и ресурсосбережения за счет сокращения тепловых потерь. Особое внимание уделено современной теплоизоляции – термокраске (теплоизоляционной краске) и ее основному теплофизическому свойству – коэффициенту теплопроводности. Знание точного значения коэффициента теплопроводности термокраски позволяет определять объективный расход материала и, соответственно, денежные затраты, необходимые для тепловой изоляции объектов. Предложены авторские запатентованные методы и средства теплового контроля коэффициента теплопроводности термокраски. На примере известных марок отечественных производителей теплоизоляционной краски представлены результаты расчетно-экспериментальных исследований в натурных и лабораторных условиях фактического эксплуатационного коэффициента теплопроводности данного материала. Выполнено сравнение полученных результатов с данными заводов-изготовителей (производителей) термокраски.

Ключевые слова: тепловая изоляция, теплоизоляционный материал, теплоизоляционная краска.

Введение. Тепловая изоляция (теплоизоляция) играет важную роль в современном строительном производстве и различных отраслях промышленности. Применение теплоизоляции позволяет решать вопросы экономии энергоресурсов, рациональной организации технологических процессов, жизнеобеспечения объектов различного назначения [1]. Теплоизоляционные конструкции являются неотъемлемой частью защитных элементов промышленного оборудования, трубопроводов, частей жилых, общественных и промышленных зданий и сооружений. Наличие тепловой изоляции позволяет значительно повысить надежность, долговечность и эффективность эксплуатации зданий, сооружений, инженерного оборудования [2].

Теплоизоляция выполняет следующие функции: создает комфортные условия для проживания людей в жилых домах; снижает тепловые потери в окружающую среду от объектов (зданий, сооружений, оборудования, трубопроводов и др.); обеспечивает нормальный технологический процесс в аппаратах; поддерживает заданные температуры компонентов в технологических процессах; создает нормальные температурные условия (тепловой режим) для обслуживающего персонала; уменьшает температурные напряжения в металлических конструкциях, огнеупорной футеровке и т. п.; защищает от огня (противопожарная изоляция) строительные конструкции в технологических помещениях; сохраняет заданный температурный режим в холодильниках и хладо-проводящих системах; защищает от испарения сжиженные газы и легкие нефтепродукты при их хранении в изотермических резервуарах [3].

Теплоизоляционные материалы обычно классифицируют по признакам, подробно представленным в [4].

Краткая характеристика и особенности термокраски. Одним из методов решения задач энергоресурсосбережения в жилищно-коммунальном хозяйстве и промышленности является применение тепловой изоляции – для теплоизоляции жилых и промышленных объектов, отдельных инженерных систем и их элементов, оборудования и т.д.). Это в свою очередь привело к разработке совершенно новых материалов, механизм действия которых в корне отличается от работы классических теплоизоляторов. Одно из последних достижений научно-технического прогресса – термокраска. Во всем многообразии современной литературы можно встретить различные названия термокраски: жидкокерамическое теплоизоляционное покрытие, жидкое керамическое покрытие, керамическая изоляция, керамическая теплоизоляция, теплоизоляционная краска, жидкая тепловая изоляция, жидкая термоизоляция, жидкая теплоизоляция, теплокраска и др. На сегодняшний день материалы этого типа являются, пожалуй, наилучшим решением множества вопросов, связанных с тепловой изоляцией зданий, сооружений, инженерных систем. Более того, с их помощью можно разрешать проблемы, которые невозможно было разрешить, используя традиционные теплоизоляционные материалы [5].

Термокраска используется для того, чтобы покрыть поверхность практически любой формы. Этот вид изоляции отличается высокими теплоизоляционными свойствами, а также доста-

точно высокой степенью шумоизоляции, гидроизоляции и устойчивостью к образованию коррозии. Данные свойства теплоизоляционной краски обусловлены наличием в ней микросфер с разряженным воздухом. Микросферы не соприкасаются между собой, а подвергнуты дисперсии в акриловом полимере. Это делает возможным их нанесение на любой рельеф, в результате чего полученный сплошной слой обладает высокими эксплуатационными свойствами [6].

Термокраску наносят на поверхность по подобию традиционной краски кистями, валиками или способом безвоздушного распыления. После полимеризации образуется гибкая матовая поверхность с уникальными теплофизическими параметрами. Также за счет применения сверхлегкой теплоизоляции происходит достижение следующих значимых результатов: снижение расходов энергетических ресурсов в отопительный сезон путем уменьшения тепловых потерь (за счет утепления наружных ограждающих строительных конструкций); снижение расходов в летний период на кондиционирование воздуха внутри помещений путем тепловой изоляции крыши и стен здания; снижение прямых расходов при строительстве зданий и сооружений за счет возможности уменьшения толщины стен и габаритов фундамента в результате применения жидкой тепловой изоляции; возможность замены громоздких систем утепления фасадов зданий и сооружений, технологически сложных систем утепления инженерных систем и оборудования тонким слоем теплоизоляции; снижение трудозатрат

и времени в строительстве; снижение расходов на ремонт старой тепловой изоляции за счет отсутствия необходимости ее демонтажа; длительный срок службы инновационного покрытия.

В состав теплоизоляционной краски входят следующие обязательные компоненты: наполнитель, представляющий собой пустотелые микросферы – керамические, стеклянные, полимерные шарики микроскопических размеров, заполняемые разреженным воздухом. Наполнители могут различаться не только по своему составу, но и по однородности фракций, их размерам, соотношению различных композитных компонентов; связующее, изготовленное из полимеров, например, акрила или латекса.

Принцип работы системы жидкой теплоизоляции строится на основе таких принципов физики как теплоотдача, теплопроводность, отражение и тепловосприятие. Принцип работы жидких утеплителей заключается в создании ими теплового барьера, обладающего способностями рассеивать до 95 % инфракрасного излучения и отражать до 75 % падающих световых лучей. Эти свойства позволяют жидким утеплителям высокоэффективно справляться с теплоизоляцией помещений, защите их от солнечной радиации и перегрева в летнее время.

Рассмотрим основные теплотехнические характеристики термокраски на примере наиболее известных компаний по производству тепловой изоляции [7–10]: «Теплометт», «Магнитерм», «Броня» и «Корунд» (табл. 1).

Таблица 1

Основные теплотехнические характеристики термокраски различных производителей

Теплотехнические характеристики	«Теплометт»	«Магнитерм»	«Броня»	«Корунд»
Коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·К)	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012
Коэффициент теплоотдачи, Вт/(м ² ·К)	3,9	4,0	4,0	4,0
Коэффициент паропроницаемости материала, мг/(м·ч·Па)	0,001	0,03	0,03	0,001
Температура поверхности при нанесении материала, °С	от -20 до +150	от +7 до +150	от +7 до +150	от +5 до +150
Температура эксплуатации, °С	от -60 до +400	от -60 до +260	от -60 до +260	от -60 до +260
Время высыхания при температуре (20±2) °С, не менее ч	24	24	24	24
Стойкость покрытия к воздействию температуры (200±5) °С	без изменений			

Тепловые методы и средства контроля теплопроводности термокраски. Методы и средства теплового контроля и технической диагностики, благодаря своей точности, оперативности, надежности и безопасности, позволяют максимально эффективно определять качество ис-

следуемых материалов и изделий по их теплофизическим свойствам [11–15]. Ключевым теплофизическим свойством термокраски является коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К) [6, 16].

Рассмотрим авторские методы и средства контроля коэффициента теплопроводности термолески (производство «Теплометт» и «Броня»).

Метод № 1 (патент РФ на изобретение № 2551663). Метод стационарный (рис. 1), реализуется в натуральных условиях для термолески Теплометт Стандарт по следующему алгоритму:

1. Коэффициент теплопроводности λ_2 термолески 3 цилиндрической формы определяют по уравнению теплопередачи, Вт/(м·К):

$$\lambda_2 = 0,5 \ln \frac{d_3}{d_2} \left/ \left(\frac{1}{\alpha_2 d_3} \left[\frac{t_{ж1} - t_{с2}}{t_{с2} - t_{ж2}} \right] - \frac{1}{\alpha_1 d_1} - \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} \right) \right., \quad (1)$$

где d_1 – внутренний диаметр трубопровода 1; d_2 – наружный диаметр трубопровода 1 и внутренний диаметр термолески 3 на трубопроводе 1; d_3 – наружный диаметр термолески 3 на трубопроводе 1; $t_{ж1}$ – температура теплоносителя 2; $t_{ж2}$ – температура окружающей среды; $t_{с1}$ – температура на наружной поверхности термолески 3 на трубопроводе 1; α_1 и α_2 – коэффициент теплоотдачи соответственно между теплоносителем 2 и внутренней поверхностью трубопровода 1 и

наружной поверхностью термолески 3 и окружающей среды; λ_1 – коэффициент теплопроводности трубопровода 1.

2. Коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 из уравнения теплопередачи (1) определяют по эмпирическим уравнениям с применением теории подобия. Аналитическая форма записи уравнений для определения коэффициентов теплоотдачи α_1 и α_2 выглядит так, Вт/(м²·К):

$$\alpha_1 = \alpha_1(t_{ж1}, t'_{с1}, w, d_1, l), \quad (2)$$

$$\alpha_2 = \alpha_2(t_{ж2}, t_{с2}, d_3), \quad (3)$$

где $t'_{с1}$ – ориентировочная температура внутренней поверхности трубопровода 1; w – скорость движения теплоносителя 2; l – геометрическая длина участка трубопровода 1.

3. Скорость движения теплоносителя 2 в трубопроводе 1 определяют по уравнению неразрывности, м/с:

$$w = \frac{4G}{\rho \pi d_1^2}, \quad (4)$$

где G – массовый расход теплоносителя 2 в трубопроводе 1; ρ – плотность теплоносителя 2 при температуре теплоносителя $t_{ж1}$.

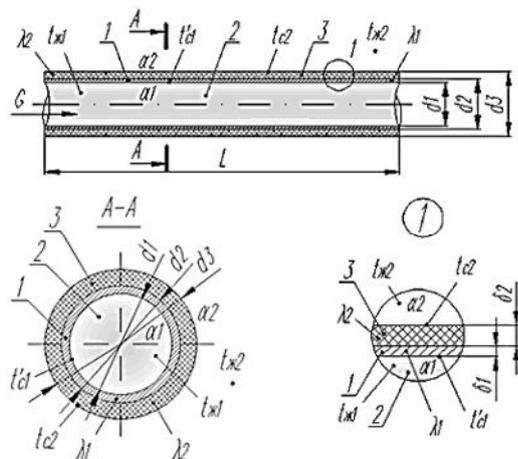


Рис. 1. Схема реализации метода № 1 (слева): 1 – трубопровод; 2 – теплоноситель; 3 – термолеска. Блок-схема для вычисления коэффициента теплопроводности термолески (справа)

Метод № 2 (патент РФ на изобретение № 2602595). Метод стационарный (рис. 2), реализуется в натуральных условиях в два этапа для термолески Теплометт Стандарт по следующему алгоритму:

1. На первом этапе, перед нанесением термолески 2 на одну из поверхностей плоской наружной стены 1, производят замеры температуры внутренней $t_{с11}$ и наружной $t_{с12}$ поверхностей плоской наружной стены 1, а также плотности теплового потока q_1 , проходящего из отапливаемого помещения через исследуемую плоскую наружную стену 1 в окружающую среду.

2. На втором этапе, после нанесения термолески 2 толщиной $\delta_{из}$ на одну из поверхностей плоской наружной стены 1, производят аналогичные замеры температуры внутренней $t_{с21}$ и наружной $t_{с22}$ поверхностей плоской наружной стены 1 (с учетом толщины слоя термолески 2), а также плотности теплового потока q_2 .

3. Коэффициент теплопроводности $\lambda_{из}$ термолески 2 вычисляют по специальной расчетной формуле, Вт/(м·К):

$$\lambda_{из} = \frac{\delta_{из}}{\frac{t_{с21} - t_{с22}}{q_2} - \frac{t_{с11} - t_{с12}}{q_1}}, \quad (5)$$

где $\delta_{из}$ – толщина слоя термокраски 2; t_{c11} и t_{c12} – температура соответственно на внутренней и наружной поверхностях плоской наружной стены 1 до нанесения слоя термокраски 2; t_{c21} и t_{c22} – температура соответственно на внутренней и наружной поверхностях плоской наружной стены 1 после нанесения слоя термокраски 2

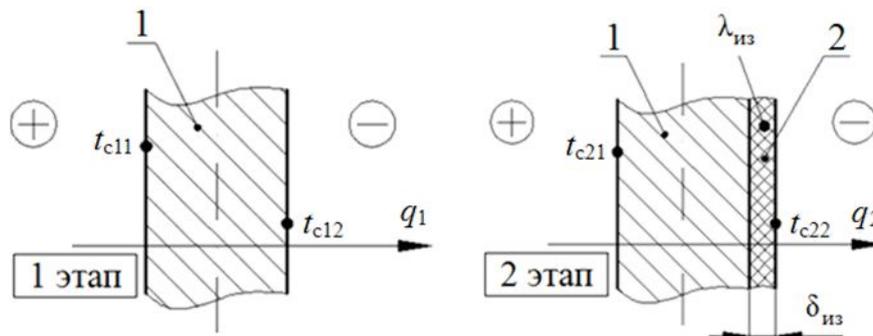


Рис. 2. Схема реализации метода № 2: 1 – плоская наружная стена; 2 – термокраска

Метод № 3 (патент РФ на изобретение № 2568983). Метод стационарный, реализуется на устройстве (рис. 3) в лабораторных условиях для термокраски Теплометт Фасад по следующему алгоритму:

1. Измеритель теплопроводности 3 с помощью нагревателя 4 и холодильника 5 создает стационарный тепловой поток, проходящий через плоский трехслойный образец. По величине плотности теплового потока, температуре противоположных лицевых граней плоского трехслойного образца и его толщине, которая равна сумме толщин двух теплопроводных эталонов 1 и слоя термокраски 2, т. е. $2\delta + \delta_{из}$, измеритель теплопро-

водности 3 вычисляет эквивалентный коэффициент теплопроводности $\lambda_{эКВ}$ плоского трехслойного образца.
2. Коэффициент теплопроводности $\lambda_{из}$ термокраски 2 вычисляют по специальной формуле:

$$\lambda_{из} = \frac{\delta_{из}}{2\delta + \delta_{из}} \frac{\lambda_{эКВ}}{\lambda} \cdot 2\delta, \quad (6)$$

где $\lambda_{эКВ}$ – эквивалентный коэффициент теплопроводности плоского трехслойного образца, определенный измерителем теплопроводности 3; λ – коэффициент теплопроводности материала теплопроводных эталонов 1; δ – толщина одного эталона 1; $\delta_{из}$ – толщина слоя термокраски 2.

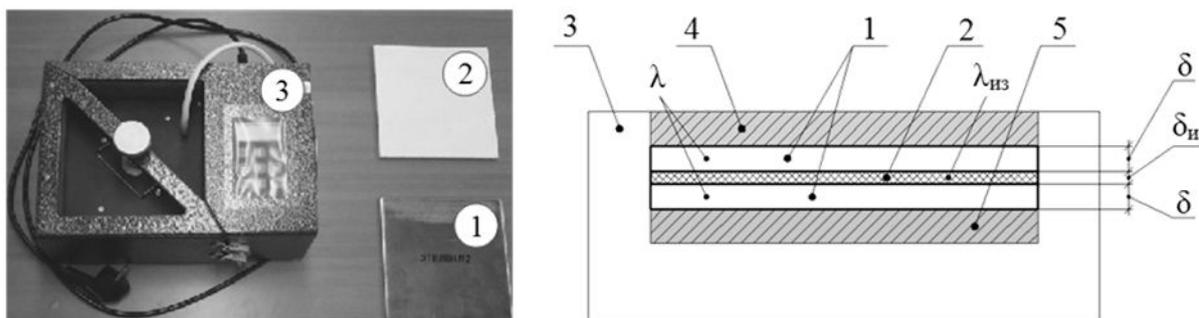


Рис. 3. Устройство (слева) и схема (справа) для реализации метода № 3 (слева): 1 – стальные теплопроводные эталоны (пластины); 2 – слой термокраски на стальной эталонной пластине; 3 – измеритель теплопроводности ИТС-1 «150»; 4 – нагреватель; 5 – холодильник

Метод № 4 (патент РФ на изобретение № 2610348). Метод стационарный, реализуется в натуральных или лабораторных условиях (рис. 4) для термокраски Броня Классик по следующему алгоритму:

1. На поверхности плоского источника теплоты 1 локально расположена термокраска 2 толщиной $\delta_{из}$. Температура поверхности плоского источника теплоты 1 t_{c1} равна температуре по-

верхности термокраски 2 t_{c2} и температуре окружающей среды t_b . Тепловой режим поверхности плоского источника теплоты 1 и поверхности термокраски 2 стационарный.

2. При стационарном тепловом режиме производят отдельно измерения температуры поверхности плоского источника теплоты 1 t_{c1} , температуры поверхности термокраски 2 t_{c2} и температуры окружающей среды t_b .

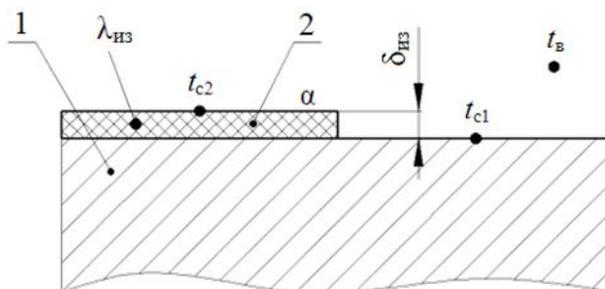


Рис. 4. Схема реализации метода № 4: 1 – плоский горизонтальный источник теплоты; 2 – термокраска

3. Коэффициент теплопроводности $\lambda_{из}$ термокраски 2 в зависимости от расположения в пространстве поверхности плоского источника теплоты 1 вычисляют по специальной формуле:

- при вертикальном расположении в пространстве поверхности плоского источника теплоты 1:

$$\lambda_{из} = \alpha_1 \delta_{из} \frac{t_{c2} - t_B}{t_{c1} - t_{c2}}, \quad (7)$$

- при горизонтальном расположении в пространстве плоского источника теплоты 1 с теплоотдающей поверхностью, обращенной вверх:

$$\lambda_{из} = \alpha_2 \delta_{из} \frac{t_{c2} - t_B}{t_{c1} - t_{c2}}, \quad (8)$$

- при горизонтальном расположении в пространстве плоского источника теплоты 1 с теплоотдающей поверхностью, обращенной вниз:

$$\lambda_{из} = 0,5 \alpha_2 \delta_{из} \frac{t_{c2} - t_B}{t_{c1} - t_{c2}}, \quad (9)$$

где α_1 и α_2 – коэффициенты теплоотдачи между поверхностью термокраски 2 и окружающей средой соответственно при вертикальном и горизонтальном расположениях плоского источника теплоты 1 (соответственно на рис. 5 график слева и на рис. 5 график справа); $\delta_{из}$ – толщина слоя термокраски 2; t_{c1} – температура поверхности плоского источника теплоты 1; t_{c2} – температура поверхности термокраски 2; t_B – температура окружающей среды.

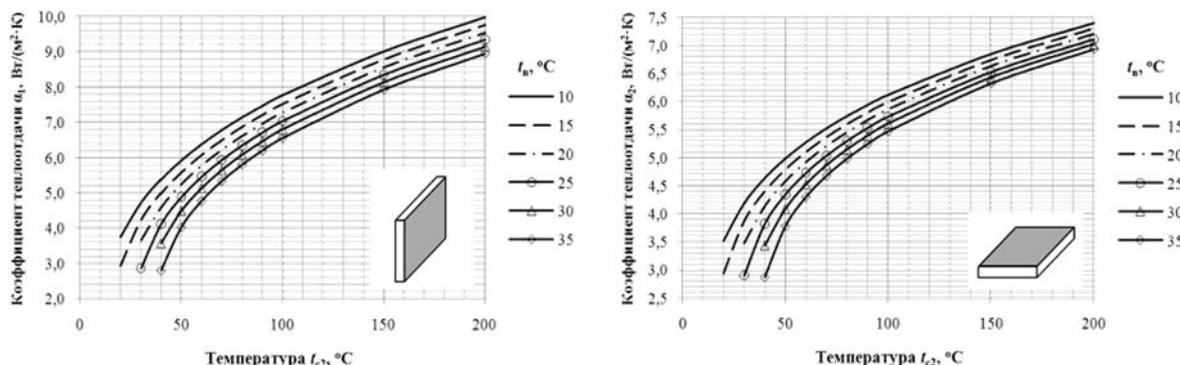


Рис. 5. График для определения: коэффициента теплоотдачи α_1 в зависимости от температуры поверхности термокраски 2 t_{c2} и температуры окружающей среды t_B при вертикальном расположении в пространстве поверхности плоского источника теплоты 1 (график слева); коэффициента теплоотдачи α_2 в зависимости от температуры поверхности термокраски 2 t_{c2} и температуры окружающей среды t_B при горизонтальном расположении в пространстве поверхности плоского источника теплоты 1 (график справа)

Метод № 5 (патент РФ на изобретение № 2646437). Метод нестационарный, реализуется в натуральных или лабораторных условиях (рис. 6) для термокраски Броня Классик по следующему алгоритму:

1. На поверхности плоского источника теплоты 1 расположен локально слой термокраски 2 толщиной $\delta_{из}$. В режиме охлаждения поверхности плоского источника теплоты 1 в произвольный момент времени τ температура поверхности плоского источника теплоты 1 равна t_{c1} , температура поверхности термокраски 2 t_{c2} и температура окружающей среды t_B .

2. В режиме охлаждения поверхности плоского источника теплоты 1 в произвольный момент времени τ проводят отдельно измерения температуры поверхности плоского источника теплоты 1 t_{c1} , температуры поверхности термокраски 2 t_{c2} и температуры окружающей среды t_B .

3. Коэффициент теплопроводности $\lambda_{из}$ термокраски 2 вычисляют по специальной расчетной формуле:

$$\lambda_{из} = k \alpha \delta_{из}, \quad (10)$$

где k – коэффициент пропорциональности; α – коэффициент теплоотдачи между поверхностью термокраски 2 и окружающей средой; $\delta_{из}$ – толщина слоя термокраски 2.

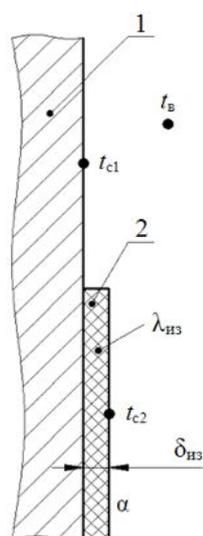


Рис. 6. Схема реализации метода № 5:
1 – плоский вертикальный источник теплоты;
2 – термокраска

4. Коэффициент пропорциональности вычисляют по эмпирической формуле:

$$k = a + be^{-\mu}, \tag{11}$$

где $a = -0,64828604$, $b = 3,1176277$ – параметры уравнения; μ – первый корень характеристического уравнения.

5. Первый корень характеристического уравнения вычисляют по формуле:

$$\mu = \arccos\left(\frac{t_{c2} - t_B}{t_{c1} - t_B}\right), \tag{12}$$

где t_{c1} – температура поверхности плоского источника теплоты 1; t_{c2} – температура поверхности термокраски 2; t_B – температура окружающей среды.

6. Коэффициент теплоотдачи α между поверхностью термокраски 2 и окружающей средой при вертикальном или горизонтальном расположении плоского источника теплоты 1 находят соответственно по графикам на рис. 5.

Результаты расчетно-экспериментальных натуральных и лабораторных исследований коэффициента теплопроводности термокраски. Информация о точном значении коэффициента теплопроводности термокраски позволяет проанализировать следующую последовательность зависимых параметров: «коэффициент теплопроводности термокраски – расход термокраски – стоимость термокраски – стоимость работ по теплоизоляции объекта». «Высокий» коэффициент теплопроводности термокраски «повысит» и остальные параметры в предложенной выше последовательности.

В предыдущем пункте работы представлены авторские запатентованные методы и средства теплового контроля теплопроводности термокраски. Данные методы и средства реализованы в натуральных и лабораторных условиях. Определен фактический коэффициент теплопроводности термокраски производства «Теплометт» и «Броня» и выполнено сравнение с данными заводов-изготовителей (производителей) (табл. 2).

Таблица 2

Результаты сравнения расчетно-экспериментальных коэффициентов теплопроводности термокраски с данными заводов-изготовителей (производителей)

Коэффициент теплопроводности термокраски, Вт/(м·К)									
Теплометт Стандарт, г. Коломна, г. Челябинск		Теплометт Стандарт, г. Коломна, г. Челябинск		Теплометт Фасад, г. Коломна, г. Челябинск		Броня Классик, г. Москва, г. Волгоград		Броня Классик, г. Москва, г. Волгоград	
Метод № 1	Завод	Метод № 2	Завод	Метод № 3	Завод	Метод № 4	Завод	Метод № 5	Завод
0,005	0,0012	0,005	0,0012	0,0043	0,0012	0,023	0,0012	0,0045	0,0012

Вывод. По результатам проведенных исследований можно заключить: расчетно-экспериментальные значения коэффициента теплопроводности термокраски превышают данные заводов-изготовителей (производителей), как правило, в разы, что несомненно способствует увеличению расхода материала и повышает стоимость работ по теплоизоляции объектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Mahdavi A., Doppelbauer E.M. A performance comparison of passive and low-energy buildings // Energy and buildings. 2010. Volume 42. No. 8. Pp. 1314–1319.

2. Бобров Ю.Л., Овчаренко Е.Г., Шойхет Б.М. и др. Теплоизоляционные материалы и конструкции: учебник. М.: Инфра-М, 2003. 268 с.

3. Хуторной А.Н., Цветков Н.А., Кузин А.Я. Теплозащитные свойства неоднородных наружных стен зданий: монография. Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун.-та, 2006. 287 с.

4. ГОСТ 16381-77*. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Классификация и общие технические требования. Введ. 01.07.1977. Переизд. март, 1992. М.: Издательство стандартов, 1992. 7 с.

5. Особенности применения жидкой теплоизоляции [Электронный ресурс]: статья. Режим доступа: <http://izolyar.com>.

6. Березина В.П. К исследованию теплопроводных качеств сверхтонких теплоизоляционных покрытий. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2018. С. 72.

7. Жидкая тепловая изоляция «Теплометт» [Электронный ресурс]: официальный сайт. Режим доступа: <http://teplo-effect.ru>.

8. Инновационный жидкий утеплитель от производителя «Magniterm» [Электронный ресурс]: официальный сайт. Режим доступа: <http://magniterm.com>.

9. Сверхтонкая теплоизоляция «Броня» [Электронный ресурс]: официальный сайт. Режим доступа: <http://www.nano34.ru>.

10. Сверхтонкая жидкая теплоизоляция и гидроизоляция «Корунд» [Электронный ресурс]: официальный сайт. Режим доступа: <http://www.korund34.ru>.

11. Клюев В.В., Будадин О.Н., Абрамова Е.В. и др. Тепловой контроль композитных конструкций в условиях силового и ударного нагружения.

Изд. 1-е. М.: Издательский дом «СПЕКТР», 2017. 200 с.

12. Будадин О.Н., Потапов А.И., Колганов В.И., Троицкий-Марков Т.Е., Абрамова Е.В. Тепловой неразрушающий контроль изделий. М.: Издательство «Наука», 2002. 473 с.

13. Будадин О.Н., Вавилов В.П., Абрамова Е.В. Тепловой контроль: учеб. пособие. Изд. 2-е. М.: Издательский дом «Спектр», 2013. 176 с.

14. George S., Goravar S., Mishra etc. al. Stress monitoring and analysis using lock-in thermography // *Insight*. 2010. Vol. 52. No. 9. Pp. 470–474.

15. Vijayraghavan G.K., Majumder M.C., Ramachandran K.P. NDTE using flash thermography: numerical modelling and analysis of delaminations in GRP pipes // *Insight*. 2010. Vol. 52. No. 9. Pp. 481–487.

16. Березина В.П., Карпов Ф.Д. К исследованию коэффициента теплопроводности сверхтонких теплоизоляционных покрытий. М.: МИЭЭ, 2018. С. 96–98.

Информация об авторах

Карпов Денис Федорович, старший преподаватель кафедры теплогазоснабжение и вентиляция. E-mail: karpov_denis_85@mail.ru. Вологодский государственный университет. Россия, 160000, Вологда, ул. Ленина, д. 15, каб. 109.

Поступила в январе 2019 г.

© Карпов Д.Ф., 2019

^{1,*}**Karpov D.F.**

¹Vologda State University

Russia, 160000, Vologda, St. Lenin, 15

*E-mail: karpov_denis_85@mail.ru

THERMAL METHODS AND MEANS OF VERIFICATION THE THERMAL CONDUCTIVITY OF THE THERMAL PAINT

Abstract. The role and significance of thermal insulation to address issues of energy and resource saving by reducing heat loss is indicated. Special attention is paid to the modern thermal insulation – thermal paint (thermal insulation paint) and its main thermal property – the coefficient of thermal conductivity. The exact values of the thermal conductivity coefficient of thermal paint allows to determine the objective consumption of material and monetary costs necessary for thermal insulation of objects. The author's patented methods and means of control the paint's thermal conductivity coefficient are proposed. The example of famous domestic brands that manufacture thermal insulation paint presents the results of calculation and experimental studies in natural and laboratory conditions of the actual operational coefficient of thermal conductivity of the material. The results are compared with the data of manufacturers of thermal paint.

Keywords: thermal insulation, thermal insulation material, thermal insulation paint, thermal paint, thermal control, thermal conductivity, thermal conductivity coefficient.

REFERENCES

1. Mahdavi A., Doppelbauer E.M. A performance comparison of passive and low-energy buildings. *Energy and buildings*, 2010, vol. 42. no. 8, pp. 1314–1319.

2. Bobrov Yu.L., Ovcharenko E.G., Shoykhet B.M. etc. al. Thermal insulation materials and construction: textbook. М.: Infra-M, 2003, 268 p.

3. Khutornoy A.N., Tsvetkov N.A., Kuzin A.Ya. Thermal insulation properties of inhomogeneous exterior walls of buildings: monograph. Tomsk: Publishing House of Tomsk State University of Architecture and Construction, 2006, 287 p.

4. State standard 16381-77*. Materials and products construction heat-insulating. Classification and general technical requirements. Introduced 01.07.1977. Reissued, march 1992, M.: Publishing House of standards, 1992, 7 p.

5. Features of the use of liquid insulation [Electronic resource]: article. Mode of access: <http://izolyar.com/>.

6. Berezina V.P. To the study of heat-conducting qualities of ultra-thin heat-insulating coatings. Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2018, p. 72.

7. Liquid thermal insulation "Teplomett" [Electronic resource]: official website. Mode of access: <http://teplo-effect.ru/>.

8. Innovative liquid insulation from the manufacturer "Magniterm" [Electronic resource]: official website. Mode of access: <http://magniterm.com/>.

9. Ultra-thin insulation "Armor" [Electronic resource]: official website. Mode of access: <http://www.nano34.ru/>.

10. Hyperfine liquid insulation and waterproofing "Corundum" [Electronic resource]: official website. Mode of access: <http://www.korund34.ru/>.

11. Klyuev V.V., Budadin O.N., Abramova E.V. etc. al. Thermal inspection of composite structures in terms of power and shock loading. Edition 1. M.: Publishing House "SPECTRUM", 2017, 200 p.

12. Budadin O.N., Potapov A.I., Kolganov V.I., Troitsky-Markov T.E., Abramova, E.V. Thermal non-destructive testing products. M.: Publishing House "Science", 2002, 473 p.

13. Budadin O.N., Vavilov V.P., Abramova E.V. Thermal control: textbook for universities. Edition 2. M.: Publishing House "SPECTRUM", 2013, 176 p.

14. George S., Goravar S., Mishra etc. al. Stress monitoring and analysis using lock-in thermography. Insight, 2010, vol. 52, no. 9, pp. 470–474.

15. Vijayraghavan G.K., Majumder M.C., Ramachandran K.P. NDTE using flash thermography: numerical modelilling and analysis of delaminations in GRP pipes. Insight, 2010, vol. 52, no. 9, pp. 481–487.

16. Berezina V.P., Karpov F.D. To the study of the thermal conductivity coefficient of super-thin thermal insulation coatings. M.: Moscow, Institute of Energy, Security and Energy Saving, 2018, pp. 96–98.

Information about the authors

Karpov, Denis F. Senior lecturer. E-mail: karpov_denis_85@mail.ru. Vologda State University. Russia, 160000, Vologda, Lenin St., 15, office 109.

Received in January 2019

Для цитирования:

Карпов Д.Ф. Тепловые методы и средства контроля теплопроводности термокраски // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №1. С. 61–68. DOI: 10.12737/article_5c73fc15ccba41.40690275

For citation:

Karpov D.F. Thermal methods and means of verification the thermal conductivity of the thermal paint. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 1, pp. 61–68. DOI: 10.12737/article_5c73fc15ccba41.40690275

DOI: 10.12737/article_5c73fc18596104.60696082

¹Аверкова О.А., ^{1,*}Крюков И.В., ¹Уваров В.А., ¹Минко В.А., ¹Крюкова О.С.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

*E-mail: iliya.krakov@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЫЛИ, ОБРАЗУЕМОЙ В МАНИКЮРНЫХ КАБИНЕТАХ

Аннотация. В помещениях маникюрных кабинетов образование пылевых частиц связано с процедурой опиливания поверхности окрашенных или наращенных ногтей. Характер движения пылевых частиц в воздухе рабочей зоны помещения определяется формой частиц пыли, ее дисперсностью, плотностью. Пылевые частицы при длительном воздействии на организм мастера маникюра могут привести к ухудшению его здоровья, в частности к развитию профессиональных заболеваний дыхательных путей. Целью работы является исследование физико-механических свойств пылевых аэрозолей, образуемых в помещении маникюрного кабинета в процессе опиливания поверхности ногтей. В ходе исследования интересующими параметрами являлись истинная плотность, дисперсный состав, коэффициент динамической формы. Учет этих параметров необходим для разработки эффективной системы пылеулавливания, поскольку они определяют характер движения пылевой частицы в воздухе рабочей зоны помещения, а также математической модели движения пыли вблизи местного вентиляционного отсоса.

Ключевые слова: местная вытяжная вентиляция, обеспыливающая вентиляция, пылеулавливание, воздух рабочей зоны, ногтевая пыль, маникюрный кабинет, коэффициент динамической формы.

Введение. В ходе выполнения процедуры наращивания ногтей мастер маникюра подвергается воздействию широкого спектра веществ, входящих в состав используемых в работе материалов. Образующие пары и летучие соединения могут раздражать слизистые оболочки глаз и органов дыхания. Также мастер маникюра осуществляет опиливание ногтей, выполняемое с целью придания им формы, снятия старого покрытия и т.д. Опиливание производится маникюрными пилками или при помощи специального аппарата (аппаратный маникюр). В ходе опиливания образуется значительное количество пыли, негативно влияющей на здоровье мастера маникюра. Характер воздействия пыли на организм человека зависит от следующих факторов: форма частиц пыли, дисперсность, химический состав. Наиболее опасными являются размеры взвешенных частиц пыли менее 10 мкм (PM10) (сокращение PM – от англ. «particulate matter»). 80...90 % пылевых частиц величиной до 10 мкм задерживаются в верхних дыхательных путях [1]. В работах [2–5] были измерены концентрации пыли, образующейся при опиливании ногтей с гелевым и акриловым покрытием. Результаты показали, что эти концентрации значительно превышены по сравнению с рекомендуемыми европейскими и американскими стандартами.

Комплексное воздействие пыли и химических веществ, может привести к развитию профессиональных заболеваний у мастера маникюра. Наиболее распространенные виды заболеваний: аллергическая астма, ринит, конъюнктивит (в случае поражения зрительных органов),

дерматит (в случае поражения кожных покровов). Стоит отметить, что содержание в пыли токсических компонентов также оказывает негативное влияние и способствует "отравлению" организма. Так как мастер маникюра находится в помещении продолжительное время важность рассматриваемого вопроса очень актуальна.

Согласно требованиям СанПиН 2.1.2.2631-10 рабочее место мастера маникюра должно быть оборудовано системой местной вытяжной вентиляции. Одной из главных задач системы вытяжной вентиляции является удаление образующихся вредных веществ. Однако, данным требованиям, к сожалению, большинство маникюрных кабинетов и мастеров пренебрегают. Связано это с различными факторами, такими как стоимость вентиляционных систем, удобство их размещения, эффективность пылеудаления и другое. В работах [6, 7], была показана необходимость размещения на рабочих местах систем местной вытяжной вентиляции, а в [8] проведен аналитический обзор имеющихся пылеулавливающих систем для маникюрных кабинетов.

Пылевые частицы, в отличие от летучих соединений и паров, попадая в дыхательные пути, своими острыми краями могут травмировать слизистые поверхности или оседать на них и со временем накапливаться. Так как в состав пыли могут входить опасные для здоровья химические вещества, то воздействие этих компонентов будет носить отравляющий характер.

По форме пылевые аэрозоли разделяют по сравнительной протяженности частиц в трех измерениях на три класса [9]:

– изометрические частицы, имеющие в трех измерениях примерно одинаковые размеры (шар, правильный многогранник);

– частицы, имеющие в двух измерениях значительную протяженность, чем в третьем (чешуйки, пластинки и др.);

– частицы, имеющие большую протяженность в одном измерении (иглы, стержни, волокна).

Целью работы является: исследование физико-механических характеристик пылевых аэрозолей, таких как истинная плотность, дисперсный состав, коэффициент динамической формы, необходимых для разработки эффективной системы пылеулавливания, а также математической модели движения пылевых частиц вблизи местного вентиляционного отсоса.

Методы и материалы исследования.

Исследуемая пыль. Для определения истинной плотности, дисперсного состава и коэффициента динамической формы использовались образцы пыли, полученные мастерами маникюра путем опиливания поверхности ногтей с покрытием гель-лакманикюрной пилкой с абразивностью 180–240 grit. Данные пилки используются для спиливания окрашенной поверхности ногтя, при этом есть вероятность опиливания и поверхности самого ногтя. Таким образом в конечном итоге в исследуемых образцах присутствовала ногтевая и гелевая пыль. Полученные образцы №1-3 исследовались на истинную плотность, дисперсность, микроскопию.

$$\rho_{\text{ист}} = \frac{m_{\text{нав}} \cdot \rho_{\text{в}}}{(m_4 - m_1) - (m_3 - m_2)} = \frac{0,01 \cdot 1000}{(0,146 - 0,046) - (0,148 - 0,056)} = 1250 \text{ кг/м}^3.$$

Работа электронного пикнометра осуществляется по принципу вытеснения газа. Пикнометр состоит из двух камер, которые соединены между собой. Камеры оснащены датчиками давления и температуры. Сначала рабочим газом заполняется эталонная камера, затем, он перемещается в измерительную камеру известного объема. В измерительную камеру помещается образец твердого материала, плотность которого необходимо определить. В ходе проведения эксперимента снимаются показания датчиков, составляются уравнения материального баланса, из которых определяется объем исследуемого материала. По полученным значениям массы и объема образца, рассчитывается его истинная плотность. В результате измерения истинной плотности образца №3 ее значение составило 1240 кг/м³. Отличие полученных данных входе проведения экспериментов для исследуемых образцов пыли составила менее 1 %.

Определение истинной плотности пылевых частиц. Одним из основных параметров определяющих характер движения пыли является плотность частиц. Для исследований использовалась отобранная в ходе опиливания поверхности ногтей пыль. Плотность пылевых частиц определялась пикнометрическим методом для образцов №1-2 и при помощи электронного пикнометра АТСс автоматической регулировкой температуры Русномат АТС – образец №3.

Суть пикнометрического метода заключается в том, что плотность исследуемого образца определяется путем его погружения в жидкость с известной плотностью. В качестве вспомогательной жидкости использовалась дистиллированная вода с известной плотностью 1000 кг/м³. Вначале измерялась масса сухого пикнометра m_1 . Затем бралась навеска исследуемой пыли $m_{\text{нав}}$ массой 0,01 кг. Навеска помещалась в пикнометр и заливалась жидкостью до мерной риски. Пикнометр с жидкостью и навеской нагревался до состояния кипения. Таким образом, воздух, содержащийся в порах исследуемой пыли полностью удалялся из нее. По истечению 20 минут пикнометр с навеской и жидкостью снова взвешивался и определялась масса m_3 . После этого пикнометр вымывался и в него наливалась дистиллированная вода до мерной риски, и пикнометр снова взвешивался - масса пикнометра с водой m_4 . После всего определялась истинная плотность пыли по формуле:

Определение дисперсного (гранулометрического) состава.

Рассеивание пылевых аэрозолей в воздухе в значительной мере определяется их дисперсным составом. Мелкие частицы пыли осаждаются медленнее, что позволяет ей дольше задерживаться в воздухе и, соответственно, вероятность попадания такой пыли в организм увеличивается.

В процессе опиливания поверхности окрашенных или наращенных ногтей образуется значительное количество мелкодисперсной пыли. Попадая в воздух рабочей зоны частицы размером менее 10 микрон способны оставаться во взвешенном состоянии достаточно долго [12, 14].

В работе [13] частицы, которые могут попасть в дыхательные пути, разделены на три типа. Во-первых, ингаляционные частицы, которые осаждаются во рту, гортани и глотке и имеют диаметр более 20 мкм; во-вторых, торакальный, который залегает за пределы гортани, но выше дыхательных путей и находится между 5–20 мкм

в диаметре; и, в-третьих, вдыхаемые, которые могут осаждаются в бронхиолах и альвеолярных протоках. Эти меньшие частицы имеют диаметрне более 5 мкм и считаются наиболее раздражающими и опасными, т.к. могут вызвать эмфизему и фиброз [14].

Крупность частиц пыли, образуемой в процессе опиливания, определялась путем проведения дисперсного анализа лазерным анализатором размера частиц Analysette 22. Принцип действия прибора заключается в использовании физического принципа рассеяния электромагнитных волн. При помощи диспергирующего устройства частицы подаются в измерительную ячейку и проходят сквозь лазерный луч, при этом свет, рассеянный пропорционально размеру частиц, посредством линзы фокусируется на детектор. Распределение частиц по размерам рассчитывается по распределению рассеянного света. В результате этого получают объемные доли, которые соответствуют эквивалентным диаметрам при лазерной дифракции.

Определение коэффициента динамической формы частиц.

Частицы пыли чаще всего имеют неправильную форму, которая свойственна для обломков твердых тел, которые образуются при определенных технологических процессах. Форма пылевой частицы оказывает влияние на характер ее движения особенно при осаждении, оказывая тем самым влияние на скорость осаждения частицы и время нахождения ее во взвешенном состоянии.

В решении некоторых инженерных задач необходимо знать численное значение степени неправильности формы частиц. Численная характеристика формы частиц описывается такими параметрами как коэффициент формы f , коэффициент сферичности φ , а также коэффициент динамической формы χ . Чаще всего эти коэффициенты определяют путем сравнения исследуемой частицы с частицей имеющей форму шара, эквивалентной рассматриваемой по какому-либо признаку.

В литературе коэффициент сферичности [10, 15] принимается равным отношению поверхности шара $S'_{ш}$ с объемом, равным объему данной частицы, к площади ее поверхности $S'_ч$

$$\varphi = \frac{S'_{ш}}{S'_ч} \quad (1)$$

Для шарообразных частиц коэффициент сферичности $\varphi = 1$, а для частиц неправильной формы – $\varphi < 1$. Зависимость между коэффициентом формы и коэффициентом сферичности можно выразить следующим образом

$$f = 1/\varphi \quad (2)$$

В этом случае для шарообразной частицы $f = 1$, а для частиц другой формы – $f > 1$.

В работе [11] определение коэффициента динамической формы частицы для малых значений числа Рейнольдса представляет собой отношение аэродинамической силы сопротивления рассматриваемой частицы $R_ч$ к аэродинамической силе сопротивления шара $R_{ш}$, эквивалентного частице по объему, при одинаковой относительной скорости:

$$\chi = \frac{R_ч}{R_{ш}} \quad (3)$$

или с учетом

$$R = \psi F \frac{u^2}{2} \rho_ч, \quad (4)$$

$$\chi = \frac{\psi_ч F_ч \rho_ч u^2 / 2}{\psi_{ш} \frac{\pi}{4} d_э^2 \rho_ч u^2 / 2} = \frac{\psi_ч F}{\psi_{ш} \frac{\pi}{4} d_э^2}, \quad (5)$$

где F – площадь характерного сечения частицы, m^2 ; $\rho_ч$ – плотность частицы, kg/m^3 ; u – относительная скорость частицы, m/s ; ψ – коэффициент сопротивления частицы; $d_э$ – эквивалентный диаметр частицы, m .

Если за характерное сечение частицы $F_ч$ принять миделево сечение шара, эквивалентного частице по объему, то

$$\chi = \frac{\psi_ч}{\psi_{ш}}, \quad (6)$$

Коэффициент динамической формы можно также определить как отношение квадратов эквивалентного диаметра $d_э$ и седиментационного d_c – диаметр шара имеющий плотность и скорость осаждения, что и рассматриваемая частица [9, 11, 15]:

$$\chi = \frac{d_э^2}{d_c^2}, \quad (7)$$

В некоторых случаях скорость падения частицы сравнивают со скоростью падения шара, эквивалентного частице по объему

$$\phi = \frac{\omega_ч}{\omega_{ш}}, \quad (8)$$

Зависимость между коэффициентом динамической формы χ и ϕ согласно [11] выражается зависимостью:

– для области автомодельности: $\chi = 1/\phi^2$;

– для области вязкого обтекания: $\chi = 1/\phi$.

Зависимость между коэффициентом динамической формы, коэффициентом формы и числом Рейнольдса рассмотрена в работе [15]:

– при $Re < 0,2$: $\chi = \frac{1}{\left(0,843 \lg \frac{1}{0,065 f}\right)}$;

– при $0,2 < Re < 2 \cdot 10^3$: $\chi = f^{0,9} Re^{0,15\sqrt{f-1}}$

– при $Re > 2 \cdot 10^3$: $\chi = 1 + 11,6(\sqrt{f} - 1)$.

Результаты и их анализ. Полученные значения дисперсного состава исследуемых образцов пыли, полученных нами от мастеров маникюра, представлены в таблицах 1–3 и на рисунках 1–3.

Таблица 1

Дисперсный состав образца пыли №1

Диаметр частиц d , мкм	< 5	5–10	10–20	20–40	40–60	60–100	> 100
Содержание отдельных фракций частиц от общей массы пыли ΔD , %	1,6	0,3	4,82	11,22	10,31	22,12	49,63
Доля частиц мельче d (проход частиц) $D(\chi)$, %	1,6	1,9	6,72	17,94	28,25	50,37	100

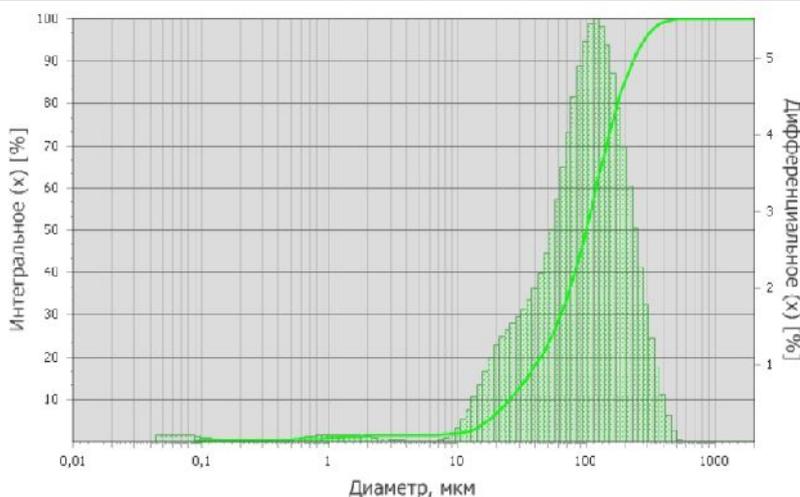


Рис. 1. График распределения частиц пыли образца №1

Таблица 2

Дисперсный состав образца пыли №2

Диаметр частиц d , мкм	< 5	5–10	10–20	20–40	40–60	60–100	> 100
Содержание отдельных фракций частиц от общей массы пыли ΔD , %	2,73	1,65	6,07	10,88	10,83	21,95	45,9
Доля частиц мельче d (проход частиц) $D(\chi)$, %	2,73	4,38	10,45	21,32	32,15	54,1	100

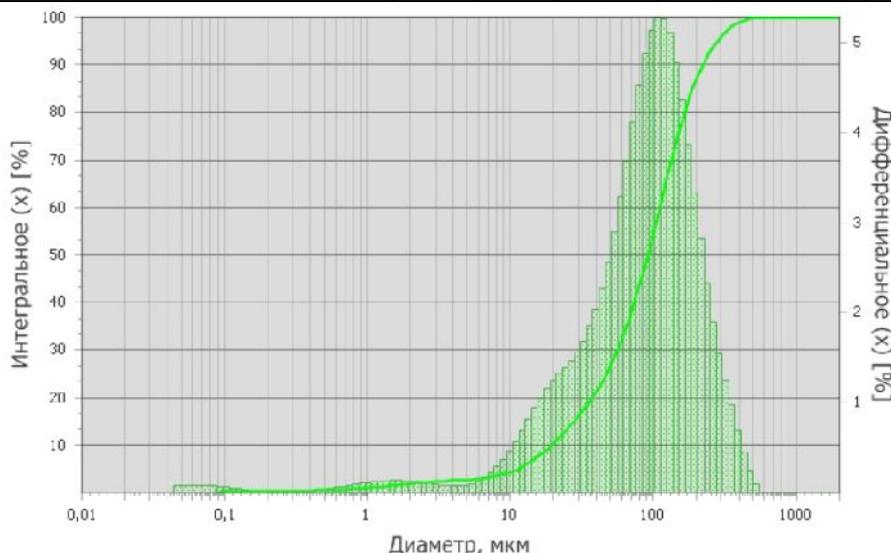


Рис. 2. График распределения частиц пыли образца №2

Дисперсный состав образца пыли №3

Диаметр частиц d , мкм	< 5	5–10	10–20	20–40	40–60	60–100	> 100
Содержание отдельных фракций частиц от общей массы пыли ΔD , %	2,24	1,31	3,27	6,3	7,9	18,45	60,53
Доля частиц мельче d (проход частиц) $D(d)$, %	2,24	3,55	6,82	13,12	21,02	39,47	100

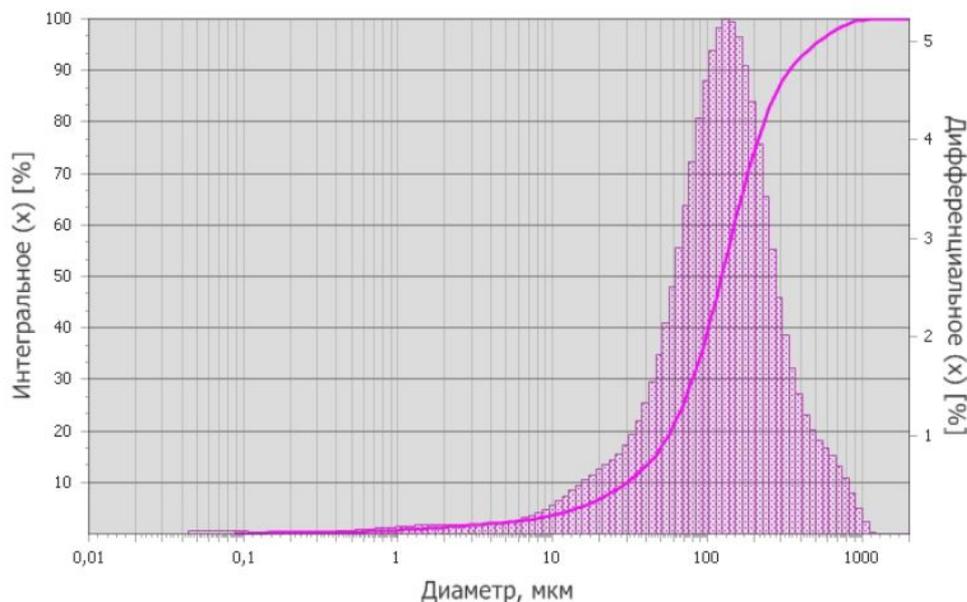


Рис. 3. График распределения частиц пыли образца №3

По результатам дисперсного анализа содержание в исследуемой пыли частиц размером меньше 10 мкм составляет менее 5 %. Однако стоит обратить внимание на тот факт, что мастер маникюра проводит по несколько процедур в день, таким образом, количество вредной пыли в воздухе рабочей зоны может накапливаться. Кроме этого процесс опиливания мастер проводит достаточно близко к области пылеобразования, тем самым подвергая себя большей вероятности попадания пыли в организм. Большое количество частиц крупностью выше 100 мкм объясняется использованием пилки с крупными частицами абразивного материала.

Изображения, полученные по результатам микроскопии, представлены на рисунках 4 и 5.

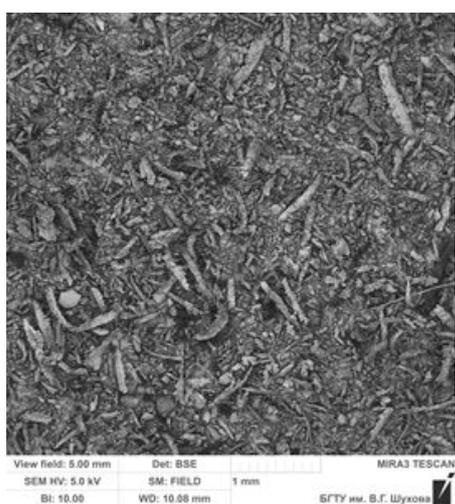
Согласно проведенному визуальному анализу было установлено, что в исследуемых образцах пыли преобладают частицы продолговатой и пластинчатой форм (рис. 4 б, д, е; рис. 5 б-г), которые могут иметь грубые и неровные края. Данные частицы, могут длительное время находиться во взвешенном состоянии и перемещаться по воздуху в помещении. В результате этого вероятность попадания таких частиц в дыхательную систему возрастает. Скорость оседания исследуемых частиц значительно ниже, чем, например, шарообразных, так как имея пластинчатую и продолговатую форму, сила аэродинамического со-

противления им значительно выше. Микроскопия ногтевой пыли, полученная в работе [13] практически совпадает с результатами, полученными в нашей работе (см. рис. 6) – преобладают частицы пластинчатой формы. Более мелкие частицы размером меньше 20 мкм можно описать как куски неправильной формы или осколки (рис. 4в).

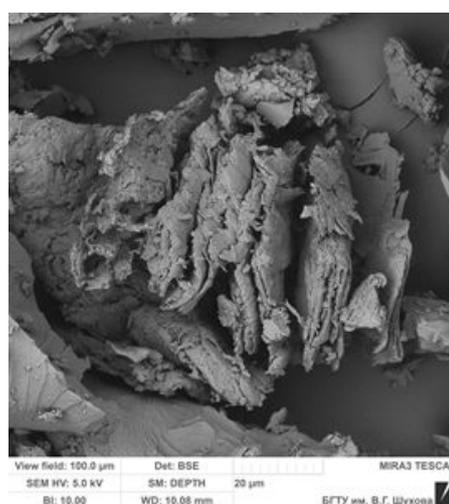
Для определения численных значений коэффициента динамической формы пластинчатых частиц исследуемой пыли выберем несколько частиц (рисунок 7). Выборка частиц производилась произвольно, в частности были выбраны частицы, чьи линейные размеры в трех измерениях возможно определить. Для выбранных частиц по результатам полученных фотографий определяются их геометрические параметры: длина, ширина и толщина.

Методика определения коэффициента динамической формы заключается в следующем: [15].

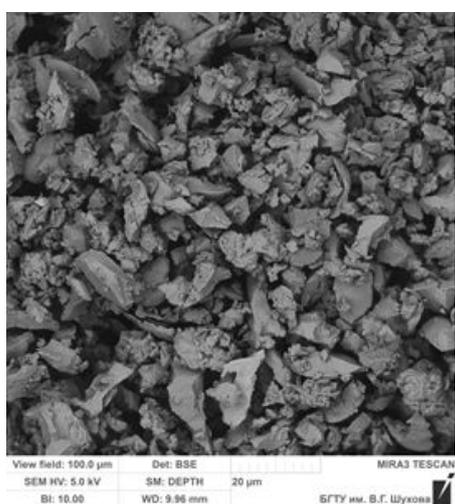
Определим объемы рассматриваемых частиц V , мм³ путем измерения ее геометрических размеров по максимальной протяженности в каждом измерении. Были выбраны частицы, чьи геометрические размеры по результатам микроскопии можно измерить в трех измерениях с минимальной погрешностью, а также различной протяженности. Предпочтения отдавалось частицам пластинчатой формы (форма определялась визуально).



а



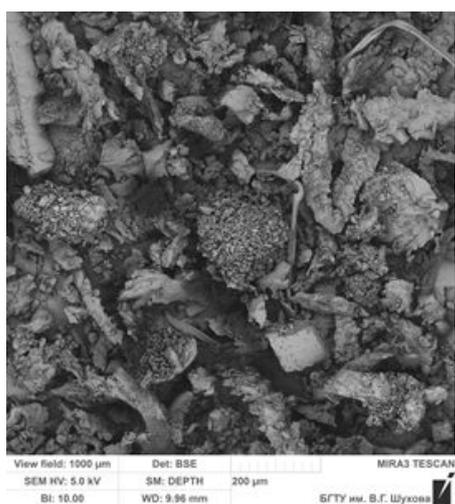
б



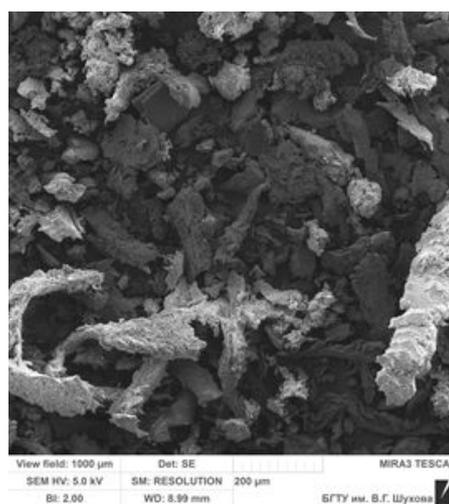
в



г

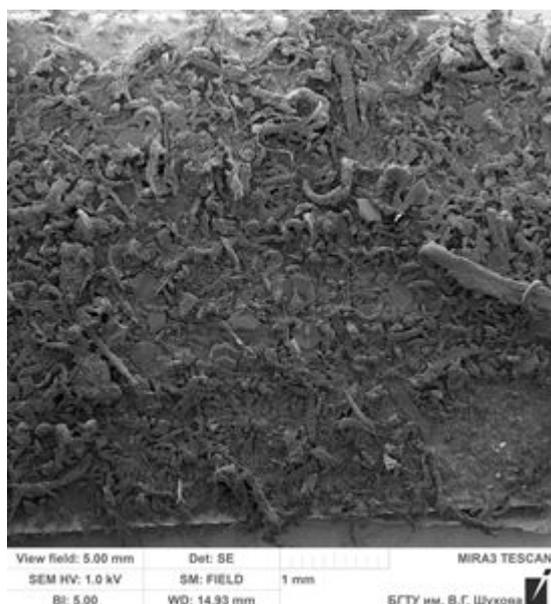


д

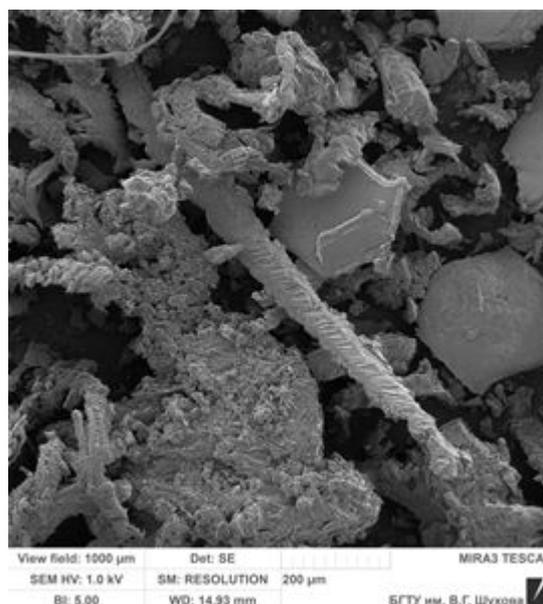


е

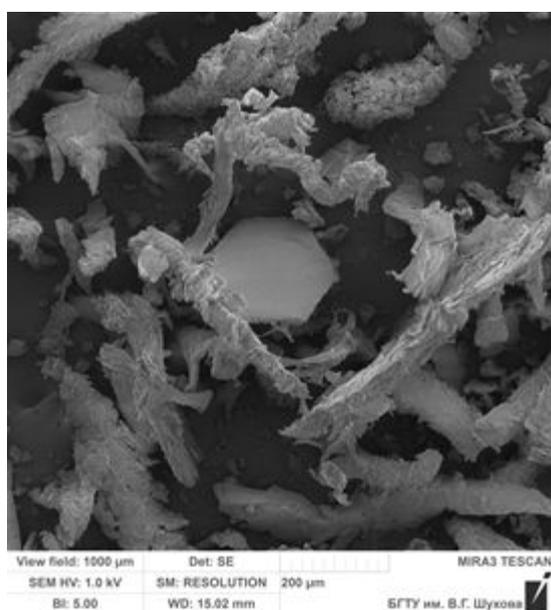
Рис. 4. Микроскопия ногтевой пылиобразцов №1-2: а) при 40 кратном увеличении; б-в) при 2000 кратном увеличении; г-е) при 200 кратном увеличении



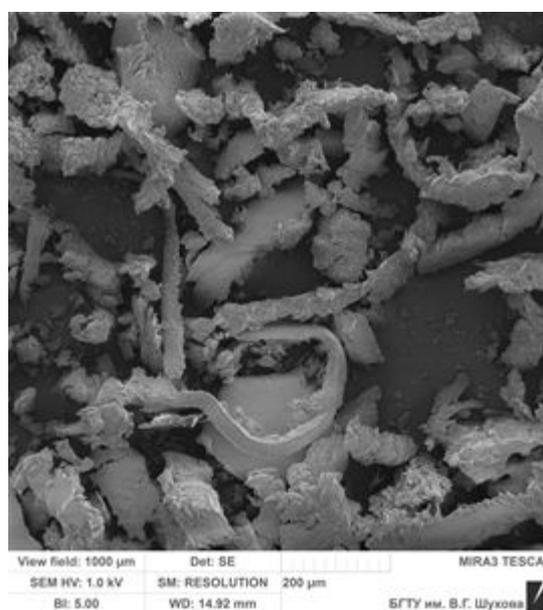
а



б



в



г

Рис. 5. Микроскопия ногтевой пылиобразца №3: а) при 40 кратном увеличении; б-г) при 200 кратном увеличении

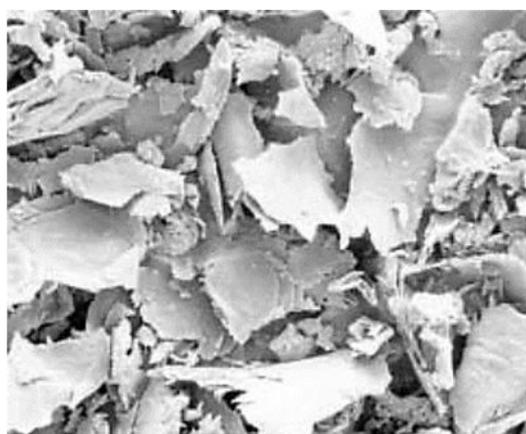


Рис. 6. Микроскопия ногтевой пыли [13]

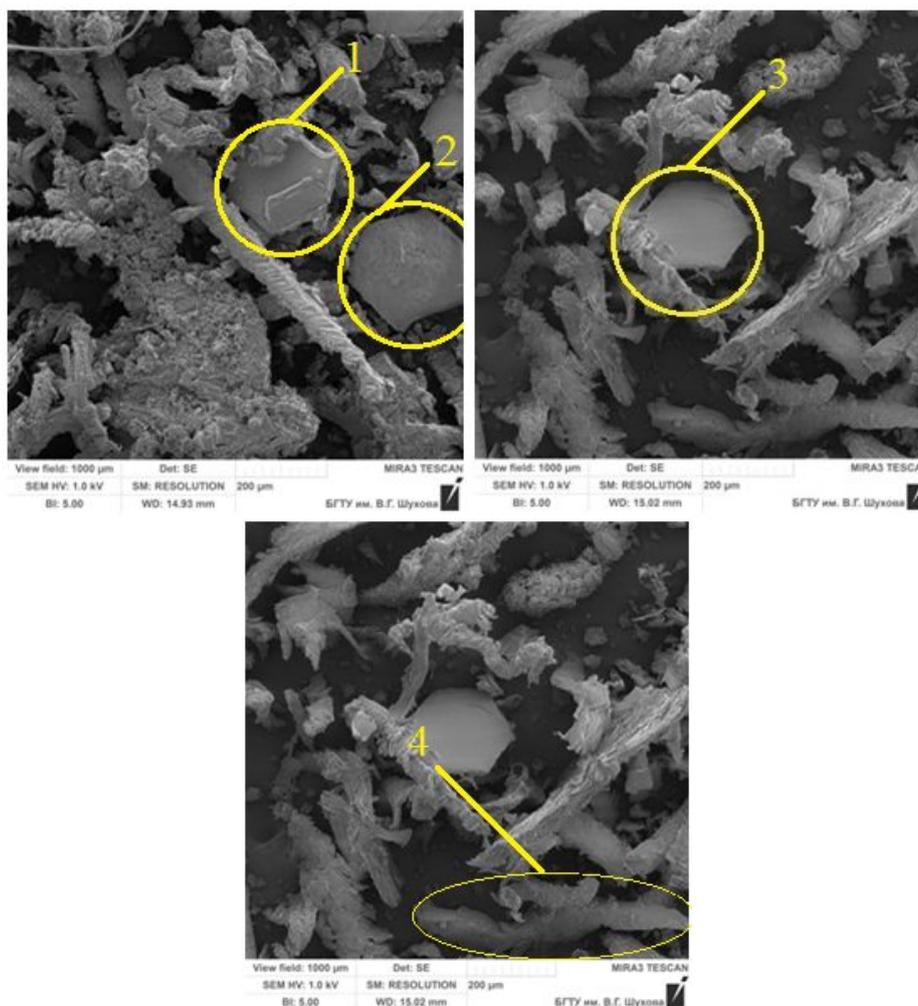


Рис. 7. Выборка пластинчатых частиц

Для рассматриваемых частиц объемы составили:

$$V_1 = 0,263 \times 0,252 \times 0,021 = 0,00139 \text{ мм}^3,$$

$$V_2 = 0,263 \times 0,26 \times 0,021 = 0,00143 \text{ мм}^3,$$

$$V_3 = 0,26 \times 0,26 \times 0,02 = 0,00135 \text{ мм}^3.$$

$$V_4 = 0,627 \times 0,069 \times 0,0345 = 0,00149 \text{ мм}^3.$$

1. Найдем диаметр шара $d_{э1}$, эквивалентного по объему рассматриваемой частице.

$$d_{э1} = \sqrt[3]{\frac{6V_1}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 0,00139}{3,14}} = 0,138 \text{ мм},$$

$$d_{э2} = \sqrt[3]{\frac{6V_2}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 0,00143}{3,14}} = 0,139 \text{ мм},$$

$$d_{э3} = \sqrt[3]{\frac{6V_3}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 0,00135}{3,14}} = 0,137 \text{ мм}.$$

$$d_{э4} = \sqrt[3]{\frac{6V_4}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 0,00149}{3,14}} = 0,142 \text{ мм}.$$

2. Определим площадь поверхности эквивалентного по объему шара и частицы.

$$S'_{ш1} = \pi d_{э1}^2 = 3,14 \cdot 0,138^2 = 0,06 \text{ мм}^2,$$

$$S'_{ч1} = 2 \cdot 0,263 \cdot 0,252 + 2 \cdot 0,263 \cdot 0,021 + 2 \cdot 0,252 \cdot 0,021 = 0,154 \text{ мм}^2,$$

$$S'_{ш2} = \pi d_{э2}^2 = 3,14 \cdot 0,139^2 = 0,06 \text{ мм}^2,$$

$$S'_{ч2} = 2 \cdot 0,263 \cdot 0,26 + 2 \cdot 0,263 \cdot 0,021 + 2 \cdot 0,26 \cdot 0,021 = 0,158 \text{ мм}^2,$$

$$S'_{ш3} = \pi d_{э3}^2 = 3,14 \cdot 0,137^2 = 0,059 \text{ мм}^2,$$

$$S'_{ч3} = 2 \cdot 0,263 \cdot 0,252 + 2 \cdot 0,263 \cdot 0,021 + 2 \cdot 0,252 \cdot 0,021 = 0,156 \text{ мм}^2,$$

$$S'_{u4} = \pi d_{s4}^2 = 3,14 \cdot 0,142^2 = 0,063 \text{ мм}^2,$$

$$S'_{q4} = 2 \cdot 0,627 \cdot 0,069 + 2 \cdot 0,069 \cdot 0,0345 + 2 \cdot 0,627 \cdot 0,0345 = 0,135 \text{ мм}^2.$$

3. Отношение площади поверхности рассматриваемой частицы к площади поверхности эквивалентного по объему шара даст численное значение коэффициента формы.

$$f_1 = \frac{S'_{q1}}{S'_{u1}} = \frac{0,154}{0,06} = 2,56,$$

$$f_2 = \frac{S'_{q2}}{S'_{u2}} = \frac{0,158}{0,06} = 2,6,$$

$$f_3 = \frac{S'_{q3}}{S'_{u3}} = \frac{0,156}{0,059} = 2,64,$$

$$Ar_1 = \frac{gd_1^3 (\rho_q - \rho_g) \rho_g}{\mu_g} = \frac{9,81 \cdot 0,000138^3 \cdot (1250 - 1,2)1,2}{18,2 \cdot 10^{-5}} = 0,000215;$$

$$Ar_2 = \frac{gd_2^3 (\rho_q - \rho_g) \rho_g}{\mu_g} = \frac{9,81 \cdot 0,000139^3 \cdot (1250 - 1,2)1,2}{18,2 \cdot 10^{-5}} = 0,000217;$$

$$Ar_3 = \frac{gd_3^3 (\rho_q - \rho_g) \rho_g}{\mu_g} = \frac{9,81 \cdot 0,000137^3 \cdot (1250 - 1,2)1,2}{18,2 \cdot 10^{-5}} = 0,000207;$$

$$Ar_4 = \frac{gd_4^3 (\rho_q - \rho_g) \rho_g}{\mu_g} = \frac{9,81 \cdot 0,000142^3 \cdot (1250 - 1,2)1,2}{18,2 \cdot 10^{-5}} = 0,000231$$

5. Вычислим число Рейнольдса и по найденному значению определим режим обтекания эквивалентной частицы

$$Re_1 = \frac{Ar_1}{18 + 0,6\sqrt{Ar_1}} = \frac{0,000215}{18 + 0,6\sqrt{0,000215}} = 0,000012$$

$$Re_2 = \frac{Ar_2}{18 + 0,6\sqrt{Ar_2}} = \frac{0,000217}{18 + 0,6\sqrt{0,000217}} = 0,000012$$

$$Re_3 = \frac{Ar_3}{18 + 0,6\sqrt{Ar_3}} = \frac{0,000207}{18 + 0,6\sqrt{0,000207}} = 0,0000115$$

$$Re_4 = \frac{Ar_4}{18 + 0,6\sqrt{Ar_4}} = \frac{0,000231}{18 + 0,6\sqrt{0,000231}} = 0,000013$$

6. Определим значение коэффициента динамической формы для рассматриваемых частиц с учетом найденного значения числа Рейнольдса

$$f_4 = \frac{S'_{q4}}{S'_{u4}} = \frac{0,135}{0,063} = 2,13.$$

4. Определим критерий Архимеда для шарообразной частицы, эквивалентной рассматриваемой. Динамическая вязкость воздуха μ_g и плотность воздуха ρ_g принимаются равными $1,82 \times 10^{-5} \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$ и $1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$ соответственно (для температуры воздуха в помещении $20 \text{ }^\circ\text{C}$). Значение плотности ρ_q примем равным $1250 \text{ кг}/\text{м}^3$ (данное значение получено в ходе исследования истинной плотности пыли).

$$\chi_1 = \frac{1}{\left(0,843 \lg \frac{1}{0,065 f_1}\right)} = \frac{1}{\left(0,843 \lg \frac{1}{0,065 \cdot 2,56}\right)} = 1,52$$

$$\chi_2 = \frac{1}{\left(0,843 \lg \frac{1}{0,065 f_2}\right)} = \frac{1}{\left(0,843 \lg \frac{1}{0,065 \cdot 2,6}\right)} = 1,54$$

$$\chi_3 = \frac{1}{\left(0,843 \lg \frac{1}{0,065 f_3}\right)} = \frac{1}{\left(0,843 \lg \frac{1}{0,065 \cdot 2,64}\right)} = 1,55$$

$$\chi_4 = \frac{1}{\left(0,843 \lg \frac{1}{0,065 f_4}\right)} = \frac{1}{\left(0,843 \lg \frac{1}{0,065 \cdot 2,13}\right)} = 1,38$$

Полученные численные значения коэффициента динамической формы для рассматриваемых частиц находятся в пределах 1,38–1,55. Учитывая, что толщина частиц более чем в 10 раз меньше длины и ширины, то данные пластинча-

тые частицы можно классифицировать как чешуйки. В [11] значение коэффициента динамической формы для пластинчатой частицы составили 6,5, однако данное значение было получено для области автомодельности и описания геометрических характеристик рассматриваемых частиц в работе нет

Выводы. В ходе проведенной работы было выявлено следующее:

- определено значение истинной плотности гелевой пыли, которое в среднем составляет 1250 кг/м³;
- получен гранулометрический состав пыли, исходя из которого можно определить содержание частиц пыли различной фракции;
- по фотографиям, полученным с электронного микроскопа было определено, что значительную долю составляют частицы пыли, имеющие форму пластин различной протяженности;
- посчитаны численные значения коэффициента динамической формы для выбранных пластинчатых частиц, которые находятся в пределах 1,4–1,5.

Полученные в ходе исследования данные позволят провести численное исследование движения рассматриваемых пылевых частиц, что позволит в дальнейшем для их локализации и удаления спроектировать и подобрать необходимое вытяжное оборудование.

Источник финансирования. Грант Российского научного фонда (проект № 18-79-10025).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лужников Е.А. Медицинская токсикология: национальное руководство. Под ред. Е.А. Лужникова. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012. 928 с.
2. Goldin L.J., Ansher L., Berlin A. etc. Indoor air quality survey of nail salons in Boston // Journal of Immigrant and Minority Health. 2014. Vol. 16. Issue 3. Pp 508–514.
3. Roelofs C, Do T. Exposure assessment in nail salons: an indoor air approach // International Scholarly Research Network Public Health. 2012. Vol. 2012. Pp 1–7.
4. Аверкова О.А., Крюков И.В., Крюкова О.С. К вопросу о размещении систем местной вытяжной вентиляции в помещениях с высоким содержанием пыли // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №4. С. 50–55.
5. Hiipakka D, Samimi B. Exposure of acrylic fingernail sculptors to organic vapors and methacrylate dusts. Am Ind Hyg Assoc J. 1987. 48. Pp 230–237.
6. Marlow D.A., Looney T., Reutman S. An Evaluation of Local Exhaust Ventilation Systems for Controlling Hazardous Exposures in Nail Salons. Washington, DC: Centers for Disease Control and Prevention (CDC), National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH); 2012. Division of Applied Research and Technology, Engineering and Physical Hazards Branch, EPHB Report No. 005-164.
7. Shakibaei N. Reducing Workers' Exposures to Chemicals and Dust in Nail Salons Using Local Exhaust Ventilation Systems. Diss. University of Washington, 2014.
8. Аверкова О.А., Зайцев О.Н., Крюков И.В., Уваров В.А., Крюкова О.С. Способы и средства локализации пылевыведений в косметологических кабинетах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №10. С. 80–89.
9. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. М. Издательство академии наук СССР, 1955. 383 с.
10. Гаврилова Н.Н., Назаров В.В., Яровая О.В. Микроскопические методы определения размеров частиц дисперсных материалов: учеб.пособие. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2012. 52 с.
11. Нейков О.Д., Логачев И.Н. Аспирация и обеспыливание воздуха при производстве порошков. М., Металлургия, 1981. 192 с.
12. Purkiss R. An assessment of the airborne dust in podiatric treatment areas, and its relevance to the use of respiratory protective equipment // Brit Pod Med. 1997. Vol. 52. Pp. 129–136.
13. Donaldson C., Carline T., Brown D., Gilmour P., Donaldson K. A study to ascertain the potential inhalation hazard of toenail dust // British Journal of Podiatry February 2003. 6(1). Pp. 28–32.
14. Abramson C, Wilton J, Inhalation of nail dust from onychomycotic toenails. Part I. Characterization of particles // Journal of the American Podiatric Medical Association. 1985a. 75. Pp.563–567.
15. Разумов И.М. Пневмо- и гидротранспорт в химической промышленности. М., "Химия", 1979. 248 с.

Информация об авторах

Аверкова Ольга Александровна, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: olga_19572004@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Крюков Илья Валерьевич, кандидат технических наук, начальник отдела организации НИР студентов. E-mail: iliya.krakov@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Уваров Валерий Анатольевич, доктор технических наук, зав. кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: v_a_uvarov@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Минко Всеволод Афанасьевич, доктор технических наук, профессор кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Крюкова Ольга Сергеевна, аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: iliya.krakov@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в декабре 2018 г.

© Аверкова О.А., Крюков И.В., Уваров В.А., Минко В.А., Крюкова О.С., 2019

¹Averkova O.A., ^{1,}Kryukov I.V., ¹Uvarov V.A., ¹Minko V.A., ¹Kryukova O.S.*

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

Russia, 308012, Belgorod, St. Kostyukova, 46

**E-mail: iliya.krakov@yandex.ru*

THE STUDY PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF DUST FORMED IN MANICURE CABINETS

Abstract. Dust particles are formed in the premises of manicure rooms in connection with the procedure of filing the surface of painted or extended nails. The movement of dust particles in the working area is determined by the form of dust particles, its dispersion and density. With prolonged exposure, dust can lead to a deterioration in master's health, in particular to the development of occupational diseases of respiratory tract. The aim of the work is to study the physico-mechanical properties of dust aerosols formed in the manicure room during the process of filing nails. In the study, parameters of interest are the true density, the dispersion composition, the coefficient of dynamic form. Consideration of these parameters is necessary for the development of an efficient dust collection system, as well as a mathematical model for the movement of dust near the local exhaust ventilation.

Keywords: local exhaust ventilation, dedusting system, the working zone air, nail dust, manicure cabinet, coefficient of dynamic forms.

REFERENCES

1. Luzhnikov E.A. Medical Toxicology: National Leadership, Ed. E.A. Luzhnikov. M.: GEOTAR-Media, 2012, 928 p.

2. Goldinn L.J., Ansher L., Berlin A. etc. Indoor air quality survey of nail salons in Boston. Journal of Immigrant and Minority Health, 2014, vol. 16, issue 3, pp. 508–514.

3. Roelofs C, Do T. Exposure assessment in nail salons: an indoor air approach. International Scholarly Research Network Public Health, 2012, vol. 2012, pp. 1–7.

4. Averkova O.A., Kryukov I.V., Kryukova O.S. On the issue of local exhaust ventilation systems in rooms with high dust content. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 4, pp. 50–55.

5. Hiipakka D., Samimi B. Exposure of acrylic fingernail sculptors to organic vapors and methacrylate dusts. Am Ind Hyg Assoc J. 1987, 48, pp 230–237.

6. Marlow D.A., Looney T., Reutman S. An Evaluation of Local Exhaust Ventilation Systems for Controlling Hazardous Exposures in Nail Salons. Washington, DC: Centers for Disease Control and Prevention (CDC), National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH); 2012. Division of Applied Research and Technology, Engineering and Physical Hazards Branch, EPHB Report No. 005–164.

7. Shakibaei N. Reducing Workers' Exposures to Chemicals and Dust in Nail Salons Using Local Exhaust Ventilation Systems. Diss. University of Washington, 2014.

8. Averkova O.A., Zaitsev O.N., Kryukov I.V., Uvarov V.A., Kryukova O.S. Ways and means of localization of dust emissions in cosmetological cabinets. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 10, pp. 80–89.

9. Fuchs N.A. Mechanics of aerosols. M. The USSR Academy of Sciences, 1955, 383 p.

10. Gavrilova N.N., Nazarov V.V., Yaro-vaya O.V. Microscopic methods for determining the particle size of dispersed materials: study guide. M.: RHTU them. DI. Mendeleev, 2012, 52 p.

11. Neykov O.D., Logachev I.N. Aspiration and dedusting of air in the production of powders. Moscow, Metallurgy, 1981, 192 p.

12. Purkiss R. Air safety and environmental protection equipment. Brit Pod Med, 1997, vol. 52, pp. 129–136.

13. Donaldson C., Carline T., Brown D., Gilmour P., Donaldson K. A study to ascertain the potential hazardous dust. British Journal of Podiatry, February 2003, 6 (1), pp. 28–32.

14. Abramson C., Wilton J. Inhalation of Nail dust onychomycotic toenails. Part I. Characterization of particles. Journal of the American Podiatric Medical Association, 1985a, 75, pp. 563–567.

15. Razumov I.M. Pneumo and hydrotransport in the chemical industry. M., "Chemistry", 1979, 248 p.

Information about the authors

Averkova, Olga A. DSc, Professor. E-mail: olga_19572004@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

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

Uvarov, Valeriy A. DSc, Professor. E-mail: v_a_uvarov@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Minko, Vsevlod A. DSc, Professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Kryukova, Olga S. Postgraduate student. E-mail: iliya.kryukov@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in Desember 2018

Для цитирования:

Аверкова О.А., Крюков И.В., Уваров В.А., Минко В.А., Крюкова О.С. Исследование физико-механических свойств пыли, образуемой в маникюрных кабинетах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 2. С. 69–80. DOI: 10.12737/article_5c73fc18596104.60696082

For citation:

Averkova O.A., Kryukov I.V., Uvarov V.A., Minko V.A., Kryukova O.S. The study physical and mechanical properties of dust formed in manicure cabinets. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 2, pp. 69–80. DOI: 10.12737/article_5c73fc18596104.60696082

DOI: 10.12737/article_5c73fc1b02c9a5.88217220

^{1,*} Уляшева В.М., ¹ Анисимов С.М., ¹ Михайлов Е.В.¹ Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Россия, 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4

*E-mail: ulyashevavm@mail.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА В СИСТЕМАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА ЧИСТЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Аннотация. Обеспечение нормируемых параметров микроклимата в учреждениях здравоохранения, таких как фармацевтические предприятия, является актуальной задачей в области строительства. Создание чистых помещений и чистых зон помещений характеризуется значительными затратами, обусловленными высокой стоимостью современных систем кондиционирования воздуха (СКВ), включающими несколько ступеней фильтрации воздуха. При выборе типа фильтра учитывают стоимость фильтров, периодичность их замены, аэродинамические характеристики. В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований зависимости сопротивления воздушных фильтров от степени их фильтрующей способности. В натурных условиях изучены особенности функционирования фильтров марки «Воздушные фильтры» и марки Camfil в системах подготовки воздуха для чистых помещений фармацевтического производства. Получены статистические данные по эффективности и аэродинамическому сопротивлению исследуемых фильтров. Определены жизненные циклы фильтров. Предложена зависимость для определения аэродинамического сопротивления фильтра F7 Camfil в зависимости от продолжительности работы. Поддержание стабильного расхода воздуха в СКВ чистых помещений осуществляется путем создания электронными регуляторами расхода воздуха переменного аэродинамического сопротивления. Такой процесс сопровождается созданием избыточного давления в системе и требует увеличения потребляемой мощности вентилятора, что противоречит современным требованиям по энергоэффективности инженерных систем зданий. На основе экспериментальных исследований предложена схема организации работы вентилятора кондиционера на основе современных электронных регуляторов расхода по положению дроссельной заслонки с обратным сигналом.

Ключевые слова: чистое помещение, воздушный фильтр, эффективность, сопротивление, жизненный цикл.

Введение. Эксплуатация чистых зон помещений и чистых помещений характеризуется значительной стоимостью, что обуславливает их использование в соответствующих отраслях. Чистые помещения входят в состав лечебно-профилактических учреждений, фармацевтических производств, предприятий электронной промышленности и т.п.

Требования к организации воздухообмена в чистых помещениях и способам очистки воздуха в установках вентиляции и кондиционирования воздуха для вышеуказанных помещений определяются согласно ГОСТ Р ИСО 14644-1-2017 и приказу Министерства промышленной торговли России от 14.06.2013 №916. Требования отечественных нормативных документов гармонизированы с зарубежными нормативными документами. Особенности устройства чистых помещений с точки зрения обеспечения санитарно-гигиенических требований представлены в нормативных документах ГОСТ Р ИСО 14644-4-2002 и ГОСТ Р 56638-2015. Исследованиям систем кондиционирования микроклимата чистых помещений посвящены работы [1–11]. Особенности проектирования чистых помещений для фармацевтических производств рассмотрены в работе [12].

Поддержание баланса расходов и давлений является основным вопросом [13] при проектировании и эксплуатации чистых помещений согласно требованиям ФЗ N 261-ФЗ «Об энергосбережении» от 23.11.2009г. и нормативных документов, в частности, ГОСТ 31607-2012 и ГОСТ Р 56190-2014. Исходя из вышеизложенного, в работе представлены результаты исследований, посвященные обоснованию выбора энергоэффективных моделей фильтров и схем управления вентиляционным оборудованием.

Методология. Известно, что фильтры тонкой очистки, используемые в системах подготовки воздуха для чистых помещений, имеют высокий перепад давления, что ведет к их частой замене и дополнительной нагрузке на вентиляционный агрегат кондиционера. Выбор типа фильтра осуществляется на основе классификации, представленной в ГОСТ Р 51251-99.

Планирование экспериментальных исследований в работе основано на требованиях по эксплуатации чистых помещений ГОСТ Р ИСО 14644-5-2005, методах испытаний систем обеспечения микроклимата чистых помещений ГОСТ Р ИСО 14644-3-2007 и общей методике проведения

аэродинамических испытаний ГОСТ 12.3.018–79.

В процессе экспериментальных исследований рассмотрены 2 идентичные системы кондиционирования воздуха с фильтрами марки «Воздушные фильтры» и марки «Camfil». Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. Производительность установки 7400–8900 м³/ч. Каждая секция фильтра оснащена штуцерами для отбора проб воздуха и измерений перепада давлений.

Для оценки эффективности очистки воздуха использованы счетчики частиц Aerotrak 9306 (6 каналов измерений). Счетчики Aerotrak 9306 применяются для определения концентрации частиц размерами 0,3–20,0 мкм. Для измерения сопротивления фильтра использован дифференциальный манометр Testo 510 с температурной компенсацией (диапазон измерения: от 0 до 100 гПа).

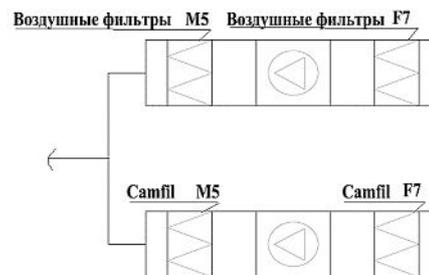


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Основная часть. В системах подготовки воздуха важную роль играют воздушные фильтры, в процессе эксплуатации которых происходит накопление пыли и увеличение аэродинамического сопротивления фильтров и, соответственно всей системы подготовки воздуха. На рис. 2 представлены данные изменения аэродинамического сопротивления фильтров в процессе эксплуатации, полученные на основе экспериментальных исследований при участии авторов [14].



Рис. 2. Зависимость сопротивления воздушного фильтра от количества накопленной им пыли (расход воздуха 0,94 м³/с)

Для получения подробных статистических данных выполнен длительный эксперимент в течение 32 недель. На рис.3 приведены результаты эксперимента после 6 недель работы фильтров. Перепад давления на фильтрах M5 марки Camfil существенно ниже, чем на фильтрах M5 «Воздушные фильтры». Соответственно эффективность очистки воздуха (размер контрольных частиц 0,3 мкм) практически выше в два раза. Аналогичная тенденция наблюдается и на фильтрах F7.

На рис.3 представлена информация на 10 неделе работы фильтров. Перепад давления на фильтрах M5 марки Camfil более чем в 8 раз ниже перепада давления на фильтрах M5 «Воздушные фильтры», а перепад давления на фильтрах F7 марки Camfil на 25 % ниже перепада давления на фильтрах F7 «Воздушные фильтры». Потребовалась замена фильтра M5 «Воздушные фильтры» вследствие достижения предельного сопротивления.

Подобная картина имела место в течение всего времени эксперимента. Кроме того, в процессе дальнейшего эксперимента потребовалась

повторная замена фильтра M5 марки «Воздушные фильтры» и замена фильтра F7 марки «Воздушные фильтры» вследствие достижения предельного сопротивления. Таким образом, была установлена продолжительность жизненного цикла исследуемых фильтров марки «Воздушные фильтры», существенно меньше, чем фильтров марки Camfil.

На рис.5 представлены статистические данные после 32 недель эксплуатации фильтров. Несмотря на промежуточную замену фильтра F7 марки «Воздушные фильтры», его сопротивление вновь достигло предельного значения. Для дальнейшего функционирования системы вновь потребовалась замена фильтра.

На рис.6 представлены жизненные циклы фильтров F7 марки Camfil (HFGX-F7 и HFGS-F7 с глубиной кармана 520 мм и количеством карманов 10шт.) с максимальным допустимым значением перепада давления 300 Па. Так, например, жизненный цикл фильтра HFGS-F7 составляет 22000 ч (916 суток).

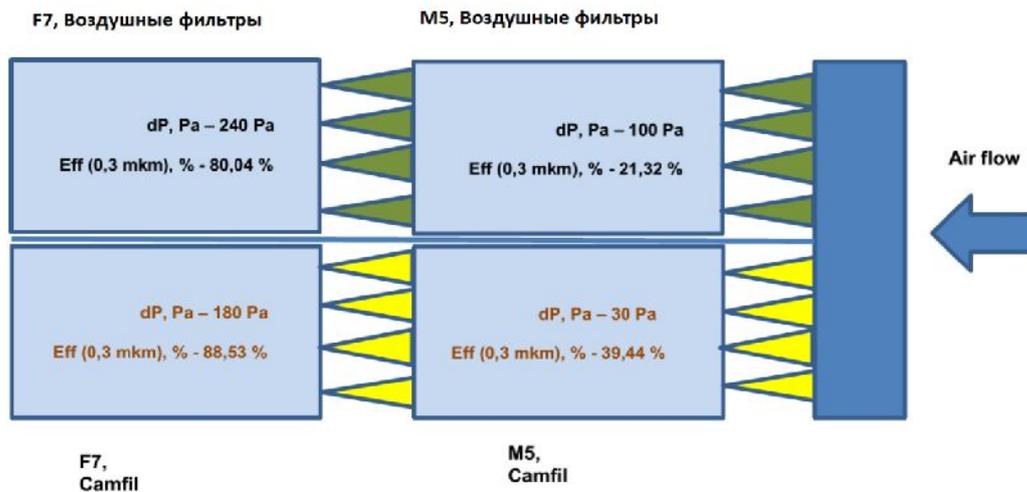


Рис. 3. Результаты эксперимента после 6 недель эксплуатации

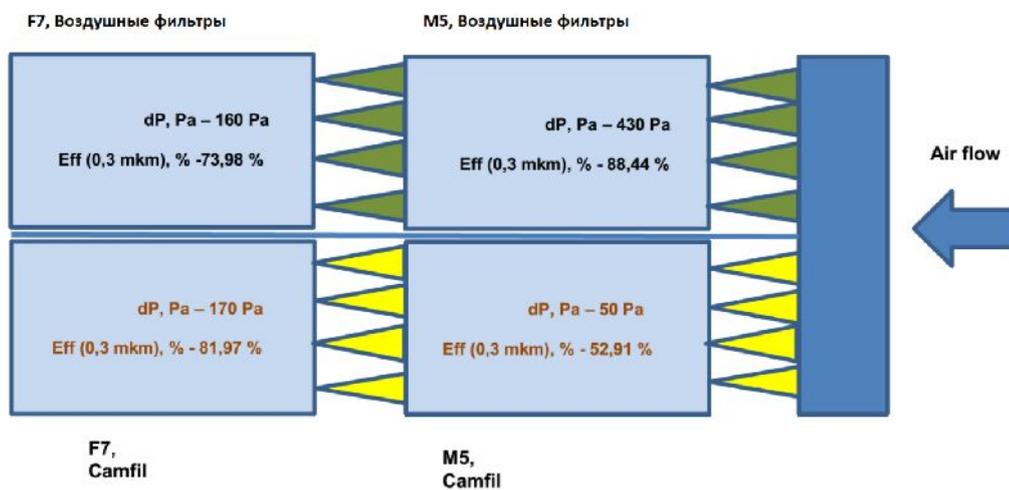


Рис. 4. Результаты эксперимента на 10 неделе эксплуатации

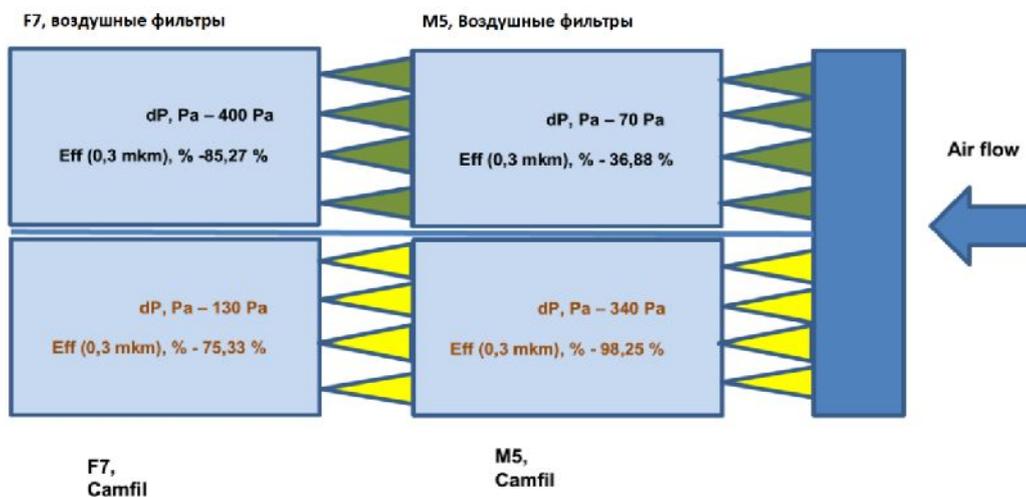


Рис. 5. Результаты эксперимента после 32 недель эксплуатации

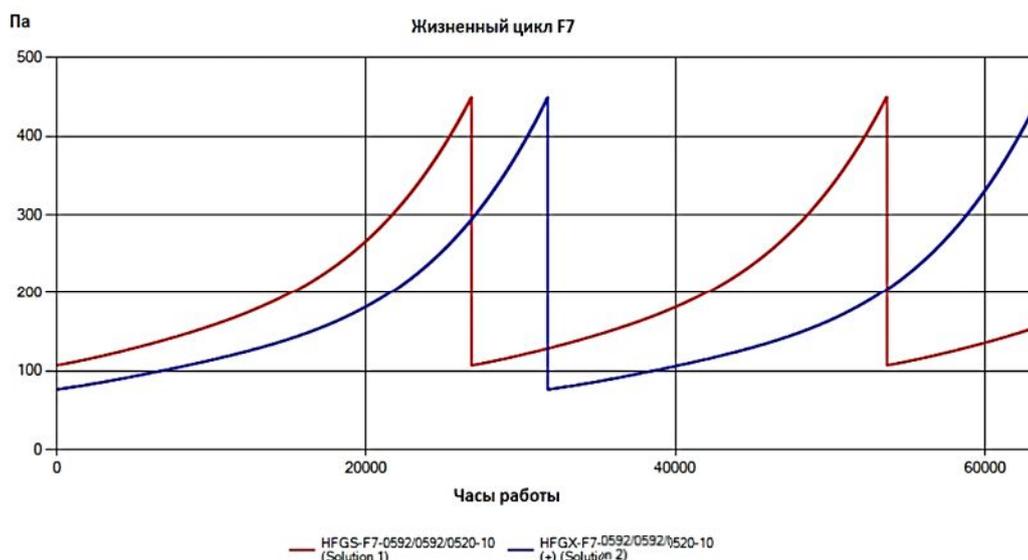


Рис. 6. Жизненный цикл фильтров марки Camfil

Результаты исследования функционирования систем вентиляции и кондиционирования воздуха чистых зон фармацевтического предприятия показывают, что вентиляционные агрегаты потребляют избыточную мощность вне зависимости от степени фильтрующей способности фильтров и, соответственно, их аэродинамического сопротивления. Такой режим работы вентиляционного оборудования не соответствует современным требованиям по энергосбережению (ФЗ N 261-ФЗ «Об энергосбережении» от 23.11.2009г.) и энергоэффективности инженерных систем согласно ГОСТ Р 56190-2014, а также рекомендациям [15]. В работах [16, 17] рассмотрены основные направления энергосбережения и повышения энергоэффективности систем подготовки воздуха чистых помещений.

Проектирование и эксплуатация чистых помещений фармацевтического производства регулируется Стандартом GMP (Good Manufacturing Practic, Надлежащая производственная практика), а также рядом нормативных документов, в частности, ГОСТ Р ИСО 14644-5-2005 и ГОСТ Р ИСО 14644-3-2007. Учитывая значительное влияние сопротивления фильтров на аэродинамические характеристики системы подготовки воздуха для чистых помещений, для повышения энергоэффективности систем подготовки воздуха чистых помещений выполнен сравнительный анализ фильтров и предложена схема управления вентиляторами кондиционеров чистых помещений в зависимости от степени фильтрующей способности фильтров.

Для фильтра F7 увеличение перепада давления в зависимости от продолжительности работы может быть описано формулой:

$$\Delta P_{F7} = 80 + N^2 - N^{1.99997902}, \text{ Па} \quad (1)$$

где ΔP_{F7} – значение перепада давления на фильтре F7 (Па), N – продолжительность работы фильтра (дней).

В системах кондиционирования воздуха чистых помещений для обеспечения стабильного расхода воздуха мощность вентилятора выбирается, исходя из условия поддержания проектного расхода воздуха при предельном сопротивлении фильтра, при котором необходима его замена. Постоянный расход воздуха в течение длительного периода времени поддерживается за счет дополнительного аэродинамического сопротивления, создаваемого электронными регуляторами расхода воздуха для компенсации переменного сопротивления фильтров. Выполненный в работе [14] при участии авторов анализ показывает, что такая схема не отвечает современным требованиям по энергоэффективности инженерных систем зданий, поскольку вентилятор практически всегда создает избыточное давление воздуха. В результате сопоставления существующей схемы с различными вариантами регулирования, например, с использованием датчика статического давления и современных электронных регуляторов расхода по положению дроссельной заслонки с обратным сигналом обоснован выбор последней схемы.

При установке датчика статического давления и соответствующей адаптации системы автоматики работа вентилятора кондиционера будет направлена на поддержание заданного статического давления воздуха. При отклонении фактического значения статического давления воздуха от заданного система управления вентиляцией будет изменять управляющий сигнал на частотный преобразователь электродвигателя вентилятора с целью изменения числа его оборотов. При снижении фильтрующей способности фильтров

тонкой очистки, расположенных в кондиционере, перепад давления на них будет увеличиваться, вследствие чего повысится сопротивление вентиляционной сети и уменьшится статическое давление, что приведет к увеличению потребляемой мощности вентилятора.

На основании анализа особенностей функционирования систем кондиционирования воздуха фармацевтического производства и различных схем обеспечения постоянного расхода предложена схема организации работы вентилятора кондиционера на основе современных электронных регуляторов расхода по положению дроссельной заслонки с обратным сигналом. К недостаткам данной системы возможно отнести большие затраты, связанные с заменой электронных регуляторов расхода на более современные. Для снижения стоимости затрат на модернизацию возможно подвергнуть замене всего один регулятор расхода воздуха на ответвлении с максимальным сопротивлением, в то время как электронные регуляторы других ответвлений будут функционировать в прежнем режиме.

Выводы.

На основе анализа экспериментальных исследований эффективности, аэродинамических сопротивлений и жизненных циклов фильтров тонкой очистки различных производителей определена целесообразность использования фильтров марки Camfil. Предложена схема организации работы вентилятора кондиционера на основе современных электронных регуляторов расхода по положению дроссельной заслонки с обратным сигналом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федотов А.Е. Чистые помещения. Второе издание, переработанное и дополненное М.: АСИНКОМ, 2003. 576 с.

2. Азембаев А.А. Основные критерии чистого помещения согласно требованиям стандарта GMP // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 3 (45). Часть 2. С. 54–57.

3. Алексашина О.Ф., Власенко В.И., Калечиц В.И. и др. Чистые помещения. Под ред. А. Е. Федотова. [2-е изд.]. М.:Изд-е АСИНКОМ, 2003. 576 с.

4. Раймонд К. Шнейдер. Системы кондиционирования воздуха для чистых комнат // АВОК. 2002. № 5. С. 38–43.

5. Борисоглебовская А.П. Лечебно-профилактические учреждения. Общие требования к проектированию систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. М. АВОК-ПРЕСС, 2008. 146с.

6. Matsuki M. Energy saving system for air conditioning of clean room for semiconductor factory (Estimation of FMU System) // Oki Technical Review. 1998. P. 40–43.

7. Naughton P. HVAC systems for semiconductor clean rooms – Part 1: System components // ASHRAE Trans. 96 (2). 1990. P. 620–625.

8. Naughton P. HVAC systems for semiconductor clean rooms – Part 2: Total system components // ASHRAE Trans. 96 (2). 1990. P. 626–633.

9. Schneider R. Designing clean room HVAC systems // ASHRAE Journal Vol. 43 (8). August 2001. P. 39–46.

10. Xu T. Airflow design for cleanroom and its economic implication // To appear in the Proceeding of the 5th China International Academic Forum & Products Exposition on Contamination Control Technology, Construction Sub-Council of China for the Promotion of International Trade and Chinese Contamination Control Society. Beijing, China. November 27–29. 2002. P. 7.

11. Zaragoza S. Need for clean rooms growing rapidly // Dallas Business Journal 21(46). 2002.

12. Peter Maier, Bern Metzner. Чистые комнаты для фармацевтических изделий // АВОК. 2000. №2. С.24–30.

13. Бородкин А.А. Поддержание баланса расходов и давлений в чистых помещениях // АВОК. 2010. № 4. С. 42–51.

14. Михайлов Е.В. Повышение энергоэффективности вентиляции чистых помещений // Теоретические и практические аспекты развития научной мысли в современном мире: Сборник статей Международной научно-практической конференции (16 июня 2018 г., г. Оренбург). Уфа: ОМЕГА САЙНС. 2018. С.32–35.

15. СТО НП АВОК 2.2.4–2015. Рекомендации по повышению энергетической эффективности систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Введ. 2015–06–09. 24с.

16. Черняков Е. В. Сравнительный анализ систем вентиляции и кондиционирования воздуха в чистых помещениях и проблемы энергосбережения // Технология чистоты. 2012. №3. С.25–28.

17. Cohen R.M. Энергоэффективные системы климатизации чистых комнат промышленных предприятий // АВОК. 2004. №4. С. 52–58.

Информация об авторах

Уляшева Вера Михайловна, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: ulyashevavm@mail.ru. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4.

Анисимов Сергей Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д.4.

Михайлов Егор Валерьевич, аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д.4.

Поступила в январе 2019 г.

© Уляшева В.М., Анисимов С.М., Михайлов Е.В., 2019

^{1,*}*Ulyasheva V.M., ¹Anisimov S.M., ¹Mikhailov E.V.*
¹*Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering*
Russia, 190005, St. Petersburg, st. Krasnoarmeyskaya, 4
**E-mail: ulyashevavm@mail.ru*

IMPROVING AIR PURIFICATION IN CLEAN ZONES OF MICROCLIMATE SUPPORT SYSTEMS

Abstract. *Providing standardized microclimate parameters in the health care facilities, such as pharmaceutical companies, is an urgent task in construction. Creating clean rooms is characterized by significant expenses, due to the high cost of modern air conditioning systems (ACS), including several stages of air filtration. The cost of filters, the frequency of their replacement, the aerodynamic characteristics are taken into account when choosing a filter type. This paper presents the results of experimental studies on dependence of the resistance of air filters on the degree of filtering capacity. The “Air filters” and “Camfil” features of operation in air preparation systems for clean rooms in pharmaceutical production are studied. Statistical data on the efficiency and aerodynamic resistance of studied filters are obtained. Filters’ life cycles are defined. The relation for determining the aerodynamic resistance of the F7 Camfil filter depending on the duration of operation is proposed. Maintaining a stable air flow in the ACS of clean rooms is carried out by creating electronic regulators of air flow variable aerodynamic resistance. This process is accompanied by the creation of overpressure in the system and it requires the increase of power consumption, which contradicts the modern requirements for energy efficiency of building engineering systems. In the result of experimental studies, the scheme for organizing the operation of an air conditioner fan based on modern electronic flow regulators on the throttle position with a return signal is proposed.*

Keywords: *clean room, air filter, efficiency, aerodynamic resistance, life cycle.*

REFERENCES

1. Fedotov A.E. Clean rooms. The second edition, revised and supplemented by M.: ASINKOM. 2003, 576 p.
2. Azembaev A.A. Main criteria of cleanroom according to the requirements of the GMP standard. International Scientific Research Journal, 2016, no. 3 (45), Part 2, pp. 54–57.
3. Aleksashina O.F., Vlasenko V.I., Kalechits V.I. etc. Clean rooms. By ed. A. E. Fedotova. [2nd ed.]. M.: Publishing House ASYNKOM. 2003, 576 p.
4. Raymond K. Schneider. Air conditioning systems for clean rooms. Schneider AVOK, 2002, no. 5, pp. 38–43.
5. Borisoglebovskaya A.P. Medical institutions. General requirements for the design of heating, ventilation and air conditioning systems. M. AVOK-PRESS, 2008, 146 p.
6. Matsuki M. Energy saving system for air conditioning of clean room for semiconductor factory (Estimation of FMU System). Oki Technical Review, 1998, pp. 40–43.
7. Naughton P. HVAC systems for semiconductor clean rooms – Part 1: System components. ASHRAE Trans, 96 (2), 1990, pp. 620–625.
8. Naughton P. HVAC systems for semiconductor clean rooms – Part 2: Total system components. ASHRAE Trans, 96 (2), 1990, P. 626-633.
9. Schneider R. Designing clean room HVAC systems. ASHRAE Journal, vol. 43 (8), August 2001, pp. 39–46.
10. Xu T. Airflow design for cleanroom and its economic implication. To appear in the Proceeding of the 5th China International Academic Forum & Products Exposition on Contamination Control Technology, Construction Sub-Council of China for the Promotion of International Trade and Chinese Contamination Control Society. Beijing, China. November 27-29, 2002, pp. 7.

11. Zaragoza S. Need for clean rooms growing rapidly. *Dallas Business Journal*, 21(46), 2002.
12. Peter Maier, Bern Metzner. Clean rooms for pharmaceutical products. *AVOK*, 2000, №2, P.24-30.
13. Borodkin A.A. Keeping the balance of costs and pressures clean rooms. *AVOC*, 2010, no. 4, pp. 42–51.
14. Mikhailov E.V. Improving energy efficiency of ventilation of clean rooms. Theoretical and practical aspects of the development of scientific thought in the modern world: Collection of articles of the International scientific-practical conference (June 16, 2018, Orenburg). Ufa: OMEGA SAINZ. 2018, pp. 32–35.
15. STO NP ABOK 2.2.4–2015. Recommendations for improving the energy efficiency of ventilation and air conditioning systems. *Enter*, 2015-06-09, 24P.
16. Chernyakov E.V. Comparative analysis of ventilation and air conditioning systems in clean rooms and problems of energy saving, 2012, no. 3, pp. 25–28
17. Cohen R.M. Energy-Efficient air-conditioning systems for clean rooms of industrial enterprises, 2004, no. 4, pp. 52–58.

Information about the authors

Ulyasheva, Vera M. DSc, Professor of heat and gas supply and ventilation chair. E-mail: ulyashevavm@mail.ru. St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, St. Petersburg, st. Krasnoarmeyskaya, 4.

Anisimov, Sergei M. DSc, Professor of heat and gas supply and ventilation chair. St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, St. Petersburg, st. Krasnoarmeyskaya, 4.

Mikhailov, Egor V. Postgraduate student of heat and gas supply and ventilation chair. St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, St. Petersburg, st. Krasnoarmeyskaya, 4.

Received in January 2019

Для цитирования:

Уляшева В.М., Анисимов С.М., Михайлов Е.В. Совершенствование очистки воздуха в системах обеспечения микроклимата чистых помещений // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №2. С. 81–87. DOI: 10.12737/article_5c73fc1b02c9a5.88217220

For citation:

Ulyasheva V.M., Anisimov S.M., Mikhailov E.V. Improving air purification in clean zones of microclimate support systems. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2019, no. 2, pp. 81–87. DOI: 10.12737/article_5c73fc1b02c9a5.88217220

DOI: 10.12737/article_5c73fc1d3898a0.66784644

¹Галюжин С.Д., ¹Лобикова Н.В., ^{1,*}Лобикова О.М.¹Белорусско-Российский университет

Республика Беларусь, 212000, г. Могилев, проспект Мира, д. 43

*E-mail:olg.lobikova@yandex.ru

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ПРОЕКТОВ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ

Аннотация. Проведены исследования целесообразности применения при строительстве индивидуальных жилых домов распространенных проектов систем отопления на различных видах топлива, а также инновационной системы отопления на основе теплового насоса. Проекты систем отопления в индивидуальном жилом доме рассмотрены всесторонне в долгосрочной перспективе с учетом всех прямых и сопутствующих реализации проекта доходов и расходов. Проведена оценка экологичности проектов, рассчитан экологический ущерб от выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Осуществлены идентификация, количественная и качественная оценка рисков систем отопления на протяжении жизненного цикла проекта. Разработан перечень антирисковых мероприятий, дающих гарантию безопасной и эффективной эксплуатации систем отопления. Показана перспективность применения тепловых насосов для отопления индивидуальных жилых домов. Установлено, что применение нетрадиционных систем отопления на основе теплового насоса будет способствовать выполнению задачи по обеспечению всеобщего доступа к современным источникам энергии. Разработана методология, позволяющая выбрать проект системы отопления с минимальными совокупными затратами в долгосрочной перспективе, уменьшить нагрузку на окружающую среду за счет уменьшения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и снизить риски реализации проекта.

Ключевые слова: система отопления, жилой дом, энергоэффективность, энергосбережение, возобновляемые источники энергии, тепловой насос.

Введение. Развитие цивилизации привело к нехватке энергетических ресурсов. Мировое общество стало перед необходимостью принятия серьезных мер по сокращению потребляемой энергии в промышленности и в жилищной сфере. Решение вопроса сбережения энергетических ресурсов актуально для всех отраслей экономики, в том числе и жилищного строительства [1].

На Саммите ООН 2015 года в Нью-Йорке поставлены семнадцать целей в области устойчивого развития на период до 2030 года. Седьмая цель – расширение области использования возобновляемых источников энергии [2].

Значимой составляющей национальной безопасности страны становится энергетическая безопасность. Этот факт закреплен в проводимой политике ряда стран. На протяжении последних 25 лет в Беларуси также разрабатываются мероприятия, направленные на сокращение потребления тепловой энергии при строительстве и эксплуатации жилья. Нормы по ее удельному расходу на нужды отопления и горячего водоснабжения в жилых домах начиная с 1993 года непрерывно снижаются. Поставлены цели достижения показателей на уровне европейских в области строительства и эксплуатации «пассивных» домов на уровне 30–40 кВт·ч/м² в год для многоэтажных зданий и 90 кВт·ч/м² в год – для малоэтажного строительства. Для государственной поддержки данного процесса в Беларуси при-

няты Закон Республики Беларусь «Об энергосбережении» [3] и Государственная программа «Энергосбережение» на 2016–2020 годы [4]. В них предусмотрены экономия энергоресурсов за счет внедрения инновационных энергоэффективных технологий, оборудования, приборов и материалов, вовлечение собственных ресурсов, в том числе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), увеличение популярности энергосбережения среди населения, установление стимулирующих тарифов на энергоресурсы. Кроме того предусматриваются создание системы мониторинга и оценки управления энергосбережением.

Развитие успешных стратегий энергосбережения должно проводиться на всех уровнях, в том числе и на уровне населения страны в собственных домах [5].

Природные условия в Беларуси отличаются умеренно-континентальным климатом, что проявляется в необходимости наличия в жилых помещениях надежных и эффективных систем отопления. Принципиальное отличие проектов происходит в зависимости от вида потребляемого топлива.

Традиционные системы отопления популярны среди населения Беларуси благодаря их доступности, четко проработанными и апробированными множеством пользователей техническими решениями, наличию на рынке различных модификаций теплогенераторов и предложений услуг по их установке, а также, на первый взгляд,

экономичности [6]. Последнее утверждение, на взгляд авторов, является весьма спорным и подлежит пересмотру [7]. В настоящее время стоимость строительства и эксплуатации 1 м² в индивидуальном жилом доме выше, чем в жилом многоквартирном доме, при прочих равных условиях [8]. Одна из существенных статей расходов – отопление помещений в холодное время года. Применение традиционных систем отопления приводит к значительным текущим расходам.

На основе результатов прогнозирования энергетических перспектив развития строительства жилья более выигрышными сегодня являются два направления повышения энергетической эффективности объектов:

- экономия энергетических ресурсов путем минимизации энергопотребления и потерь энергии, в т.ч. путем утилизации энергетически ценных отходов;

- применение при эксплуатации жилых домов возобновляемых источников энергии.

Возможности применения нетрадиционных альтернативных источников энергии для отопления жилья расширяются [9]. Кроме того истощение невозобновляемых энергетических ресурсов заставляет задуматься о рациональном их использовании.

Методология. При проведении исследования использовалась установленная в мировой практике методика определения эффективности инвестиций, которая предполагает сопоставление полученного чистого дохода от реализации проекта за принятый горизонт расчета с вложенными в него инвестициями. Основой метода является определение чистого денежного потока, рассчитываемого как разность между достигнутыми к концу года доходами и расходами, рассматриваемыми в динамике за расчетный период [10].

Для приведения разновременных стоимостных значений расходов Z_T и доходов P_T к их ценности на момент старта проекта, применили метод дисконтирования денежных потоков [10]. Определение нормы дисконтирования произведено с учетом рекомендаций [10] в размере 15 % из расчета средней фактической ставки процента по долгосрочным кредитам с применением надбавки за риск [11–14].

Стоимостная оценка результатов использования систем отопления P_T за 10 лет представлена как величина дисконтированного денежного потока от реализации проекта [10]:

$$P_T = P_0 + P_1 \cdot K_1 + P_2 \cdot K_2 + \dots + P_{10} \cdot K_{10}, \quad (1)$$

где P_i – поступления средств от результатов использования проекта отопления за каждый год

расчетного периода (10 лет), EUR; K_1, K_2, \dots, K_i – коэффициенты дисконтирования.

Аналогично выполнен расчет дисконтированных расходов Z_T [10]:

$$Z_T = I_0 + I_1 \cdot K_1 + I_2 \cdot K_2 + \dots + I_3 \cdot K_{10}, \quad (2)$$

где $I_{(i)}$ – издержки за каждый год расчетного периода (10 лет), EUR.

Расчет экологического ущерба в натуральном и денежном выражении производилина основе [15–19]. Сумма экологического ущерба U рассчитана исходя из массы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и ставки экологического налога:

$$U = \sum_{i=1}^n (P_i \cdot M_i), \quad (3)$$

где P_i – ставка экологического налога за выбросы i -го загрязняющего вещества (ЗВ) в атмосферный воздух, EUR/т; M_i – выбросы i -го загрязняющего вещества (ЗВ) в атмосферу за отопительный сезон, т.

Отнесение загрязняющих веществ к определенным классам опасности производили в соответствии с классификатором отходов [20].

Использовался также метод оценки по приведенным затратам:

$$Z = E_n \cdot I + C, \quad (4)$$

где I – начальные инвестиции в проект системы отопления, EUR; C – текущие эксплуатационные затраты, EUR; E_n – коэффициент приведения инвестиционных вложений.

Наиболее экономичный вариант проекта выбирали исходя из условия минимума приведенных затрат:

$$Z = E_n \cdot I + C \rightarrow \min \quad (5)$$

Риски, возникающие при эксплуатации систем отопления оценивались по формуле [19]:

$$[Q] = Q \cdot w, \quad (6)$$

где Q – вероятность отказа; w – коэффициент последствия отказа (влияние).

Коэффициент последствия отказа принимали в зависимости от влияния на жизнь и здоровье жильцов, экономических потерь, последствий для окружающей среды. Вероятность отказа и коэффициент последствий отказа (влияние) определяли на основе данных статистики и экспертной оценки. Для оцифровки вероятности использована численная оценка от 1 до 3 [21].

В расчетах учтена степень влияния риска на следующие аспекты: цели, срок, бюджет и качество проекта отопления жилого дома [11, 12, 21]. Для расчета общего влияния риска на проект использована формула:

$$w = \frac{(w_1 + w_2 + w_3 + w_4)}{4}, \quad (7)$$

где w_1 – влияние на срок; w_2 – влияние на бюджет; w_3 – влияние на содержание; w_4 – влияние на качество.

Основная часть. Объектом исследования являются системы отопления индивидуальных жилых домов.

Цель работы – создание методологии, позволяющей проводить комплексную оценку проектов систем отопления индивидуальных жилых домов в Беларуси с учетом совокупных расходов, экологических последствий и рисков в долгосрочной перспективе, для последующего выбора оптимального проекта, удовлетворяющего требованиям заказчика.

Принципиальное отличие проектов систем отопления происходит в зависимости от вида потребляемого топлива [22]. Исторически формировался механизм получения тепла, приспособленный к доступным потребителю твердым видам топлива. За период развития цивилизации системы отопления прошли долгий путь эволюции от примитивного сжигания топлива в костре до систем центрального отопления. В настоящее время распространение получили системы отопления на основе возобновляемых источниках энергии [23].

В работе рассмотрены наиболее распространенные в настоящее время среди населения системы отопления на различных видах топлива [22]:

- на основе электрической энергии, марка теплогенератора WESPENEIZUNG;
- на основе природного газа, марка теплогенератора ARISTON;
- на основе твердого топлива (каменном угле, антраците, торфобрикете, дровах), марка теплогенератора Космос-10;
- с использованием городской тепловой сети;
- на основе теплового насоса, марка NI-BEBO/W45.

Выбор марок теплогенераторов обусловлен следующими факторами:

- теплогенераторы по техническим параметрам подходят для применения в жилом доме;
- рассматриваемые теплогенераторы имеют средние технические параметры;
- рассматриваемые теплогенераторы имеют средние ценовые характеристики.

Среди населения Беларуси популярны системы отопления с минимальными первоначальными вложениями в приобретение, установку и монтаж оборудования, простые в эксплуатации, не требующие устройства специального помеще-

ния под оборудование. При определении эффективности систем отопления в жилом доме необходимо учитывать все последствия их реализации, в том числе социальные и экологические. Беларусь, субсидируя внутренние цены на энергоносители, дает возможность населению использовать сравнительно недорогие энергоносители. Эта практика, усугубляемая советскими традициями, провоцирует расточительное поведение граждан-пользователей энергоресурсов. В странах ЕС исторически сложился другой уровень цен на энергоносители для пользователей. Природный газ для населения в Германии в 6,26 раза дороже по сравнению с Республикой Беларусь и в 7,35 раз дороже по сравнению с Россией, в Швеции – в 11,12 раза и 13,07 раза, соответственно [24]. Поэтому в странах ЕС распространенным методом отопления индивидуальных домов является применение тепловых насосов [9].

Тепловой насос представляет собой устройство для переноса тепловой энергии от теплоотдатчика с низкой температурой к теплоприемнику с высокой температурой [25, 26]. Базовое отличие теплового насоса от других теплогенераторов (электрических, газовых, твердотопливных и т.д.) состоит в том, что при производстве тепла до 80 процентов энергии заимствуется из окружающей среды. Наиболее популярны в настоящее время парокомпрессионные тепловые насосы с электрокомпрессором. Показатель эффективности теплового насоса зависит от температуры окружающей среды, в которую помещен испаритель, и в современных насосах достигает 6 [27], то есть при расходе 1 кВт·ч электроэнергии может быть получено до 6 кВт·ч тепловой энергии.

Для отопления современного индивидуального жилого дома с отапливаемой площадью 200 м² и эффективной теплоизоляцией необходим теплогенератор с тепловой мощностью примерно 10 кВт [28, с. 52–53]. В проведенных ранее исследованиях [7, 22] были определены количество потребленного тепла за отопительный сезон, а также количество и стоимость топлива, необходимого для отопления дома. При расчетах использовались цены, обеспечивающие полное возмещение экономически обоснованных затрат. В качестве КПД теплогенераторов были приняты данные, заявленные производителем [29]. Удельная теплота сгорания топлива и цены выбраны из источников [29–35]. Для анализа первоначальных инвестиционных расходов цены на различные виды теплогенераторов приняты на основе [29–35], стоимость монтажа, подключения и ежегодного обслуживания рассчитаны исходя из среднего уровня цен (табл. 1).

Таблица 1

Капитальные вложения при использовании различных теплогенераторов

Тип (марка) теплогенератора	Цена теплогенератора, EUR	Стоимость монтажа и подключения, EUR	Стоимость ежегодного обслуживания, EUR
WESPE HEIZUNG (электродкотел)	644,93	80,62	11,29
Ariston (газовый котел)	483,60	886,77	22,57
Космос-10 (котел на твердом топливе)	548,99	112,86	13,7
Городская теплосеть	–	967,39	8,06
NIBE BO/W45 (тепловой насос типа «грунт-вода»)	4998,18	3627,71	57,24

Если рассматривать проекты с точки зрения первоначальных затрат или в краткосрочном периоде, то тепловой насос не конкурентоспособен традиционными системами отопления, т.к. первоначальные затраты на порядок выше таких же затрат для остальных теплогенераторов.

Оценка проектов систем отопления в жилом доме с учетом остаточной стоимости оборудования в долгосрочном периоде. При определении экономической эффективности систем отопления в жилом доме должны учитываться все последствия их реализации, как непосредственно экономические, так и социальные, экологические.

В рамках исследования были оценены проекты систем отопления жилого дома с учетом стоимости оборудования, пригодного для дальнейшего использования, остающейся после 10 лет его эксплуатации. Поскольку эффективный

срок использования теплогенератора составляет 9–11 лет, то при определении эффекта от внедрения инновационной системы отопления выбран средний расчетный период 10 лет. Оценены все денежные потоки за данный промежуток времени с учетом дисконтирования [22]. Выбор варианта инвестиций в данном случае целесообразно производить по максимальному значению положительной величины дисконтированного денежного потока или минимального значения дисконтированных расходов, уменьшенных на сумму поступлений. Остаточная стоимость оборудования, определена на основе экспертной оценки по видам систем отопления и учитывается как поступление денежных средств по окончании расчетного периода.

Описание суммарных денежных потоков по проектам отопления за расчетный период представлено в таблице 2.

Таблица 2

Оценка систем отопления за расчетный период

Вид топлива, энергии	Фактические расходы, EUR/расчетный период	Фактические поступления средств (остаточная стоимость оборудования), EUR	Суммарный денежный поток, EUR
Электрическая энергия	-16968,81	20,92	-16947,89
Природный газ	-5534,92	219,03	-5315,88
Каменный уголь	-3345,63	95,57	-3250,06
Антрацит	-5081,77	95,57	-4986,2
Торфобрикет	-3595,5	95,57	-3499,93
Дрова березовые (20 % влажности)	-4092,01	95,57	-3996,44
Тепловая (городская теплосеть)	-7126,55	219,03	-6907,52
Тепловой насос	-13360,00	2080,81	-11279,19

При изучении результатов расчетов наибольшую привлекательность имеют проекты отопления на твердотопливном котле с использованием в качестве топлива каменного угля и торфобрикета. При оценке по чистой текущей стоимости (чистому дисконтированному денежному потоку с учетом фактора времени) система отопления на основе теплового насоса в 2,1 раз дороже системы отопления на природном газе. По

сравнению с вариантом проекта отопления жилого дома электродкотлом отопление тепловым насосом обойдется в 1,5 раза дешевле. Однако в этом плане тепловой насос проигрывает системам отопления твердотопливным котлом и центральному отоплению.

Оценка систем отопления с учетом экологических последствий реализации. Применение систем отопления на основе теплового насоса и электродкотлом экологически безопасно [36].

Применение традиционных для Республики Беларусь систем отопления на твердом топливе и природном газе приводит к выбросам в атмосферу загрязняющих веществ (ЗВ), которые оказывают негативное воздействие на человека [17]. В 2018 году ставка экологического налога за выбросы одной тонны ЗВ в атмосферный воздух для веществ различных классов опасности составляла [18, 19]:

– второй класс опасности ЗВ – 826,95 белорусских рублей или 333,33 EUR;

– третий класс опасности ЗВ – 273,38 белорусских рублей или 110,19 EUR;

– четвертый класс опасности ЗВ – 135,84 белорусских рублей или 54,75 EUR [37].

Указанные суммы с учетом объемов выбросов различных систем отопления в атмосферный воздух дают величину экологического ущерба. Суммы этого ущерба за отопительный сезон от выбросов ЗВ в атмосферу в зависимости от применяемой системы отопления по состоянию на 2018 г. представлены в табл. 3.

Таблица 3

Суммы экологического ущерба от выбросов ЗВ системами отопления

Вид топлива, загрязняющего вещества,	Выбросы ЗВ в атмосферу, т/г	Суммы экологического ущерба, EUR/г
Электрическая энергия	–	Не определяется
Природный газ всего, в т. ч.:		27,40
Оксид углерода (CO)	0,0920	5,04
Диксид азота (NO ₂)	0,0577	19,23
Оксид азота (NO)	0,0094	3,13
Каменный уголь всего, в т. ч.:		207,76
Оксид углерода (CO)	0,1790	9,80
Диксид азота (NO ₂)	0,0520	17,33
Оксид азота (NO)	0,0084	2,80
Оксид серы (SO ₂)	0,0023	0,25
Твердые частицы (суммарно)	1,6115	177,58
Антрацит всего, в т. ч.:		137,29
Оксид углерода (CO)	0,1790	9,80
Диксид азота (NO ₂)	0,0607	20,23
Оксид азота (NO)	0,0099	3,30
Оксид серы (SO ₂)	0,0008	0,09
Твердые частицы (суммарно)	0,9426	103,87
Торфобрикеты всего, в т. ч.:		48,68
Оксид углерода (CO)	0,1790	9,80
Диксид азота (NO ₂)	0,0309	10,30
Оксид азота (NO)	0,0050	1,66
Оксид серы (SO ₂)	0,0003	0,03
Твердые частицы (суммарно)	0,2440	26,89
Дрова березовые (20 % влажности) всего, в т. ч.:		29,40
Оксид углерода (CO)	0,1380	7,56
Диксид азота (NO ₂)	0,0387	12,9
Оксид азота (NO)	0,0063	2,10
Оксид серы (SO ₂)	0,0076	0,84
Твердые частицы (суммарно)	0,0545	6,01
Тепловая (городская теплосеть)	–	Не определяется
Тепловой насос	–	Не определяется

Максимальной величины экологический ущерб от выбросов ЗВ в атмосферу достигает при внедрении проекта отопления жилого дома на основе твердотопливного котла на каменном угле.

Проведем оценку систем отопления с учетом экологического ущерба за расчетный период – 10 лет (табл. 4). Расчеты показывают, что суммарные затраты на внедрение проекта отопления тепловым насосом, с учетом фактов наличия остаточной стоимости оборудования через 10 лет

эксплуатации и выбросов ЗВ в атмосферу соизмеримы с суммарными затратами на проект отопления жилого дома с использованием городской теплосети, и в 1,5 раза ниже затрат на реализацию проекта отопления на основе электрокотла [22].

Рейтинг систем отопления при оценке по чистому дисконтированному денежному потоку с учетом совокупных затрат представлен в таблице 5.

Таблица 4

Оценка систем отопления с учетом экологического ущерба за расчетный период

Вид топлива, энергии	Фактические расходы, EUR	Остаточная стоимость, EUR	Экологический ущерб за расчетный период, EUR	Чистый дисконтированный денежный поток, EUR
Электрическая энергия	-16968,81	20,92	-	-16947,89
Природный газ	-5534,92	219,03	-137,53	-5453,41
Каменный уголь	-3345,63	95,57	-1042,61	-4293,88
Антрацит	-5081,77	95,57	-688,98	-5675,18
Торфобрикет	-3595,5	95,57	-244,30	-3744,23
Дрова березовые	-4092,01	95,57	-147,53	-4143,98
Тепловая (городская теплосеть)	-7126,55	219,03	Не определяется	-6907,52
Тепловой насос	-13360,00	2080,81	Не определяется	-11279,19

Таблица 5

Рейтинг систем отопления при оценке по чистому дисконтированному денежному потоку с учетом совокупных затрат

Место в рейтинге	Тип (марка) теплогенератора (вид топлива)
1	Космос-10 (твердотопливный котел на торфобрикете)
2	Космос-10 (котел на твердом топливе: дрова)
3	Космос-10 (котел на твердом топливе: каменный уголь)
4	Ariston (газовый котел)
5	Космос-10 (котел на твердом топливе: антрацит)
6	Городская теплосеть
7	NIBE BO/W45 (тепловой насос типа «грунт-вода»)
8	WESPE HEIZUNG (электродкотел)

Оценка систем отопления по минимальным приведенным затратам. Несмотря на широкое распространение метода срока окупаемости в качестве метода оценки эффективности, практическое его применение связано с рядом проблем. В частности затруднено сравнение нескольких вариантов, поскольку в своей простейшей форме он позволяет сравнивать варианты только попарно. При наличии большого числа вариантов, выбранных для сравнения, необходимо ранжировать варианты в порядке роста потребных инвестиций и последовательно попарно сопоставлять варианты, что является трудоемким и выглядит для пользователя неубедительно. Авторами проведена оценка оптимальности применения систем отопления в индивидуальном жилом доме по приведенным затратам [6].

Выбор метода приведенных затрат имеет ряд преимуществ по отношению к методу срока окупаемости:

- отсутствие необходимости попарного сравнения альтернативных вариантов и, как следствие, упрощение расчетов;

- получение результативного показателя в стоимостном выражении, что позволяет более наглядно представить потребителю результат исследования;

- снижение влияния погрешности исходных данных, в результате замены отношения погрешностей суммой;

- ликвидация искажения результатов при близких в данном случае по величине показателях текущих и начальных инвестиционных затрат в случае применения метода срока окупаемости.

Кроме того метод минимальных приведенных затрат удобен при поиске оптимальных параметров, а также в случаях, когда параметры проектируемого объекта и текущие эксплуатационные затраты зависят от инвестиционных затрат, что является актуальным в данной ситуации. Результаты расчетов приведенных затрат по сравниваемым проектам систем отопления, представлены в таблице 6.

В качестве первоначальных инвестиционных затрат приняты стоимость приобретения, монтажа и подключения оборудования в действующих ценах. В качестве текущих эксплуатационных затрат приняты затраты на обслуживание и стоимость топлива, энергии на отопительный сезон. Коэффициент приведения капитальных вложений принят на уровне средней стоимости финансовых ресурсов на рынке инвестиций (10 %) [13].

Максимальные приведенные затраты возникают при использовании электродкотлов для отопления дома. Связано это в первую очередь с высоким уровнем текущих затрат на электроэнергию. Следующие строчки рейтинга занимают системы отопления на основе использования энергии из городской теплосети и на основе теплового насоса. При использовании теплового насоса приведенные затраты ниже в 1,8 раза, чем при использовании электродкотла и в 1,8 раза выше, чем при отоплении природным газом.

Таблица 6

Сравнение вариантов систем отопления по приведенным затратам

Тип (марка) теплогенератора	Первоначальные инвестиционные затраты, EUR	Годовые эксплуатационные расходы (стоимость топлива, энергии, техническое обслуживание), EUR	Приведенные затраты, EUR
WESPE HEIZUNG (электрокотел)	725,54	3236,36	3308,91
Ariston (газовый котел)	1370,47	829,74	966,78
Космос-10 (котел на твердом топливе: каменный уголь)	661,86	5347,24	600,91
Космос-10 (котел на твердом топливе: антрацит)	661,86	880,32	946,51
Космос-10 (котел на твердом топливе: торфобрикет)	661,86	584,5	650,69
Космос-10 (котел на твердом топливе: дрова)	661,86	683,46	749,65
Городская теплосеть	967,39	1227,13	1323,87
NIBE BO/W45 (тепловой насос типа «грунт-вода»)	8625,88	943,24	1805,83

Минимальный уровень приведенных затрат получен при применении отопления дома путем сжигания каменного угля или торфобрикета. Немного дороже обойдется отопление дровами. Объясняется данный факт применением сравнительно дешевого оборудования и невысокими ценами на торфобрикет и каменный уголь. Далее в рейтинге (табл. 7) следуют системы отопления на основе природного газа и антрацита. Стоимость приобретения природного газа сопоставима со стоимостью приобретения электроэнергии для привода теплового насоса, при этом первоначальные затраты на установку газового котла более чем в 6 раз ниже, чем на установку теплового насоса, что отпугивает пользователей.

Таблица 7

Рейтинг систем отопления при оценке по методу минимальных приведенных затрат

Место в рейтинге	Тип (марка) теплогенератора (вид топлива)
1	Космос-10 (котел на твердом топливе: каменный уголь)
2	Космос-10 (котел на твердом топливе: торфобрикет)
3	Космос-10 (котел на твердом топливе: дрова)
4	Космос-10 (котел на твердом топливе: антрацит)
5	Ariston (газовый котел)
6	Городская теплосеть
7	NIBE BO/W45 (тепловой насос типа «грунт-вода»)
8	WESPE HEIZUNG (электрокотел)

Если рассматривать проекты по методу приведенных затрат, то тепловой насос не может конкурировать с системами отопления на природном газе и твердом топливе. В сравнении с

центральным отоплением и, особенно отоплением электрокотлом, проект отопления тепловым насосом является эффективным. Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений в оборудование с тепловым насосом по сравнению с электрокотлом составляет 3,5 года.

Оценка рисков при выборе системы отопления. При выборе системы отопления кроме ценовых параметров важными являются надежность, безопасность эксплуатации, простота обслуживания и экологичность.

Опыт аварийных ситуаций в жилищном строительстве доказывает, что причинами аварий являются комплексное действие внешнего, непредусмотренного проектом воздействия на объект, и фактор человеческой ошибки. Авторами идентифицированы риски, возникающие при применении различных систем отопления жилых домов, соответствующие всем стадиям реализации проекта. Проведены их качественная и количественная оценки. Также разработан перечень антирисковых мероприятий.

При эксплуатации систем отопления причинами возникновения рисков являются [11, 12]:

- выбор технологий, не соответствующих фактическим условиям;
- низкая квалификация специалистов;
- погрешности в проекте системы отопления;
- просчеты при производстве работ;
- сознательные или случайные негативные действия персонала подрядчика или третьих лиц;
- отсутствие возможности наладить качественное обслуживание при эксплуатации;
- изменение цен на энергоносители;
- загрязнение окружающей среды выбросами в атмосферу.

При выборе системы отопления риски зависят от вида топлива. При применении традиционных систем отопления на основе природного газа, твердого топлива необходимо принимать в расчет вероятность повышения цен на энергоносители, высокие текущие расходы пользователя, а также высокий уровень опасности оборудования. Необходимо привлекать к работам по монтажу только специалистов с опытом работ, а при эксплуатации соблюдать осторожность и вовремя выполнять работы по обслуживанию систем. Кроме того при применении системы отопления на основе твердого топлива необходимо принимать в расчет загрязнение окружающей среды выбросами в атмосферу [12]. Результаты расчетов представлены в таблице 8.

В целях повышения безопасности и эффективной эксплуатации систем отопления разработан перечень антирисковых мероприятий [11, 12].

- изучение текущей ситуации и возможностей возникновения аварийных ситуаций;
- выбор решений, гарантирующих надежность работы системы;
- постоянный систематичный контроль состояния инженерных коммуникаций;
- разработка комплекса антитеррористических мероприятий;
- выбор конструктивных решений, обеспечивающих минимальные совокупные затраты при эксплуатации жилого дома в долгосрочном периоде;
- своевременное устранение последствий и причин возникновения аварий, вместе с минимизацией ущерба;
- выбор современных конструктивных решений обеспечивающих экологическую эффективность проекта реконструкции жилого дома;
- внедрение системы управления проектами в подрядных организациях;
- переход на проектно-ориентированное управление в эксплуатирующих организациях;
- привлечение частных и институциональных инвесторов, привлечение научных кадров для проведения работ по повышению эффективности антирисковых мероприятий;
- разработка и внедрение эффективных энергосберегающих технологий, экологических решений (таких, как тепловой насос) при строительстве и реконструкции жилых домов.
- страхование рисков путем заключения со страховым акционерным обществом полисов страхования.

Описание разработанной методологии. Разработанная методология оценки эффективности различных систем отопления индивидуальных

жилых домов с учетом экологичности проектов [37] включает четыре этапа.

Первый этап – выявление имеющихся традиционных и потенциально-возможных инновационных технологий отопления жилого дома, с учетом различных групп факторов.

Таблица 8

Сравнительный рейтинг важности рисков различных систем отопления

Место в рейтинге	Тип (марка) теплогенератора (вид топлива)	Интегральная оценка важности риска
1	NIBE BO/W45 (тепловой насос типа «грунт-вода»)	19
2	Космос-10 (котел на твердом топливе: торфобрикет, дрова)	21
2	Городская теплосеть	21
3	Ariston (газовый котел)	23
4	Космос-10 (котел на твердом топливе: кам. уголь, антрацит)	27
4	WESPE HEIZUNG (электрокотел)	27

Второй этап – качественная и количественная оценка факторов. Для качественной оценки влияния каждой группы факторов использован экспертный метод. Количественная оценка определялась как сумма совокупной экономии на всех этапах реализации проекта, а также экологического эффекта. При определении эффекта от внедрения инновационной системы отопления выбран период планирования 10 лет и оценены все доходы и расходы. При этом осуществлялось дисконтирование денежных потоков.

Третий этап – оценка проектов по минимальным приведенным затратам.

Четвертый этап – оценка рисков применения систем отопления жилых домов, соответствующих всем этапам жизненного цикла проекта и разработка перечня антирисковых мероприятий [11].

Разработанная методология позволяет минимизировать экономические издержки на протяжении жизненного цикла проекта, уменьшить нагрузку на окружающую среду и снизить риски.

Выводы. Наличие эффективной системы отопления в жилом доме в условиях продолжительного холодного периода в Беларуси является неременным требованием для обеспечения нормального процесса жизнедеятельности. Необходимо рассматривать проекты систем отопления в жилом доме всесторонне в долгосрочной перспективе с учетом всех доходов и расходов. В

условиях постоянного повышения цен на энерго-ресурсы и перехода на полное возмещение затрат за отопление решающим фактором оценки становится величина текущих расходов [38]. При этом нельзя пренебрегать вопросами экологичности, безопасности проектов, так как здесь цена ошибки очень велика [39, 40]. Внедрение в сознание граждан экологической ответственности диктуется современными требованиями. Седьмая цель устойчивого развития на период до 2030 года, определенная на Саммите ООН 2015 года в Нью-Йорке гласит: «Обеспечение всеобщего доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех, предполагает развитие применения возобновляемых источников энергии, в частности в жилищном строительстве» [2]. Применение нетрадиционных систем отопления на основе теплового насоса способствует выполнению данной цели [41].

Повышение энергетической эффективности страны – важная современная задача. Решать ее необходимо комплексно на государственном уровне и на уровне отдельных потребителей. Экономия энергии на внутреннем рынке, путем применения энергосберегающих экологически чистых систем отопления в жилых домах, будет содействовать повышению энергетической безопасности страны и экономии средств населения в условиях постоянного роста тарифов на электрическую энергию и цен на традиционные энергоносители (природный газ, уголь, дрова). С экологической точки зрения массовое использование систем отопления тепловыми насосами позволит уменьшить объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Природно-климатические и экономические условия Беларуси и России имеют общие черты. Поэтому данная методология может применяться и для выбора проекта системы отопления в России. Разработанная методология позволяет провести оценку систем отопления при изменении цен на энергоносители и другие ресурсы, используемые в расчетах, минимизируя экономические издержки на протяжении жизненного цикла проекта, позволяет уменьшить нагрузку на окружающую среду и снизить риски реализации проекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кадочкин А.Н. Нетрадиционные возобновляемые источники / Теория и практика технических, организационно-технологических и экономических решений: сб. научных трудов // Иваново: Изд-во Ивановский государственный политехнический университет, 2018. С. 147–152.
2. ООН: Цели в области устойчивого развития. [Электронный ресурс]. – Систем. требования: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/issues/people/energy/> Дата обращения: 28.11.2018.
3. Закон Республики Беларусь «Об энергосбережении» (8 января 2015 г. № 239-3). Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь, 11.01.2015, 2/2237.
4. Государственная программа «Энергосбережение» на 2016 – 2020 годы (28 марта 2016 г. № 248). В ред. Пост. Сов. Мин. Респ. Беларусь от 26 декабря 2017 г. № 1002. Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь, 30.12.2017, 5/44611.
5. Попова А.К. Экостроительство и экодом – основные понятия и современное восприятие нового типа жилья // *Colloquium-journal*. 2018. Т. 1. №6 (17). С. 4–7.
6. Лобикова О.М., Лобикова Н.В. Инвестиционная привлекательность нетрадиционных систем отопления для населения как составляющая энергетической безопасности страны / Информационное обеспечение устойчивого развития экономики: материалы междунар. науч. конф. молодых ученых и преподавателей вузов // сост. Ю.И. Сигидов, Н.С. Власова, Г.Н. Ясменко, В. В. Башкатов. Краснодар: Изд-во КубГАУ, 2018. С. 235–242.
7. Лобикова Н.В., Галюжин А.С., Лобикова О.М., Галюжин С.Д. Экологическая целесообразность применения тепловых насосов для отопления индивидуальных жилых домов в Беларуси // *Вестник Белорусско-Российского университета*. 2018. № 2 (59). С. 33–44.
8. Подкорытов Е.В., Минин А.А., Матрунчик А.С. Экономическая выгода мероприятий для повышения энергоэффективности многоквартирных жилых домов // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура*. 2018. Т. 9 №3. С. 88–98.
9. Тепловые насосы: статистика использования в Европе и мире. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://econet.ru/articles>. (дата обращения: 10.11.2018).
10. Правила по разработке бизнес-планов инвестиционных проектов (в ред. постановлений Минэкономики от 07.12.2007 № 214, от 29.02.2012 № 15) Утв. Пост. Мин. экономики Республики Беларусь 31.08.2005 № 158.
11. Лобикова Н.В., Лобикова О.М. Риски при выборе системы отопления в индивидуальных жилых домах // *Сборник материалов Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова*, 21 - 25

мая Белгород 2018 г. [Электронный ресурс]. Систем. требования: http://www.bstu.ru/about/press_center/news/55457/opublikovan-sbornik-statey-molodih-uchenih-bgtu-im.v.g.shuhova. (дата обращения: 12.12.2018)

12. Лобикова Н.В., Лобикова О.М. Управление рисками при реконструкции жилых домов с учетом современных требований энергоэффективности: проблемы и практика решения / Общество. Экономика. Культура: актуальные проблемы, практика решения: сборник научных статей / VIII Международная научно-практическая конференция. // Барнаул: Изд.-во Санкт-Петербургского университета технологий управления и экономики, 2018. С.160–165.

13. Динамика ставок кредитно-депозитного рынка. [Электронный ресурс]. Систем. требования: <https://www.nbrb.by/statistics/CreditDepositMarketRates/> (дата обращения: 28.09.2018).

14. Соколовская Е.А. Расчет и обоснование ставки дисконтирования методом WACC / Планово-экономический отдел № 12 (162), 2016 г. [Электронный ресурс]. Систем. требования: https://peomag.by/number/2016/12/Raschet_i_obosnovanie_stavki_diskontirovaniya_metodom_WACC/ (дата обращения : 25.11.2018).

15. ТКП 17.08.01-2006 (02120) Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Порядок определения выбросов при сжигании топлива в котлах теплопроизводительностью до 25 МВт (с изм. и доп.) (в ред. Пост. Минприроды Респ. Беларусь от 12 февраля 2009 г. № 2-Т): Минск. Минприроды. 47с.

16. СТБ 17.08.05-02-2016 Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосферный воздух. Методы определения скорости и расхода газов, поступающих в атмосферный воздух от стационарных источников выбросов. [Электронный ресурс]. Систем. требования: <https://energodoc.by/document/view?id=2941> / (дата обращения: 28.09.2018).

17. Санитарные нормы и правила «Требования к обращению с отходами производства и потребления», утв. Пост. Минздрава Республики Беларусь 30.12.2016 № 143. [Электронный ресурс]. Систем. требования: <http://minzdrav.gov.by/ru/dlya-spetsialistov/normativno-pravovaya-baza/tekhnicheskie>. (дата обращения: 28.10.2018).

18. Налоговый кодекс Республики Беларусь (особенная часть) в ред. Закон Республики Беларусь от 9 января 2017 г. № 15-3 (Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь, 12.01.2017,

2/2453) N11700015 / [Электронный ресурс]. Систем. требования: <http://etalonline.by/?type=text®num=Nk0900071/> (дата обращения: 28.10.2018).

19. Указ Президента Республики Беларусь №29 от 25 января 2018 г. О налогообложении [Электронный ресурс]. Систем. требования: <http://president.gov.by/uploads/documents/2018/29uk.pdf/> (дата обращения: 28.10.2018).

20. Об утверждении классификатора отходов, образующихся в Республике Беларусь. Пост. Мин. природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь 8 ноября 2007 г. № 85 в ред. Пост. Мин. природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 7 марта 2012 г. № 8 (Нац.реестре – № 8/25211 от 02.04.2012 г.) [Электронный ресурс] Систем. требования: <https://otxody.by/klassifikator/> (дата обращения: 29.10.2018).

21. Филюшина К.Э., Минаев Н.Н., Гусакова Н.В. Добрынина О.И. Управление рисками при реализации малоэтажных проектов в строительстве // Вопросы управления. 2017. №1 (44). С. 172–182.

22. Лобикова Н.В., Лобикова О.М., Галужин С.Д. Эффективность различных систем отопления индивидуальных жилых домов с учетом экологичности проектов // Вестник Белорусско-Российского университета. 2018. № 4 (61). С. 120–130.

23. Exergetic and thermo-ecological assessment of heat pump supported by electricity from renewable sources Stanek W., Simla T., Gazda W. Renewable Energy. 2019. Т. 131. С. 404–412.

24. Рейтинг стран Европы по стоимости природного газа для населения [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://riarating.ru/countries/20170608/630064777.html>. (дата обращения: 21.02.2018).

25. Большая советская энциклопедия: [в 30 т.]. Гл. ред. А. М. Прохоров. 3-е изд. Т. 25. М.: Советская энциклопедия, 1976. С.448.

26. Мацевитый Ю.М., Чиркин Н.Б. Об использовании тепловых насосов в мире и что тормозит их широкомасштабное внедрение // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2014. № 2. С. 2–17.

27. Васильев Г.П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев Земли. М.: Изд-во Граница, 2006. 176 с.

28. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача: учеб. пособие для вузов. М.: Высш.шк., 1975. 469с.

29. Электрические котлы WESPE HEI-ZUNG (Германия). [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL:<http://rubikont.by/elektricheskiye-kotly?uclid>. (дата обращения: 14.02.2018).

30. Физико-химические свойства природного газа. Добыча и применение природного газа. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL:<http://fb.ru/article/199563/fiziko-himicheskie-svoystva-prirodnogo-gaza>. (дата обращения: 15.02.2018).

31. Уголь каменный: свойства, происхождение, добыча, цена. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL:<http://fb.ru/article/166986/ugol-kamennyiy-svoystva-kamennyiy-ugol-proishojdenie-tsena>. (дата обращения: 15.02.2018).

32. Котлы для отопления дома на угле. [Электронный ресурс]. Систем. требования: <http://climanova.ru/kotly-otopleniya-dlya-doma-na-ugle.html>. (дата обращения: 16.02.2018).

33. Теплотворность древесины – таблица теплоты сгорания дров: [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL:<http://kotlobzor.ru/teplotadrov>. (дата обращения: 11.09.2018).

34. Теплотворная способность различных видов топлива: дрова, уголь, пеллеты, брикеты [Электронный ресурс]. Систем. требования: <http://pechnoedelo.com/toplivo/teplotvornaya>. (дата обращения: 16.02.2018).

35. Тепловые насосы – вид оборудования, созданный для комфорта: [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL:<https://obogreem.by/catalog/teplovye-nasosy>. (дата обращения: 16.02.2018).

36. Никитин А.А., Крылов В.А., Рябова Т.В., Василенок А.В. Экономические и экологические аспекты использования геотермальных

технологий в народном хозяйстве // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2015. №2. С.348–357.

37. Лобикова Н.В., Лобикова О.М., Галюжин С.Д. Методический подход к оценке инновационных систем отопления в жилом доме / Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: Материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых. ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», 2018. С. 138.

38. Chicherin S. Low-temperature district heating distributed from transmission distribution junctions to users: energy and environmental modelling. // В сб.: Energy Procedia Ser. "International Scientific Conference «Environmental and Climate Technologies», CONECT 2018" 2018. С. 382–389.

39. Показатели энергоэффективности: основы формирования политики. International Energy Agency, OECD/IEA, 2014. [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Essentials_RU_final_FULL.PDF. (дата обращения: 16.12.2018).

40. Показатели энергоэффективности: основы статистики. International Energy Agency, OECD/IEA, 2014. [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <https://www.iea.org/media/training/eeu-ukraine2015/EEIrussianversion.PDF>. (дата обращения: 16.02.2018).

41. Moia-Pol A., Nazmitdinov R., Morzhukhin A. Analysis of heat pump market in Russia. Prospects of application of combined system for small buildings. // V sb. Refrigeration Science and Technology 13. Ser. «13th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants: Natural Refrigerant Solutions for Warm Climate Countries, Proceedings» 2018. С. 1111–1116.

Информация об авторах

Галюжин Сергей Данилович, кандидат технических наук, доцент, действительный член Белорусской инженерной академии, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности». E-mail: serg.galujin@yandex.ru. Белорусско-Российский университет. Республика Беларусь, 212000г. Могилев, проспект Мира, д. 43

Лобикова Надежда Васильевна, магистрант, кафедра «Промышленное и гражданское строительство». E-mail: nadya.lobickova@yandex.ru. Белорусско-Российский университет. Республика Беларусь, 212000, г. Могилев, проспект Мира, д. 43

Лобикова Ольга Михайловна, старший преподаватель кафедры «Промышленное и гражданское строительство». E-mail: olg.lobikova@yandex.ru. Белорусско-Российский университет. Республика Беларусь, 212000, г. Могилев, проспект Мира, д. 43

Поступила в январе 2019 г.

© Галюжин С.Д., Лобикова Н.В., Лобикова О.М., 2019

¹Galyuzhin S.D., ¹Lobikava N.V., ^{1,*}Lobikava O.M.¹Belarusian-Russian University

Republic of Belarus, 212000, Mogilev, Mira Ave, 43

*E-mail:olg.lobikova@yandex.ru

METHODOLOGY FOR EVALUATING THE PROJECTS OF HEATING SYSTEMS FOR INDIVIDUAL RESIDENTIAL HOUSES

Abstract. Studies on feasibility of using in the construction of individual houses the common projects of heating systems for various types of fuel and an innovative heating system based on a heat pump are given. The projects of heating systems in residential house are considered comprehensively taking into account all direct, associated incomes and expenses of the project. An assessment of the environmental projects are carried out, the environmental damage from the emissions of pollutants into the atmosphere is calculated. Identification, quantitative and qualitative risk assessment of heating systems throughout the project life cycle is made. A list of anti-risk measures has been developed. They give a guarantee of safe and efficient operation of heating systems. The prospects for the use of heat pumps for residential houses are shown. It is established that the use of unconventional heating systems based on a heat pump contribute the task of ensuring universal access to modern energy sources. A methodology has been produced that allows to select a heating system project with minimal total costs in the long term, to reduce the environmental load by reducing emissions of pollutants into the atmosphere and to reduce the risks of project implementation.

Keywords: heating system, residential building, energy efficiency, energy saving, renewable energy sources, heat pump.

REFERENCE

1. Kadochkin A.N. Non-traditional renewable sources. Theory and practice of technical, organizational, technological and economic decisions: Coll. scientific papers. Ivanovo: Publishing house of Ivanovo State Polytechnic University, 2018. pp. 147–152.
2. UN: Sustainable Development Goals. Available at: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/en/issues/people/energy/> (accessed 11.28.2018).
3. The Law of the Republic of Belarus «On Energy Saving» (January 8, 2015 No. 239-3). Nat legal Internet portal Rep. Belarus 11.01.2015, 2/2237.
4. The State Program «Energy Saving» for 2016–2020 (March 28, 2016 No. 248). Ed. Fast. Ow. Min Rep. Belarus of December 26, 2017, No. 1002. Nat. legal Internet portal Rep. Belarus, 30.12.2017, 5/44611.
5. Popova A.K. Eco-building and eco-house - basic concepts and modern perception of a new type of housing. Colloquium-journal, 2018, vol.1, no.6 (17), pp. 4–7.
6. Lobikova O.M., Lobikova N.V. Investment attractiveness of non-traditional heating systems for the population as a component of the country's energy security. Information support for sustainable economic development: materials of the international. scientific conf. young scientists and university professors. comp. Yu.I. Sigidov, N.S. Vlasov, G. N. Yasmenko, V.V. Bashkatov. Krasnodar: Publishing house KubGAU, 2018, pp. 235–242.
7. Lobikova N.V., Galyuzhin A.S., Lobikova O.M., Galyuzhin S.D. Ecological expediency of using heat pumps for heating individual houses in Belarus. Bulletin of the Belarusian-Russian University, 2018, no. 2 (59), pp. 33–44.
8. Podkorytov E.V., Minin A.A., Matrunchik A.S. The economic benefits of measures to improve the energy efficiency of apartment buildings. Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Construction and architecture, 2018, vol. 9, no. 3, pp. 88–98.
9. Heat pumps: usage statistics in Europe and the world. Available at: <https://econet.ru/articles>. (accessed: 10.11.2018).
10. Rules for the development of business plans for investment projects (as amended by the Ministry of Economy Decree dated December 7, 2007, no. 214, dated February 29, 2012 no. 15) Approved. Fast. Min of Economy of the Republic of Belarus, 31.08.2005 no. 158.
11. Lobikova N.V., Lobikova O.M. Risks when choosing a heating system in individual residential houses. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference of Young Scientists of BSTU. V. G. Shukhov, May 21–25 Belgorod, 2018. Available at: http://www.bstu.ru/about/press_center/news/55457/opublikovan-sbornik-statey-molodih-uchenih-bgtu-im.v.g.shuhova. (accessed: 12.12.2018)
12. Lobikova N.V., Lobikova O.M. Risk management in the reconstruction of residential buildings with current energy efficiency requirements: problems and solution practice. Society. Economy. Culture: actual problems, solution practice: collection of scientific articles. VIII International Scientific and

Practical Conference. Barnaul: Edition of the St. Petersburg University of Management and Economics of Technologies, 2018, pp.160–165.

13. The dynamics of the rates of the loan and deposit market. Available at: <https://www.nbrb.by/statistics/CreditDepositMarketRates/> (appeal date: 09.28.2018).

14. Sokolovskaya E.A. Calculation and justification of the discount rate using the WACC method / Economic Planning Department no. 12 (162), 2016. Available at: https://peomag.by/number/2016/12/Raschet_i_obosnovanie_stavki_diskontirovaniya_metodom_WACC/ (accessed: 25.11.2018).

15. TCP 17.08.01-2006 (02120) Environmental protection and environmental management. Atmosphere. Emissions of pollutants into the air. The procedure for determining emissions from fuel combustion in boilers with a heating capacity of up to 25 MW (as amended and added). (As amended. Permanent Ministry of Environment of the Republic of Belarus of February 12, 2009 No. 2-T): Minsk. Ministry of Environment. 47 p.

16. STB 17.08.05-02-2016 Environmental protection and environmental management. Atmospheric air. Methods for determining the velocity and flow of gases entering the air from stationary sources of emissions. Available at: <https://energodoc.by/document/view?id=2941> / (accessed: 09.28.2018).

17. Sanitary norms and rules «Requirements for the treatment of production and consumption wastes», approved. Fast. Ministry of Health of the Republic of Belarus December 30, 2016 no. 143. Available at: <http://minzdrav.gov.by/ru/dlya-spetsialistov/normativno-pravovaya-baza/tehnicheskie/> (accessed: 10.28.2018).

18. Tax Code of the Republic of Belarus (special part) in red. Law of the Republic of Belarus of January 9, 2017 No. 15-3 (National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus, January 12, 2017, 2/2453) H11700015 / Available at: <http://etalonline.by/?type=text®num=Hk0900071> / (accessed: 10.28.2018).

19. Decree of the President of the Republic of Belarus No. 29 of January 25, 2018. On taxation. Available at: <http://president.gov.by/uploads/documents/2018/29uk.pdf/> (accessed: 10.28.2018).

20. On approval of the classifier of wastes generated in the Republic of Belarus. Fast. Min natural resources and environmental protection resp. Belarus November 8, 2007, № 85 ed. Fast. Min natural resources and environmental protection resp. Belarus of March 7, 2012, no. 8 (National Register - no. 8/25211 of April 2, 2012) Available at: <https://otxody.by/klassifikator/> (accessed: 10.29.2018).

21. Filyushina K.E., Minaev N.N., Gusakova N.V. Dobrynina O.I. Risk management in the implementation of low-rise projects in construction. Management issues, 2017, no. 1 (44), pp. 172–182.

22. Lobikova N.V., Lobikova O.M., Galyuzhin S.D. Efficiency of various heating systems of individual residential houses, taking into account environmental projects. Bulletin of the Belarusian-Russian University, 2018, no. 4 (61), pp. 120–130.

23. Electric heating and heat pump, renewable sources by Stanek W., Simla T., Gazda W. Renewable Energy, 2019, vol. 131, pp. 404–412.

24. Rating of European countries by the cost of natural gas for the population. Available at: <http://ri-arating.ru/countries/20170608/630064777.html>. (accessed: 02.21.2018).

25. Great Soviet Encyclopedia: [in 30 tons] / ch. red.A. M. Prokhorov. 3rd ed. T. 25. M.: Soviet Encyclopedia, 1976, 448 p.

26. Matsevity Yu.M., Chirkin NB On the use of heat pumps in the world and what hampers their large-scale implementation. Energy Saving. Energy. Energy audit, 2014, № 2, pp. 2–17.

27. Vasiliev, G.P. Cooling of buildings and structures using low-grade thermal energy of the surface layers of the Earth. M.: Publishing House Border. 2006, 176 p.

28. Nashchokin V.V. Technical thermodynamics and heat transfer: studies. allowance for universities. M.: Higher School. 1975, 469 p.

29. Electric boilers WESPE HEIZUNG (Germany). Available at: <http://rubikont.by/elektricheskiye-kotly?Yclid/> (accessed: 02.14.2018).

30. Physical and chemical properties of natural gas. Extraction and use of natural gas. Available at: <http://fb.ru/article/199563/fiziko-himicheskie-svoystva-prirodnogo-gaza>. (the date of circulation: 02/15/2018).

31. Coal stone: properties, origin, production, price. Available at: <http://fb.ru/article/166986/ugol-kamennyiy-svoystva-kamennyiy-ugol-proishozhdenie-tsena>. (accessed: 02.15.2018).

32. Boilers for heating a house on coal. Available at: <http://climanova.ru/kotly-otopleniya-dlya-doma-na-ugle.html>. (accessed: 02.16.2018).

33. Wood calorific value - table of heat of combustion of wood: Available at: <http://kotlobzor.ru/teplotadrov>. (accessed: 11.09.2018).

34. Calorific value of various types of fuel: firewood, coal, pellets, briquettes. Available at: <http://pechnoedelo.com/toplivo/teplotvornaya>. (accessed: 16.02.2018).

35. Heat pumps - a type of equipment designed for comfort: Available at: <https://obogreem.by/catalog/teplovye-nasosy>. (accessed: 16.02.2018).

36. Nikitin A.A., Krylov V.A., Ryabova T.V., Vasilenok A.V. Economic and environmental aspects of using geothermal technologies in the national economy. Scientific journal NRU ITMO. Series: Economics and Environmental Management, 2015, no. 2, pp. 348–357.

37. Lobikova N.V., Lobikova O.M., Galyuzhin S.D. Methodical Approach to the Evaluation of Innovative Heating Systems in a Residential Buildin. New Materials, Equipment and Technologies in Industry: Materials of the International Scientific and Technical Conference of Young Scientists, Belarusian State University Belarusian-Russian University, 2018, p. 138.

38. Chicherin S. Low-temperature heating and environmental modeling. In Sat: Energy Procedures Ser. «International Scientific Conference «Environmental and Climate Technologies», CONECT 2018» 2018, pp. 382–389.

39. Energy Efficiency Indicators: A Policy Framework. International Energy Agency, OECD / IEA, 2014. Available at: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Essentials_EN_final_FULL.PDF. (accessed: 12.16.2018).

40. Energy Efficiency Indicators: The Basics of Statistics. International Energy Agency, OECD / IEA, 2014. Available at: <https://www.iea.org/media/training/eeukraine2015/EEIrussianversion.PDF>. (accessed: 16.02.2018).

41. Moia-Pol A., Nazmitdinov R., Morzhukhin A. Analysis of heat pump market in Russia. Prospects of application of combined system for small buildings. V sb. Refrigeration Science and Technology 13. Ser. «13th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants: Natural Refrigerant Solutions for Warm Climate Countries, Proceedings» 2018. pp. 1111–1116.

Information about the authors

Galyuzhin, Sergey D. PhD, Assistant professor, Member of Belarusian Academy of Natural Science, Associate Professor of the Department «Life Safety». Belarusian-Russian University. Republic of Belarus, 212000, Mogilev, Mira Ave, 43.

Lobikava, Nadzeya V. Master student. E-mail: nadya.lobickova@yandex.ru. Belarusian-Russian University. Republic of Belarus, 212000, Mogilev, Mira Ave, 43.

Lobikava, Olga M. Senior Lecturer. E-mail: olg.lobikova@yandex.ru. Belarusian-Russian University. Republic of Belarus, 212000, Mogilev, Mira Ave, 43.

Received in January 2019

Для цитирования:

Галюжин С.Д., Лобикова Н.В., Лобикова О.М. Методология оценки проектов систем отопления индивидуальных жилых домов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №2. С. 88–101. DOI: 10.12737/article_5c73fc1d3898a0.66784644

For citation:

Galyuzhin S.D., Lobikava N.V., Lobikava O.M. Methodology for evaluating the projects of heating systems for individual residential houses. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 2, pp. 88–101. DOI: 10.12737/article_5c73fc1d3898a0.66784644

DOI: 10.12737/article_5c73fc201fde40.25728218

¹*Касенкова Я.А., ¹Ладик Е.И.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

*E-mail: yana_kasenkova@mail.ru

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ТРАНСФОРМАЦИИ ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ МАЛЫХ ГОРОДОВ РФ НА ПРИМЕРЕ Г. ВАЛУЙКИ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. Качественные характеристики архитектурно-пространственной среды в многом диктуют образ жизни населения, затрагивают как реальное поведение людей, так и уровень сознания, определяют установки и ценностные ориентации. Целью работы является выявление основных проблем городских архитектурных пространств малых городов, которые в последующем играют важную роль для повышения качества жизни и поиск перспективных методов их архитектурной трансформации, применимых для малых городов РФ на примере г. Валуйки. На основе опроса местных жителей об уровне комфорта архитектурной среды и анализа городских пространств определены приоритеты времяпрепровождения населения, а также рассмотрены виды структурирования городских архитектурных пространств. Пространства, получившие низкую оценку уровня комфорта, тщательно проанализированы, выявлены основные проблемы, препятствующие развитию городских территорий. На основе мирового опыта предложены следующие методы трансформации городских архитектурных пространств: «обновление», «приоритет», «устранение», «внедрение». Фактор комфортности среды должен быть признан решающим в организации городской среды, так как без него невозможно её архитектурное формирование. Как показывает практика, создание общественного пространства не ограничивается временными интервалами – оно развивается постоянно, требуя каждодневных изменений. Именно поэтому поиск и совершенствование научно-разработанных методов трансформации сложившихся общественных пространств в структуре городской застройки является актуальным направлением.

Ключевые слова: городские пространства, средовое формирование, трансформация городского пространства, средовая обстановка, архитектурное воспитание, плейсмейкинг, комфорт, урбанизированность.

Введение. Общественные территории в процессе эволюции фактически подтверждают, что общественным пространством прежде всего считается место в городе, улица или площадь, где сосредоточена общественная жизнь городского населения. Под предметно-пространственной средой понимается окружение, совокупность природных и искусственных пространств и их постоянное наполнение, находящиеся в регулярном взаимодействии с человеком и изменяемое в процессе жизнедеятельности. Изучением городских пространств, их структур и методов трансформации занимались такие зарубежные теоретики как Джей Джекобс, одна из основоположников движения нового урбанизма, Рем Колхас, Ян Гейл, и др. Из отечественных урбанистов, которые внесли вклад в теорию городских архитектурных пространств, следует отметить А. Высоковского, он первый начал в конце 80-х – начале 90-х гг. XX века развивать в России принципы правового зонирования, также следует отметить труды Л. Когана, В. Глазычева и др. В настоящее время о возможных вариантах трансформации общественных пространств интенсивно говорят специалисты компании КБ «Стрелка», которая основывается на течении новый урбанизм.

Городское архитектурное пространство – это социально- и функционально- значимые участки города, вычлененные при помощи зданий, сооружений и ландшафта, которые выполняют специфические градообразующие функции, способствуют улучшению санитарно-гигиенического режима города (аэрация, инсоляция) и являются источниками формирования эмоционально-художественного климата городских территорий. К этой категории градостроительной составляющей относятся: парки, скверы, площади, места для гуляния, улицы, аллеи, крытые переходы, аркады, пассажи и т.п. Городские пространства являются искусственно созданной средой, которую человек формирует в соответствии с особенностями разнообразных процессов своей жизнедеятельности.

Однообразие современной массовой застройки во многом связано с отсутствием в городской среде подобных пространств. Свободные пространства в структуре города, зачастую являются не воплощением проектного решения архитекторов и дизайнеров, а случайным элементом, стихийно возникшим в городской среде. Общественному пространству присущи свои особые функции:

- социальная – через взаимодействие людей друг с другом и властью;
- рекреационная – место для проведения досуга;
- познавательная – выступает в качестве инструмента сохранения историко-культурных и национальных ансамблей [1].

Зачастую эти функции теряют свою роль, если жизнь города тщательно не продумана и не организована. Изменение общественных пространств, то есть изменение площадей, улиц и прочего происходит непрерывно и является одними из основных процессов в урбосреде. Оно возникает как от смены предпочтений в обществе, так и от недостатка внимания по отношению к общественному достоянию. Общественные владения должны быть большим, чем просто пространство, оставшееся среди зданий и сооружений, стать неотъемлемым компонентом урбосреды, спроектированным «по последнему слову», который связывает прошлое и будущее города. Именно это порождает у обитателей пространств чувство причастности его всему обществу. Чем выше степень урбанизированности городской среды, тем большими навыками городского образа жизни владеет горожанин и тем выше его требования к среде; это доказано результатами многократных исследований [2].

Методология. При проведении исследования использовались методы социологического опроса об уровне комфорта городских пространств, анализ зарубежного и отечественного опыта реорганизации городских пространств, метод моделирования и структурный анализ.

Основная часть. Сегодня общественные пространства становятся основной средой обитания жителей города, «третьим местом», где они проводят время между работой и домом. Это одновременно и территория общения, и зона отдыха, и место переговоров, экспозиций. Понятие

«третье место» используется в литературе в качестве синонима общественного или публичного пространства. В настоящее время во многих городах РФ имеют место проблемы устаревания, деградации общественных пространств, особенно это касается малых городов. В этой связи необходимы поиски научно-обоснованных методов трансформации некомфортных устаревших пространств в структуре сложившейся городской застройки. Рассмотрим данную проблему на примере малого города Валуйки Белгородской области. Валуйки самый южный город Белгородской области (152 км к юго-востоку от Белгорода) основан в 1593 году, как оборонительная крепость на границе Московского государства. В настоящее время является административным центром Валуйского района. Расположен город на высоком правом берегу реки Валуй, в 15 км от границы с Украиной.

Междисциплинарный подход, основанный на анализе социальных факторов развития территорий, географических особенностей и градостроительном регулировании развитием территории города и пригородов и их застройку позволит обеспечить устойчивое развитие, сформировать принципы градостроительного развития территорий и взаимоувязать структурно-пространственные и социальные факторы [3]. С целью выявления основных проблем формирования комфортной среды в г. Валуйки авторами был проведен опрос местных жителей. Общественные пространства были классифицированы по признаку их масштаба, начиная от малых пространств, представленных дворовыми территориями до площадей и скверов районного и городского значения. В результате опроса и анализа городских пространств г. Валуйки выявлены основные проблемы, снижающие комфортность общественных городских пространств и их перспективное развитие. Полученные информационные данные сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты анализа городских архитектурных пространств г. Валуйки

№	Элемент городского пространства	Выявленные проблемы	Перспективное развитие
1	Двор	<ul style="list-style-type: none"> - узкие пешеходные дорожки; - элементы детской площадки имеют недостаточный эстетический облик и низкий уровень безопасности; - отсутствует зонирование дворовой территории: нет конструктивно выделенной зоны для детей, подростков, зоны для взрослых и для людей пожилого возраста; - многие жильцы отмечают, что количество пользователей двора сократилось из-за того, что отсутствуют спортивные снаряды; 	<ul style="list-style-type: none"> - размещение во дворе безопасной парковки для велосипедистов; - организация спортивной площадки; - увеличение парковочных мест; - реорганизация детских игровых площадок; - проектирование пандусов и других элементов для маломобильных групп населения;

		<ul style="list-style-type: none"> - недостаточный уровень освещенности территории, что заметно снижает уровень безопасности в темное время суток; - места для сидения недостаточно вместительные и небезопасные; - низкий процент озеленения дворовой территории; - подтопление дворовой территории; - проблемы пешеходной доступности во дворе, подходы к подъездам и тротуары используются в качестве парковок для автомобилей; - отсутствие элементов для маломобильных групп населения; - во дворе сложно ориентироваться, так как много однотипных элементов; - фасады жилых домов имеют недостаточно эстетический архитектурный облик; - из-за некачественного средового формирования развивается девиантное поведение 	
2	Улица	<ul style="list-style-type: none"> - отсутствие велосипедных дорожек; - небезопасное пересечение проезжей части пешеходами; - низкий уровень качества асфальтного покрытия; - дефицит парковочных мест вблизи часто посещаемых объектов; - недостаток пешеходного пространства за счет расширения дорожных полос; - недостаточно эстетический архитектурный облик зданий и сооружений; - недостаточный уровень озеленения. 	<ul style="list-style-type: none"> - повышение уровня безопасности; - обновление архитектурного облика зданий; - увеличение парковочных мест; - повышение уровня озеленения; - расширение пешеходных зон;
3	Площадь (на примере Привокзальной площади)	<ul style="list-style-type: none"> - большая часть площади отдана под парковочные места для автомобилей; - затруднено движение пешеходов; - загрязненная экологическая составляющая из-за нерационального размещения парковок для автомобилей; - недостаточный уровень благоустройства; - неэффективное устранение загрязнений твердых бытовых отходов. 	<ul style="list-style-type: none"> - формирование рациональной и безопасной пешеходной сети; - увеличение доли озелененных пространств; - рационализация движения автомобилей и парковочных мест;
4	Парк/сквер	<ul style="list-style-type: none"> - нерациональная трассировка пешеходных путей в структуре зеленой зоны; - низкое качество освещения; - отсутствие трасс велодвижения; - недостаточное количество мест для сидения; - низкое функциональное разнообразие; - подтопляемость территории; - недостаточно развитый зеленый каркас территории; - может низкое качество тротуарного мощения; - наличие неорганизованных парковочных мест на территории парка/сквера; - из-за некачественного средового формирования развивается девиантное поведение 	<ul style="list-style-type: none"> - формирование удобной и доступной пешеходной сети для маломобильных групп населения; - увеличение количества мест для сидения; - развитие зеленого каркаса территории - организация трасс велодвижения; - развитие многофункциональности территории;

Положительные реакции со стороны жителей являются подтверждением высокой степени приспособленности среды к реализации основных функций. Как правило, такие пространства

правильно структурированы изначально и не требуют реорганизации. А пространства, получившие низкую оценку уровня комфорта, тщательно проанализированы, выявлены основные проблемы, препятствующие развитию городских

территорий, среди которых наиболее актуальными являются следующие: недостаточно развитая пешеходная сеть, отсутствие трасс велодвижения, нерациональная организация парковок для автомобилей, монофункциональность территорий, низкое качество твердых покрытий и освещения, развитие девиантного поведения. Авторами был проанализирован зарубежный и отечественный опыт и на основе этого предложены следующие методы трансформации городских архитектурных пространств:

1. Обновление. Поскольку современная практика предлагает большое разнообразие средовых ситуаций, рассмотрим данный метод трансформации на примере дворового пространства. Новые формы дворовых пространств имеют необходимость выявления их типологических особенностей с учётом новых гуманизированных проектных установок. В структуре образования каждого вида используются определенные архитектурно-художественные средства, соответствующие культурно-исторической эпохе создания ансамбля, или сочетание разновременных разностилевых художественных средств и приемов, поддерживающих функцию преемственного включения ансамбля в современные процессы изменения архитектурного облика города. Немаловажное требование к формированию моделей преобразования дворов – определение особенностей художественной организации дворовых пространств – реализуется посредством выявления архитектурных приемов и форм искусства [4]. Руководствуясь принципом функциональной наполненности территорий дворов г. Валуйки, можно выделить две группы дворовых пространств: монофункциональные дворовые пространства и полифункциональные дворовые пространства [5]. В пять основных функциональных зон полифункциональных территорий дворов входят:

- зона входа – часть придомовых территорий, примыкающих ко входам в жилые дома;
- зона парковки – предназначена для хранения автотранспорта;
- зона шумного отдыха – где размещаются рекреационные площадки, предназначенные для видов отдыха с высокими шумовыми характеристиками;
- зона тихого отдыха – где размещаются рекреационные площадки, предназначенные для видов отдыха с низкими шумовыми характеристиками. Такие площадки должны быть защищены со стороны улично-дорожной сети и со стороны зон шумного отдыха [6].

В данной ситуации большинство дворов в г. Валуйки можно отнести к группе монофункцио-

нальных дворов, что усугубляет жизненные характеристики двора. Метод трансформации «Обновление» подразумевает полную или частичную замену существующих элементов дворовой среды без изменения функционального назначения. На основе результатов опроса максимально быстро формируется модель преобразования, которая так же может включать в себя позднее предложенные методы трансформации.

Таким образом, исследование существующих особенностей организации дворовых пространств раскрывает не только проблемные стороны организации и оформления дворов, но и указывает на предпочтительные приемы преодоления этих проблем в рамках возможностей дальнейшей трансформации. Предложенная модель преобразования дворовых пространств, оперируя набором различных по специфике эмоционально-эстетического и преобразующего воздействия художественных средств, формирует качественно иную архитектурную среду, открытую для последующих изменений и инноваций [7]. В первую очередь, необходимо стремиться к тому, чтобы территория двора отвечала интересам как можно большего количества различных групп [8]. Но если по определенным причинам внедрение новых функций невозможно, то существует метод членения уже существующей функции. Так, например, детскую площадку можно разделить на зоны использования разных групп детей.

2. Приоритет. Основным методом улучшения состояния городского пространства является обновление улиц, чтобы сделать их более комфортными для местных жителей и туристов. Улицы, имеющие небольшую пропускную способность автомобилей следует отдать в приоритет пешеходам и велосипедистам. Лишние автомобильные пути могут использоваться под более нужные функции, например, под небольшие скверы, которые так необходимы в городах. Зеленые островки служат жителям небольшим местом отдыха и воссоединением с природой.

По предпочтениям городских жителей существует множество различных по функциям городских территорий общественного назначения, такие как места тихого и активного отдыха, детские игровые площадки, площадки для пребывания с питомцами, различные территории узкого профиля (торговые, спортивные, творческие и т. д.). Объединениям по общим интересам будет удобно и комфортно размещаться на доступных площадках, проводить свой досуг и отдыхать от повседневной рутины работы. В общественной жизни превалировало чувство сообщества и коллективной судьбы [9], поэтому формирование функционально значимых территорий рождает в

жителях чувство влечения к определенной деятельности и создает новый контакт между новыми людьми. Помимо того, что эти пространства несут свою определенную функцию, их основное назначение – транзитный путь. Правильно разграниченные потоки автомобилей и пешеходов дают возможность чувствовать себя на своей территории безопасно и комфортно. Так, например, улица Св. Хьюберта (Квебек, Канада) преобразилась в 2014 г., где в основе трансформации лежал приоритет пешеходной сети. Из трех полос движения оставили одну, тем самым снизилась пропускная способность автомобилей и повысилась безопасность для пешеходов. Одна полоса служит парковкой для машин и велосипедов, на которой в некоторых местах располагаются растения в кадках, разграничивающие пешеходную и автомобильную зону. В данной ситуации водитель становится осторожней и внимательней. Другими не менее значимыми средствами разграничения могут выступать малые архитектурные формы и объекты, зеленые насаждения, дорожные знаки, указатели и т. д. При соблюдении заданных правил воспитывается уважение к каждому человеку и растет уровень качества жизни. Максимальное внедрение зеленых участков увеличивает связь человека с природой и экологическую составляющую пространства. Зеленые декорации всегда можно обновлять и преобразовывать, таким образом подчеркивая многообразие пространственного формирования. Создание комфортной среды – проблема, определяющая в будущем образ всего города. Это результат воздействия целой системы взаимосвязанных сил, благодаря которым сам город, собственно, и складывается [10].

3. Устранение. Заметно усугубляет экологию городского пространства большое скопление автомобилей в одном месте, что также негативно сказывается на здоровье жителей. Рассмотрение трансформации пространства и ландшафта площадей городов Европы в средние века дает понимание того, что этот процесс не был одноступенчатым [11]. Старые асфальтированные площади с появлением автомобилей стали парковками, что уничтожило их основную функцию. Решением данной проблемы выступает локальное устранение парковок, как например на улице Амстердамштраат в г. Антверпен, Бельгия (рис. 1), итогом которого являются широкие пешеходные пути, озелененные островки и сезонные кафе и рестораны. В качестве средств трансформации выступают полная замена асфальтного покрытия на привычное человеку мощение, а также появление мест отдыха и зеленых зон. Комплексно данные методы вернут площади ее изначальное историческое предназначение.

Сколь большое значение не придавалось бы функционированию объекта, удобству пользования им и его экономичности, все же этого недостаточно, чтобы полностью удовлетворить современные требования. Потребитель предъявляет свои требования и в отношении определенных социально-обусловленных эстетических параметров [12]. Как утверждает Ян Гейл, исчезло ощущение «человеческого масштаба» [13]. Иными словами, констатируется ухудшение качества жизни. Главную проблему Гейл видит в острой борьбе за площади и пространство между пешеходами и автомобильным транспортом. Важно правильно организовать пространство, где человек не будет по большей части чувствовать себя угнетенным. Улицы должны создаваться, учитывая не только водителей, но и пешеходов. В настоящее время проблемой стала нехватка пешеходного пространства. Всю территорию по максимуму отдают под парковочные места, ущемляя пешеходов, поэтому рационально созданный баланс территории должен отражать уровень комфорта каждого в своей роли горожанина.

4. Внедрение. Заброшенные городские территории подвержены полной деградации, если вовремя не принять меры. Нерационально используемые пространства зачастую имеют большой потенциал, однако не всегда удается организовать его на перспективу. Территория в центральной части г. Валуйки в виде подтопленной территории вдоль реки Везелка имеет недостаточно развитую инфраструктуру для общественной территории, что является признаком для дальнейшей ее трансформации. Это место горожане называют «центральным пляжем», что уже следует принять во внимание при разработке вариантов перспективных решений и поиске методов трансформации. Появлению местного сообщества на локальных территориях способствует плейсмейкинг (развитие общественных пространств). Этот термин, сформулированный впервые в 1970-х гг. в среде ландшафтных архитекторов и градостроителей, обозначает многосторонний подход к планированию, дизайну и менеджменту общественных пространств [14]. Главным критерием при создании городской среды является структура проведения свободного времени горожан, поскольку именно в этой сфере деятельности в большей степени проявляется свобода выбора места, времени, партнера общения. Это позволяет выявить общие тенденции в использовании городского пространства.

Социально-культурное разнообразие образа жизни в городе – важнейший признак самого феномена города. Поэтому формирование актуаль-

ных пространств всегда необходимо. В настоящее время городскому населению необходим отдых в тихом и экологически чистом месте, в тоже время недалеко от повседневного пребывания. Наиболее подходящими для г. Валуйки являются парковые территории, так как город оснащен малым количеством зон отдыха. Формирование парковых комплексов в береговой зоне будет не только приемом поддержания устойчивости

среды и сохранения природного потенциала, но и общедоступной территорией, объединяющей «две половины» города [15]. На пустыре могут появиться велодорожки, пешеходные зоны, кустарники, деревья и огромная зеленая лужайки для отдыха, например, как возле заброшенного здания на Этуотер-стрит в г. Детройт, США (рис. 1).

Элемент городского пространства	Средства формирования		Метод трансформации	Описание	Пример	
	Существующая структура	Трансформация			До трансформации	После трансформации
Зарубежный опыт						
Двор			Внедрение	Одной из проблем городских пространств является односторонняя советская застройка. Данную проблему можно решить, используя метод внедрения - разграничить частные, совместные и общественные зоны. У первых этажей организованы террасы и выход к ним. Таким образом решается проблема монофункциональности дворового пространства.		
Улица			Приоритет	Основным методом улучшения состояния городского пространства является обустройство улиц, чтобы сделать их более комфортными для местных жителей и туристов. Улицы, имеющие небольшую проезжую часть, автомобиль следует отдавать в приоритет пешеходам и велосипедистам. Таким образом повышается не только уровень комфорта, но и безопасность.	2014	2014
			Устранение	Заметно усугубляет экологию городского пространства большое скопление автомобилей в одном месте, что также негативно сказывается на здоровье жителей. Решением данной проблемы выступает локальное устройство парковок, и тогом которого являются широкие пешеходные пути, озелененные островки и сезонные кафе и рестораны.	2009	2014
Площадь			Устранение	Старые площади с появлением автомобилей стали выполнять, что уничтожили основную функцию. В качестве средств трансформации выступают полная замена асфальтного покрытия на привлекательное покрытие и озеленение, а также появление мест отдыха и зеленых зон. Комплексно данные методы вернут площади ее изначальное предназначение.	2008	2014
Парк Сквер			Внедрение	Заброшенные территории возле неиспользуемых зданий подвержены полной деградации, если вовремя не принять меры. Так например, на пустыре могут появиться велодорожки, пешеходные зоны, кустарники, деревья и огромная зеленая лужайка для отдыха.	2007	2014
			Приоритет	Лишние автомобильные пути могут использоваться под более нужные функции, например, под небольшие скверы, которые так необходимы в городах. Зеленые островки служат жителям небольшим местом отдыха и соседним с природой.	2007	2012
Отечественный опыт						
Двор			Обновление	Большинство дворов можно отнести к группе монофункциональных дворов, что усугубляет жилищный характеристики двора. Данный метод трансформации подразумевает полную или частичную замену существующих элементов дворовой среды без изменения функционального назначения.		
Улица			Внедрение	Пешеходам в основном ходить по улицам непросто, так как переходы попадаются нечасто и в основном пролегают под землей. Следует организовать улицу не только для машин, но и для людей. Расширение и озеленение тротуаров, высадка деревьев, появление новых пешеходных переходов и общественных пространств - средства для повышения комфортности улиц.	2015	2017
Площадь			Приоритет	Одним из приемов данного метода может выступать повышение доли озелененных территорий. Таким образом приоритет направлен не только на развитие пешеходных путей, но и на экологическую составляющую, что очень важно в городе.		

Рис. 1. Перспективные методы трансформации городских архитектурных пространств.

Автор: Касенкова Я.А.

Также актуальным является применение малых форм для временного заполнения пространства с целью повышения эффективности использования городских территорий [16].

Заключение. Фактор комфортности среды должен быть признан решающим в организации городской среды, так как без него невозможно её

архитектурное формирование. При проектировании нужно осознавать тот факт, что общественное пространство создается, а не проектируется. Разница в данных понятиях существенна, поскольку можно совершить ошибку, которая приведет к деградации территории. И, как показывает практика, создание общественного пространства не ограничивается временными интервалами – оно развивается постоянно, требуя ежедневных изменений. Именно поэтому поиск и совершенствование научно-разработанных методов трансформации сложившихся общественных пространств в структуре городской застройки является актуальным направлением. Качественные характеристики архитектурно-пространственной среды в многом диктуют образ жизни населения, затрагивают как реальное поведение людей, так и уровень сознания, определяют установки и ценностные ориентации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бредихин И.Д. К дискуссии о понятии и признаках дефиниции «Общественное место» в административном законодательстве // Вестник Южно-Уральского государственного университета. 2011. №19. С. 85–89.
2. Масталерж Н.А. Формирование концепции общественного пространства как структурного элемента городской среды // Архитектон: известия вузов. 2013. №43. С. 61–73.
3. Перькова М.В. Особенности градостроительного развития элементов и сети малых городов Белгородской области // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. №6. С.63–65.
4. Филатенко А.С. Особенности архитектурно-художественной организации дворовых пространств Екатеринбурга [Электронный ресурс] // Архитектон: известия вузов. 2011. №34. Приложение. URL: http://archvuz.ru/2011_22/31 (дата обращения: 23.10.2018).
5. Барсукова Н.И., Фомина Э.В. Типичные и нетипичные жилые дворы в городской среде // SWorld. 2015. №21. С.21–30.
6. КБ Стрелка. Благоустройство дворов: Методические рекомендации по реализации проектов повышения качества среды моногородов. Москва, 2017. 42 с.
7. Филатенко А.С. Модели преобразования дворовых пространств // Архитектон: известия вузов. 2012. №38. С. 53–58.
8. Лебедева Н.А. Неравенство в пространстве городских дворов // Молодой ученый. 2015. №5. С. 589–594.
9. Герцог Л.А. Вернуться в центр. М.: Остин: Университет Техас Пресс, 2006. 301 с.
10. Шимко В.Т. Архитектурное формирование городской среды: Учеб. пособие для архит. спец. вузов. М.: Высш. Шк., 1990. 223 с.
11. Шабуров П.В. Трансформация пространства и ландшафта площадей городов Европы в Средневековье [Электронный ресурс] URL: <http://pdf.knigi-x.ru/21tehnicheskie/401658-1-1-transformaciya-prostranstva-landshafta-ploschadey-gorodov-evropi-srednevekovye-shabur.php> (дата обращения: 03.11.2018).
12. Эстетическая организация формы в дизайне архитектурной среды // Arhplan. 2015. [Электронный ресурс] URL: <http://www.arhplan.ru/buildings/objects/aesthetic-forms-organization-in-design> (дата обращения 02.11.2017) (дата обращения: 09.11.2018).
13. Гейл Я. Города для людей. Пер. с англ. М.: Альпина Паблшер, 2012. 276 с.
14. Дерек Т. Плейсмейкинг: Методология городского дизайна. М.: Нью-Йорк Раутледж, 2016. 159 с.
15. Касенкова Я.А. Ландшафтно-градостроительная организация рекреационных зон в структуре прибрежных территорий малых городов на примере города Валуйки // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. С. 2686–2690.
16. Линч К. Образ города. Пер. с англ.; под ред. А.В. Иконникова. М.: Стройиздат. 1982. 328 с.

Информация об авторах

Касенкова Яна Алексеевна, магистрант кафедры архитектуры и градостроительства. E-mail: yana_kasenkova@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Ладик Елена Игоревна, доцент кафедры архитектуры и градостроительства. E-mail: architektura_bgty@mail.ru, krushelnitskaya1@gambler.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в ноябре 2018 г.

© Касенкова Я.А., Ладик Е.И., 2019

^{1,*}*Kasenkova Y.A., ¹Ladik E.I.*

¹*Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov*

Russia, 308012, Belgorod, ul. Kostyukov, 46

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

PERSPECTIVE METHODS OF TRANSFORMATION THE SOCIAL SPACES OF SMALL CITIES IN THE RUSSIAN FEDERATION ON THE EXAMPLE OF VALUYKI, BELGOROD REGION

Abstract. *The qualitative characteristics of the architectural and spatial environment dictate the lifestyle of the population, affect the behavior of people and the level of consciousness, determine attitudes and value orientations. The aim of this work is to identify the main problems of urban architectural spaces in small cities, which later play an important role in improving the quality of life and the search for promising methods of architectural transformation applicable to small cities of the Russian Federation on the example of Valuyki. Based on the survey about the comfort level of an architectural environment and analysis of urban spaces, the priorities of population's pastime are defined and the types of structuring the urban architectural spaces are considered. The spaces with a low grade of comfort are carefully analyzed, and the main problems that impedes the development of urban areas are identified. On the basis of world experience, the following methods for transforming urban architectural spaces are proposed: "renovation", "priority", "elimination", and "implementation". The environmental comfort factor should be recognized as decisive in the organization of the urban environment, as without it, architectural formation is impossible. As practice shows, the creation of public space is not limited to time intervals - it develops constantly, requiring daily changes. That is why the search and improvement of scientifically-developed methods for transforming the existing public spaces in the structure of urban development is a relevant trend.*

Keywords: *urban space, environmental formation, transformation of urban space, environmental conditions, architectural education, playmaking, comfort, urbanization.*

REFERENCES

1. Bredikhin I.D. To the discussion about the concept and characteristics of the definition of "Public Place" in administrative legislation. Bulletin of the South Ural State University, 2011, no. 19, pp. 85–89.
2. Mastaler N. Formation of the concept of public space as a structural element of the urban environment. Architecton: news of universities, 2013, no. 43, pp. 6–73.
3. Perkova M.V. Features of the urban development of the elements and the network of small towns in the Belgorod region. Bulletin of the Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov, 2014, no. 6, pp. 63–65.
4. Filatenko A.S. Features of the architectural and artistic organization of the courtyard spaces of Yekaterinburg. Architecton: News of universities, 2011, no. 34. Available at: http://archvuz.ru/2011_22/31 (accessed: 23.10.2018).
5. Barsukova N.I., Fomina E.V. Typical and atypical residential yards in the urban environment. SWorld, 2015, no. 21, pp. 21–30.
6. KB Arrow. Improvement of courtyards: Guidelines for the implementation of projects to improve the quality of the environment of single-industry towns. Moscow, 2017, 42 p.
7. Filatenko A.S. Models of transformation of courtyard spaces. Architecton: News of universities, 2012, no. 38, pp. 53–58.
8. Lebedeva N.A. Inequality in the space of city courtyards. Young Scientist, 2015, no. 5, pp. 589–594.
9. Duke L.A. Return to the center. M.: Austin: University of Texas Press, 2006, 301 p.
10. Shimko V.T. The architectural formation of the urban environment: Textbook. manual for architect. specialist. universities. M.: Higher. Sc, 1990, 223 p.
11. Shaburov P.V. Transformation of space and landscape of squares of cities of Europe in the Middle Ages [Electronic resource] URL: <http://pdf.knigi-x.ru/21tehlicheskie/401658-1-1-transformaciya-prostranstva-landshafta-ploschadey-gorodov-evropi-srednevekove-shabur.php> (the date of circulation: 03.11.2018).
12. Aesthetic organization of the form in the design of the architectural environment. Arhplan, 2015. [Electronic resource] URL: <http://www.arhplan.ru/buildings/objects/aesthetic-forms-organization-in-design> (the date of circulation: 09.11.2017).
13. Gale I. Cities for people. Per. from English M.: Alpina Publisher, 2012, 276 p.
14. Derek T. Placemake: Urban Design Methodology. M.: New York Routledge, 2016, 159 p.

15. Kasenkova Y.A. Landscape-town-planning organization of recreational zones in the structure of coastal territories of small cities on the example of the city of Valuyki. International Scientific and

Technical Conference of Young Scientists BSTU named after V. G. Shukhov, 2016, pp. 2686-2690.

16. Lynch K. The image of the city: Per. from English. K. Lynch; by ed. A.V. Ikonnikova. M.: Stroizdat, 1982, 328 p.

Information about the authors

Kasenkova, Yana A. Master student of the department of architecture and urban planning. E-mail: yana_kasenkova@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Ladik, Elena I. Assistant professor. E-mail: architektura_bgty@mail.ru, krushelnitskaya1@rambler.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in November 2018

Для цитирования:

Касенкова Я.А., Ладик Е.И. Перспективные методы трансформации общественных пространств малых городов РФ на примере г. Валуйки белгородской области // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №2. С. 102–110. DOI: 10.12737/article_5c73fc201fde40.25728218

For citation:

Kasenkova Y.A., Ladik E.I. Perspective methods of transformation the social spaces of small cities in the Russian Federation on the example of valuyki, Belgorod region. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 2, pp. 102–110. DOI: 10.12737/article_5c73fc201fde40.25728218

DOI: 10.12737/article_5c73fc21703586.16507052

^{1,*}Монастырская М.Е., ¹Песляк О.А.¹Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-ая Красноармейская ул., д. 4

*E-mail: gradoved@gmail.com

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ

Аннотация. *Посредством синтеза современных отечественных и европейских методик определения границ крупных урбанизированных территорий с учетом актуальных целей и задач регионального (субрегионального) градостроительного и территориального планирования, на основе результатов дифференцированного и комплексного анализа специфики процессов градоформирования, происходящих на агломерированных территориях, разработана авторская методика определения границ городских агломераций. Установлены принципы определения границ городских агломераций, обоснован выбор территориальной ячейки для проведения статистического и картографического анализа, разработана алгоритмическая последовательность определения границ городских агломераций. Даны конкретные рекомендации по составу необходимых исходных данных, по применению инструментария геоинформационных систем для анализа и обработки исходных картографических, топографических, статистических и иных материалов. Особое внимание уделено применению сетевого анализа геоинформационного модуля обработки данных на основе сервиса построения маршрутов с использованием динамических данных о дорожном трафике и картографических данных, методам выявления морфологической зрелости и связанности урбанизированных территорий на основе спутниковых снимков высокого разрешения и топографических карт и обзору методик определения объема маятниковых миграций между поселениями городской агломерации. Предложенная авторами методика апробирована на примере Санкт-Петербургской агломерации.*

Ключевые слова: *градостроительные системы, городские агломерации, урбанизированные территории, границы, делимитация.*

Общеизвестно, что развитие крупных урбанизированных территорий зачастую приобретает агломерационный характер [1], который проявляется интенсификацией и закрепляется приращением объемов трудовых, социальных, рекреационных, культурных, экономических и иных видов взаимосвязей между отдельными элементами и фрагментами «градостроительных систем» [2]. Сегодня в 20-ти крупнейших городских агломерациях России проживают свыше 49 млн чел., что составляет более 34 % всего населения страны [3]. Это обстоятельство, в свою очередь, побуждает рассматривать проблему регулирования развития городских агломераций как «ассоциированных» социально-территориальных образований [4] не только в концептуальном, но и в прикладном аспектах. Приходится констатировать, что до сих пор большая часть вопросов, связанных с выбором моделей управления городскими агломерациями, методами градостроительного планирования и мониторинга морфологической, структурной и функциональной трансформации их территорий, остаются нерешенными. Сложность современной ситуации в регулировании и прогнозировании процесса агломерирования (*концентрации, срастания, спекания*) городских поселений [4, 1], иных локальных градостроительных образований [5, 6] вокруг города-центра состоит, на наш взгляд, в сочетан-

ном – постиндустриальном и глобальном, – генезисе этого процесса [7], предполагающем поиск, с одной стороны, идеологически компромиссных, а, с другой, процедурно вполне определенных проектно-управленческих решений.

Поскольку в рамках настоящего исследования авторы рассматривают городскую агломерацию как объект градостроительного планирования, проектирования и управления, постольку соответствующее понятие трактуется ими как территориально-пространственная система, формируемая в границах нескольких локальных административно-территориальных единиц, на основе ряда населенных пунктов, которая представляет собой целостную в функциональном и морфологическом отношении урбанизированную территорию с развитой системой социально-экономических, транспортных и культурных взаимосвязей и характеризуется территориальной общностью использования природных ресурсов, осуществления хозяйственной деятельности [8], охраны и использования историко-культурного наследия. Границы этой территориально-пространственной системы, как свидетельствуют результаты анализа современных концептуальных и проектных предложений по развитию агломерированных территорий, как правило, трактуются и воспринимаются либо как избыточно динамичные и, следовательно, не вполне опреде-

ленные, либо как произвольные. Между тем градостроительное планирование, даже с учетом актуальных трендов, режимов и доказательных «порогов неопределенности» [9], дабы стать, наконец, эффективным, должно осуществляться в стабильных на определенный период времени границах. В свое время Г. А. Малоян справедливо отмечал, что при «многообразии предполагаемых критериев образования агломерации отсутствуют предложения по ключевой для градостроительной сферы проблеме – их границам. Но без границ нельзя планировать, проектировать [10], осуществлять градостроительную деятельность в принципе. Таким образом, естественным и своевременным, на наш взгляд, является обращение к проблеме выявления границ городских агломераций.

Результаты сравнительного анализа и теоретического обобщения методов определения агломерационных границ, сложившихся в европейской градостроительной науке и практике, свидетельствуют о том, что спектр используемых урбанистами маркировочных критериев достаточно широк и что выбор конкретной методики определяется учеными, проектировщиками и управленцами, исходя из целей делимитации [11]. В основу большинства современных работ по определению границ городских агломераций в России положены методики, учитывающие один, реже – два территориально обусловленных критерия: такие, например, как транспортная доступность города-центра [12], очертания световых отпечатков на спутниковых снимках [13]. Назначение границ городских агломераций, выполненное в рамках ряда административно иницированных работ по созданию концепций их развития, свидетельствует о недостаточной теоретической обоснованности стратегических предложений и тактических проектных решений. Результаты ознакомления с документами стратегического развития, разработанными для трех крупных российских агломераций – Санкт-Петербургской, Екатеринбургской и Красноярской, позволяют отметить ряд негативных моментов, весьма характерных для современного этапа российского градостроения.

Так, например, в «Концепции совместного градостроительного развития Санкт-Петербурга и Ленинградской области (агломерации)», сформированной специалистами Комитетов по градостроительству и архитектуре Санкт-Петербурга и Ленинградской области, указано, что «границы территории взаимовлияния Санкт-Петербурга и Ленинградской области определены на основании укрупненной оценки основных проблем градостроительного и социально-экономического развития и разрабатываемых в настоящее время

комплексных транспортных схем, с учетом границ территории комплексного развития» [14]. Приведенная цитата прямо указывает не только на отсутствие какой бы то ни было методики делимитации, на которую опирались разработчики Концепции, но и на явную ограниченность и невнятность использованного ими терминологического аппарата. Предложения по определению границ Екатеринбургской агломерации, составленные Министерством строительства и инфраструктуры Свердловской области в рамках научно-проектной работы «Сценарии и перспективы развития Екатеринбургской агломерации» [15], опираются лишь на результаты анализа транспортной доступности города-центра градостроительной системы, несмотря на, во-первых, наличие в отчете НПР статистических данных по объемам маятниковой миграции между поселениями и, во-вторых, сформированность екатеринбургской градостроительной школой фундаментального «инновационно-стратегического подхода к пространственному планированию расселения» [16] Уральского макрорегиона (УралГАХА, Филиал ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» УралНИИпроект), известного по учебникам даже студентам екатеринбургских строительных вузов [17]. В «Схеме территориального планирования Красноярской агломерации» [18] границы последней приняты в соответствии с «Проектом стратегии социально-экономического развития Красноярского края до 2030 года» [19] и «Схемой территориального планирования Красноярского края» [20], что логично и оправдано. Однако, ни в одном из перечисленных документов не представлены материалы (*или даны ссылки на них*), обосновывающие начертание границ градостроительной системы агломерационного порядка, которые опирались бы на фундаментальные и прикладные наработки крупных красноярских урборморфологов [21, 22, 23].

На наш взгляд, в ходе выявления границ городских агломераций как объектов градостроительного планирования, проектирования и управления требуется максимально полно учитывать масштабы, объемы и специфику разноцелевых и разнонаправленных процессов, протекающих в пространственных очертаниях морфологически целостных урбанизированных территорий, которые характеризуются городским функционалом среды и жизнедеятельности населения [24]. Безусловно значимы в этом плане: а) налаженные и вновь формируемые экономические взаимосвязи между элементами и фрагментами градостроительной системы, а именно: комбинирование и кооперирование промышленных предприятий при производстве и потреблении промышленной

и сельскохозяйственной продукции, внутриагломерационные грузопотоки, целостность рынков труда, недвижимости, земли и пр.; б) устойчивые трудовые взаимосвязи, а именно: ежедневные и периодические маятниковые миграции экономически активного населения между центральным городом и поселениями пригородной зоны, ежедневные и периодические маятниковые миграции с учебными целями и т.д.; в) исторически сложившиеся социокультурные взаимосвязи, а именно: ежедневные, еженедельные и сезонные маятниковые миграции с культурно-бытовыми и рекреационными целями, туристические маршруты и др.; г) сформированные транспортные социокультурные и инженерные взаимосвязи, а именно: наличие транспортных коридоров, обеспечивающих коммуникацию между поселениями, наличие разветвленных сетей электроснабжения, водоснабжения, теплоснабжения, связи и др.; д) отличительные особенности и традиции совместного межмуниципального по вопросам актуализации и сохранения природных ресурсов, ведения хозяйственной деятельности, охраны и использования культурного наследия.

Комплексный подход нацелен, в первую очередь, на обеспечение устойчивого социально-экономического развития крупных урбанизированных образований [25], к которым относятся городские агломерации, и, следовательно, на поиск эффективных инструментов территориального и градостроительного планирования, алгоритмов управления их развитием. Поэтому разработка методики определения границ городских агломераций проводилась авторами поэтапно, сообразно последовательному решению следующих задач:

1. Определение целей и принципов установления границ городской агломерации;
2. Выбор территориальных ячеек для проведения пространственного и статистического анализа;
3. Определение критериев делимитации городских агломераций и формирование перечня исходных данных для проведения комплексного анализа территории по выбранным критериям;
4. Назначение квалиметрических значений для выбранных критериев;
5. Формирование алгоритма определения границ городских агломераций.

Основные положения делимитационной методики были представлены авторами в Отделении градостроительства РААСН и опубликованы в Альбоме инновационных предложений Российской академии архитектуры и строительных наук (2017-1) [8].

В качестве территориальной ячейки для проведения статистического и картографического

анализа было назначено муниципальное образование в его существующих административно-территориальных границах. Выбор территориальной ячейки обоснован определенностью и непротиворечивостью границ МО, а также доступностью статистических исходных данных, необходимых и достаточных для проведения исследовательских, оценочных и прогностических мероприятий. Базовыми критериями определения границ городской агломерации стали: транспортная доступность города-центра от периферийных застроенных и незастроенных территорий, морфологическая зрелость и высокая степень связанности (*непрерывность, целостность*) урбанизированных территорий, демографические и плотностные характеристики муниципальных образований, а также устойчивость функциональных взаимосвязей ядра агломерации с окружающими его поселениями.

Исходными данными для определения границ являются: 1) планово-картографическая основа изучаемой территории, ее спутниковые снимки; 2) статистические данные о количестве населения, проживающего в муниципальных образованиях; 3) статистические данные о маятниковой трудовой миграции между населенными пунктами либо, при их отсутствии, дополнительные статистические данные о количестве отправленных пассажиров по станциям железнодорожных линий, данные мобильных сотовых операторов и др.; 4) векторные слои границ муниципальных образований.

При определении границ городской агломерации можно руководствоваться следующими принципами:

- принцип сплошного городского расселения;
- принцип единства хозяйственной организации территории;
- принцип экономической эффективности организации территории;
- принцип соподчиненного функционирования и развития неурбанизированных территорий, жизнедеятельность в границах которых определяется задачами обслуживания центрального города или других населенных пунктов в зоне его влияния [26] и др.

До применения современных компьютерных систем мероприятия по сбору, хранению, систематизации, обработке и пространственному анализу исходных данных для крупных социально-территориальных образований, какими являются городские агломерации, являлись чрезвычайно трудоемкими и требующими больших временных затрат. Это обстоятельство, в свою очередь, предполагало проведение подобных исследова-

ний в рамках отдельных научно-прогностических монографических работ. Различающиеся по сути и процедуре методики, применявшиеся в 1970–1980-е годы для изучения отдельных агломераций, не могли быть повсеместно применимы, поскольку, как отмечал П. М. Полян, «они требуют колоссальных усилий (в том числе экспедиционных) по сбору и обработке детальнейших материалов» [27]. Развитие же в настоящее время геоинформационных систем и инструментов автоматизированного пространственного анализа позволяет быстро и достоверно обрабатывать и анализировать всю совокупность статистических, картографических и иных исходных данных об исследуемой территории [28], существенно облегчая выявление, фиксацию и дальнейший мониторинг изменения границ городских агломераций, способствуя концентрации усилий специалиста-эксперта на заключительных этапах применения методики [29].

Согласно нашим предложениям [8], определение границ городской агломерации предполагает поэтапное решение следующих задач:

1. Ограничивание территории объекта исследования (*планирования, проектирования, управления*) по критерию транспортной доступности города-центра;

2. Формирование границы городской агломерации на основе морфологического критерия с учетом результатов анализа непрерывности и связанности урбанизированных территорий;

3. Построение границы городской агломерации по демографическому критерию с учетом результатов анализа плотности расселения;

4. Назначение границы городской агломерации на основе анализа функциональных связей между городом-центром и окружающими поселениями с учетом результатов анализа маятниковых миграций;

5. Формирование генерализованной агломерационной границы методом послойного суммирования;

6. Формирование результирующей границы городской агломерации.

На первом этапе для определения общих очертаний территории объекта исследования по критерию транспортной доступности выполняется построение изохронограмм транспортной доступности города-центра от периферийных застроенных территорий на личном автомобиле с учетом среднестатистической скорости движения. Во многих методиках построение таких изохронограмм является главной и потому – единственной исследовательской процедурой для определения границ агломерации. Авторы же настоящей статьи полагают, что использование данного инструмента, несомненно действенного,

позволяет лишь наметить область дальнейшего, более детального исследования, в очертаниях которой потенциально может развиваться городская агломерация. Транспортно-временной подход в силу своей инструментально-инженерной специфики фактически не отображает существующую степень морфологической, функциональной и социальной связности урбанизированных элементов и фрагментов градостроительной системы агломерационного уровня. Предлагается устанавливать пороговое значение транспортной доступности города-центра в зависимости от размеров ядра агломерации:

– для крупнейших городов – 120 мин.;

– для крупных городов – 90 мин.;

– для больших городов – 60 мин.

Одним из наиболее удобных и доступных методов построения изохронограмм является применение сетевого анализа геоинформационного модуля обработки данных ArcGIS Pro на основе сервиса построения маршрутов с использованием динамических данных о дорожном трафике и картографических данных OpenStreetMap. Слой сетевого анализа области транспортной доступности необходим для определения зоны доступности в пределах заданного порога импеданса вокруг местоположения центра города. Модуль предлагает настройку большого спектра параметров, значения которых для целей данной работы предлагается установить следующие:

– определение типа и параметров движения транспортного средства (*travel_mode*) – легковой автомобиль;

– направление движения транспортного средства (*travel_direction*) – территория обслуживания, отображающая движение к пунктам обслуживания (*to_facilities*);

– вычисляемый экстенд территории обслуживания в единицах атрибута импеданса (*cutoffs*) – мин., устанавливаемый в зависимости от размера центрального города;

– время отправления или прибытия в конечный пункт (*time_of_day*) – будние дни, 8.00.

Возможно также, при наличии достаточного объема исходных данных, применение мультимодальной модели транспортных графов, учитывающей, помимо вышеуказанных, такие показатели, как время передвижения на общественном транспорте, время, затрачиваемое на парковку автомобиля, стоимость проезда из одного населенного пункта в другой [30].

Определение границы городской агломерации на основе морфологического критерия базируется на принципе выявления морфологической зрелости и связанности урбанизированных территорий. На основе спутниковых снимков высоко-

кого разрешения и топографических карт проводится векторизация границ непрерывно застроенных урбанизированных территорий в радиусе 10-30 км от границы города (в зависимости от величины центрального города).

При этом к застроенным территориям следует относить:

- жилые и промышленные территории, участки коммерческих зданий, складов, административных зданий, церквей;
- территории парковок;
- территории парков, садов, скверов;
- территории магистралей, дорог, улиц;
- территории водных объектов, берега которых сообщаются друг с другом посредством мостов или паромов;
- участки аэропортов;
- участки парков развлечений, спортивных площадок, кладбищ и т. д.

Возможно также, при наличии спутниковых снимков высокого разрешения, полученных в темное время суток, использовать для определения зон урбанизации отпечатки световых пятен.

Пороговые значения для морфологического обобщения предлагается устанавливать в зависимости от типа центрального города (по критерию численности населения):

- для крупнейших городов – 500 м;
- для крупных городов – 250 м;
- для больших городов – 200 м.

Таким образом, построение буферных зон вокруг векторизованных объектов со значением радиуса, равным половине величины установленного порогового значения, и слияние накладывающихся друг на друга объектов формируют границу агломерации по морфологическому критерию. Кроме того, применение данного инструмента позволяет оценить наличие и степень «расползания» города-центра, а также определить размеры незастроенных территорий между зонами урбанизации и проводить мониторинг данных параметров.

Построение границы городской агломерации на основе демографического критерия, с учетом анализа плотности расселения, требует предварительного сбора официальных статистических данных о численности населения и площадях муниципальных образований. Для построения итоговой границы необходимо предварительно выполнить расчет плотности населения в разрезе муниципальных образований и определить среднюю плотность населения в границах территории объекта исследования, определенной на первом этапе методики, без учета населения городского ядра. Муниципальные образования, образующие непрерывную область с территорией центрального города, значение плотности в

которых превышает среднюю величину, относят к территории агломерации. Данный вид анализа позволяет отследить наличие территорий поселков городского типа, индивидуального жилого строительства, коттеджных поселков с относительно высокой в локальном разрезе плотностью населения, которые также могут быть включены в территорию агломерации с перспективой трансформации и обустройства среды по городскому типу.

Построение границы городской агломерации на основе анализа функциональных связей между городом-центром и окружающими поселениями предполагает определение наличия и объема ежедневных маятниковых трудовых миграций и сезонных маятниковых рекреационных миграций между городом-центром и окружающей сетью поселений. Официальная статистика по количеству маятниковых мигрантов в разрезе населенных пунктов в Российской Федерации не ведется, поэтому необходимо применение дополнительных методов для расчета количества жителей, регулярно совершающих рабочие поездки в город. В настоящее время можно предложить воспользоваться следующими методами определения объема маятниковых миграций, основанных на:

- официальных деперсонализированных данных государственных органов власти (Пенсионный фонд РФ, Федеральная налоговая служба) об официальной регистрации граждан и официальном месте работы;
- данных социологических опросов;
- данных о количестве отправленных пассажиров по железнодорожным станциям пригородных направлений железной дороги;
- данных о локализации активности в сетях мобильной связи;
- данных геопространственной привязки информации из социальных сетей и интернет-приложений.

Поскольку каждая из этих методик имеет определенную погрешность, иногда значительную, рекомендуется основную выбранную методику дополнять как минимум еще одной, для сопоставления и возможности релевантной оценки полученных результатов. На основе данных о количестве человек, ежедневно совершающих трудовые поездки в центральный город, можно определить долю маятниковых мигрантов в общем объеме экономически активного населения каждого населенного пункта. Муниципальные образования, на территории которых расположены населенные пункты, более 10 % численности населения которых являются трудовыми маятниковыми мигрантами, относят к территории агломерации. Следует отметить, что изменение

значения данного критерия во времени может также выступать индикатором результативности проводимых мероприятий по формированию подцентров экономической и социальной активности на территории городской агломерации или мероприятий, направленных на включение отдельных территорий в экономическую и социальную жизнь центрального города. Анализ рекреационных связей может проводиться на основе данных о количестве отправленных пассажиров по железнодорожным станциям пригородных направлений железной дороги (сравнительный анализ по сезонам), с учетом расположения крупных дачных массивов, курортных объектов, лагерей, домов отдыха и других объектов рекреационного назначения.

Формирование генерализованной границы городской агломерации проводится методом послойного суммирования.

Результирующую границу городской агломерации формируют путем последовательной оптимизации генерализованной границы по критерию компактности градостроительной формы за счет:

- а) интеграции границы приграничных административно-территориальных образований;
- б) упорядочивания «геометрии» пограничных территорий.

Предложенная авторами методика была апробирована на примере Санкт-Петербургской

агломерации. В настоящее время она является крупнейшей городской агломерацией России (не считая Московской агломерации, которая в своем развитии перешла на надагломерационный уровень) [31] и включает территорию Санкт-Петербурга и окружающих его населенных пунктов, расположенных на территории Ленинградской области. Санкт-Петербург и Ленинградская область – это отдельные административные субъекты Российской Федерации, однако, несомненно, что исторически они объединены между собой множеством сложившихся функциональных и социокультурных связей.

Санкт-Петербург в последние годы активно расширяет зону своего влияния, вовлекая в ареал своего развития все больше территорий Ленинградской области [32]. В связи с этим обоснование границ сложившейся агломерации является первым шагом на пути к построению эффективной системы градостроительного планирования и управления развитием ее территории, выявления и объединения отраслевых интересов агломерации, координации и кооперации инициатив всех субъектов градостроительных отношений, формирования рациональной планировочной структуры территории. Результаты применения методики по каждому из этапов и итоговый результат представлены на рис. 1.

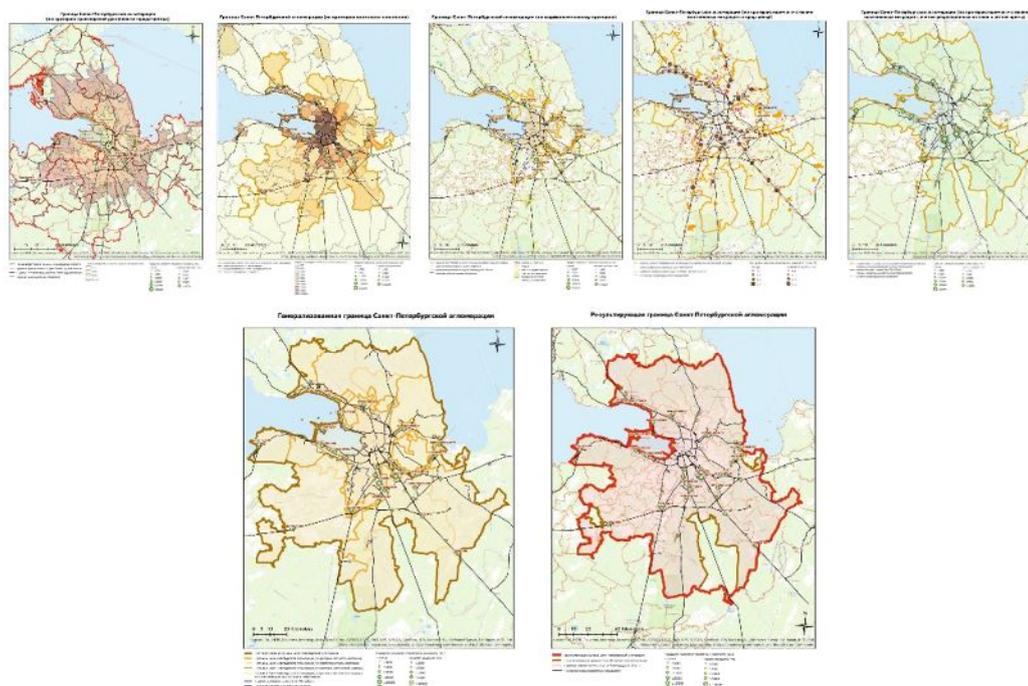


Рис. 1. Определение границ Санкт-Петербургской городской агломерации

Площадь городской агломерации составляет 14 606,82 кв. км. В территорию Санкт-Петербургской агломерации, помимо 9 городов и 21 по-

селка городского типа, уже входящих в административные границы Санкт-Петербурга, вошли 13 городов и 20 поселков городского типа: г. Волосово, г. Всеволожск, г. Сертолово, г. Гатчина,

г. Коммунар, г. Кировск, г. Шлиссельбург, г. Отрадное, г. Тосно, г. Любань, г. Никольское, г. Сосновый Бор, пос. Дубровка, пос. Кузьмоловский, пос. им. Морозова, пос. Рахья, пос. им. Свердлова, пос. Токсово, пос. Рошино, пос. Вырица, пос. Дружная Горка, пос. Сиверский, пос. Тайцы, пос. Мга, пос. Павлово, пос. Синявино, пос. Большая Ижора, пос. Лебяжье, пос. Красный Бор, пос. Рябово, пос. Ульяновка, пос. Форносово, пос. Приладожский. Таким образом, помимо города-центра Санкт-Петербурга в его административных границах, в границы агломерации вошли 22 города и 42 поселка городского типа, Всеволожский административный район, части Выборгского, Кировского, Тосненского, Гатчинского, Волосовского и Ломоносовского административных районов Ленинградской области.

Расстояния от центра Санкт-Петербурга до границы агломерации составляют:

- в южном направлении – 90 км;
- в юго-восточном направлении – 82 км;
- в восточном направлении – 40 км;
- в северо-восточном направлении – 50 км;
- в северном направлении – 60 км;
- в северо-западном направлении – 77 км;
- в западном направлении – 70 км;
- в юго-западном направлении – 89 км.

Первый пояс населенных пунктов-спутников (включающий поселения, расположенные на расстоянии до 50 км от центра Санкт-Петербурга) составили: г. Всеволожск, г. Сертолово, г. Гатчина, г. Кировск, г. Шлиссельбург, пос. Дубровка, пос. Кузьмоловский, пос. им. Морозова, пос. Токсово, г. Коммунар, г. Отрадное, г. Никольское, пос. Рахья, пос. им. Свердлова, пос. Токсово, пос. Тайцы, пос. Мга, пос. Павлово, пос. Синявино, пос. Большая Ижора, пос. Красный Бор, пос. Ульяновка, пос. Форносово.

Второй пояс спутников представлен: г. Волосово (закрывающий спутник на юго-западе), пос. Рошино (закрывающий спутник на северо-западе), г. Тосно, г. Любань (закрывающий спутник на юго-востоке), пос. Рябово, пос. Приладожский, пос. Вырица, пос. Дружная Горка, пос. Сиверский, г. Сосновый Бор (закрывающий спутник на западе), пос. Лебяжье.

Общая численность населения Санкт-Петербургской агломерации составляет сегодня 6 128 123 чел., из которых доля городского населения – 94,7%, доля сельского населения – 5,3 %. Города сосредотачивают в себе около 94 % городского населения Санкт-Петербургской агломерации, поселки городского типа – не более 6 %.

Численность населения в административных границах Санкт-Петербурга составляет 5 225 690

чел., из которых около 86 % (4 499 289 чел.) проживают в пределах городского ядра и 14 % (726 401 чел.) – за его пределами. Численность населения агломерации, проживающего на территории Ленинградской области, составляет 14,7 % (902 433 чел.) от общего количества жителей агломерации.

Предложенная авторами методика позволяет определять границы фактически сложившейся городской агломерации, являющейся целостным социально-территориальным образованием и потому требующей единого подхода к организации градостроительного планирования, проектирования и управления развитием ее территории.

Современной градостроительной наукой городская агломерация трактуется, прежде всего, как социально-экономическое территориальное образование, формируемое в целях создания благоприятных агломерационных экономических эффектов [33]. Однако, не менее значимым представляется устойчивое развитие ее территории сообразно критериям градоэкологии, природопользования и охраны историко-культурного наследия (архитектурно-градостроительного в т.ч.). В этом плане целесообразно, на наш взгляд, ориентироваться на представление о городской агломерации как о неотъемлемой части более крупной, исторически сформировавшейся на основе бассейнового принципа [34] природно-территориальной системы – градостроительно оформленного «природно-социального организма» [35, 36], – более высокого (надагломерационного, сверхагломерационного) уровня, которую с учетом целей и задач градостроительного планирования и управления возможно охарактеризовать как «урбанизированный регион» [8]. Терминологическая интерпретация понятия «урбанизированный регион», сущностные подходы к установлению границ, базовые принципы градостроительного планирования таких объектов, а также алгоритмы управления их развитием являются предметами дальнейших исследований авторов статьи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Митягин С.Д. Агломерация как объект управления. В сб. «Градостроительство. Эпоха перемен». СПб.: «Издательство «ЗОДЧИЙ», 2016. 221 с.
2. Гутнов А.Э. Эволюция градостроительства. М.: Стройиздат, 1984. 256 с.
3. Численность населения Российской Федерации по городам, поселкам городского типа и районам на 1 января 2007 года. Росстат, 2007. 194 с.

4. Антюфеев А.В., Птичникова Г.А. Линейный город. Градостроительная система «Большой Волгоград»: монография. Волгоград: ВолгГТУ, 2018. 196 с.
5. Гашенко А.Е. Архитектурно-градостроительная морфология Новосибирска: монография. Новосибирск, 2016. 192 с.
6. Жуковский Р.С. Сравнительный анализ теоретических моделей общественно-деловых субцентров и центра города [Электронный ресурс] // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2016. № 2 (22). С. 6–32. URL: <http://vestnik.pstu.ru> (23.12.2018).
7. Монастырская М.Е. Отзыв официального оппонента на диссертацию Р.С. Жуковского «Формирование общественно-деловых субцентров крупных и крупнейших городов (на примере городов Западной Сибири)» [Электронный ресурс] // URL: http://marhi.ru/science/author/zhukovsky/zhukovsky_off_opp_monastirsky.pdf
8. Монастырская М.Е., Песляк О.А. Инновационные алгоритмы определения границ городских агломераций и урбанизированных регионов // Инновационный альбом Российской академии архитектуры и строительных наук. 2018. № 2017-1. С. 9–10.
9. Моисеев Ю.М. Пороги неопределенности в системе градостроительного планирования: автореф. дис.... доктора. арх. М., 2017. 48 с.
10. Малоян Г.А. К проблеме формирования городских агломераций // Academia. Архитектура и строительство. 2012. № 2. С. 83–85.
11. Монастырская М.Е., Песляк О.А. Современные методы делимитации границ городских агломераций (Европейские наука и практика) // Градостроительство и архитектура. 2017. № 3(28). С. 80–86.
12. Селиванова Т.И. Чебоксарская городская агломерация: делимитация и анализ // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2011. № 6. С. 43–53.
13. Красовская О. В., Скатерщиков С.В. Вопросы определения границ и развития планировочной структуры крупнейших агломераций России применительно к схеме территориального планирования Санкт-Петербурга и Ленинградской области, включающей Санкт-Петербургскую городскую агломерацию // Архитектурный Петербург. 2018. № 3(58). С. 24–31.
14. Концепция совместного градостроительного развития Санкт-Петербурга и Ленинградской области (агломерации) на период до 2030 года с перспективой до 2050 года [Электронный ресурс] // URL: http://old.arch.lenobl.ru/grad_work/dok_ter_plan/konceptia_spb (20.10.2018).
15. Сценарии и перспективы развития Екатеринбургской агломерации (Министерство строительства и инфраструктуры Свердловской области в рамках работы) [электронный ресурс] // URL: <http://minstroy.midural.ru> (дата обращения: 20.10.2018).
16. Колясников В.А., Спиридонов В.Ю. Современная теория и практика градостроительства: пространственное развитие расселения: учебник для студентов вузов. Екатеринбург: Архитектон, 2016. 194 с.
17. Колясников, В. А. Современная теория и практика градостроительства: территориальное планирование городов: учебное пособие. Екатеринбург: Архитектон, 2010. 406 с.
18. Схема территориального планирования Красноярской агломерации [Электронный ресурс] // URL: <http://minstroy.krskstate.ru/graddoc/terrplan/0/id/34342> (20.10.2018).
19. Проект стратегии социально-экономического развития Красноярского края до 2030 года [Электронный ресурс] // URL: <http://www.krskstate.ru/2030/plan> (20.10.2018).
20. Постановление Правительства Красноярского края №449-п «Об утверждении схемы территориального планирования Красноярского края» (с изменениями на 27.12.2016) [Электронный ресурс] // URL: <http://docs.cntd.ru/document/985023464> (20.10.2018).
21. Кукина И.В. Тенденции развития агломераций. Зарубежный опыт. Красноярск: СФУ, 2014. 142 с.
22. Кукина И.В. Концептуальное осмысление структуры «агломерации» в зарубежных странах // Проблемы развития агломераций России: сб. научн. тр. М.: URSS, 2009. С. 83–107
23. Кукина И.В. Регламенты «свободного развития» урбанизированных территорий в планируемом создании агломераций в зарубежных странах // Academia. 2011. №3. С. 81-87
24. Нецадин А., Прилепин А. Городские агломерации как инструмент динамичного социально-экономического развития регионов России // Общество и экономика. 2010. № 12. С. 121–139.
25. Андриевская В.П., Эстрин А.П., Ахмедова Е.А., Каракова Т.В., Шабанов В.А. Стратегическое городское планирование: монография. Самара, 2001. 200 с.
26. Дубровин П.И. Агломерации городов (генезис, экономика, морфология) // Вопросы географии. География городских и сельских поселений. М., 1959. С. 23–37.

27. Полян П.М. Методика выделения и анализа опорного каркаса расселения. М.: АН СССР, Ин-т географии. 1988. 64 с.

28. Скачкова М.Е., Монастырская М.Е. Введение в градостроительную деятельность. Нормативно-правовое и информационное обеспечение: Учебное пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2019. 268 с.

29. Vliegen M. Metropolitan agglomerations and urban regions delimited // Netherlands Graduate School of Housing and Urban Research. 2005.

30. Definition of a Methodology to delimitate metropolitan areas in Europe Case Study: Accessibility in Barcelona Metropolitan Region by public and private transport [электронный ресурс] // MCRIT. 2013. Режим доступа: www.espon.eu.

31. Шевилева Е. Е. Система регулирования агломерационных процессов: Россия и западная Европа [электронный ресурс] // ПСЭ. 2012. №2. URL: <https://cyberleninka.ru>.

32. Лимонов Л.Э., Батчаев А.Р. Санкт-Петербург и Ленинградская область: связи, проблемы, координация развития агломерации // Пространственная экономика. 2013. № 1. С. 123–135.

33. Ходачек А.М. О Петербургской агломерации на основе концепции градостроительного развития // Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития. 2016. № 4(53). С. 35–47.

34. Мечников Л.И. Цивилизация и великие исторические реки (географическая теория прогресса и социального развития) // Среднерусский вестник общественных наук. 2008. №2 (7). С. 122–124.

35. Ковалев А.Д. Проблема онтологического статуса и рабочей модели социальных институтов. Новое и старое в теоретической социологии. М.: Изд-во ин-та социологии РАН, 2006. С. 7–47.

36. Ковалев А.Д. Еще раз о формационном и цивилизационном подходах // ОНС. 1996. № 1. С. 97–104.

Информация об авторах

Монастырская Марина Евгеньевна, кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектурного проектирования. E-mail: gradoved@gmail.com. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-ая Красноармейская ул., 4

Песляк Оксана Александровна, аспирант кафедры градостроительства. E-mail: opeslyak@mail.ru. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-ая Красноармейская ул., 4

Поступила в январе 2019 г.

© Монастырская М.Е., Песляк О.А., 2019

^{1,*}*Monastyrskaya M.E., ¹Peslyak O.A.*

¹*Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Russia, 190005, Saint Petersburg, 2-nd Krasnoarmeyskaya st., 4*

**E-mail: gradoved@gmail.com*

THE METHOD OF DETERMINING THE BOUNDARIES OF URBAN AGGLOMERATIONS

Abstract. *The author's method of determining the boundaries of urban agglomerations has been developed through the synthesis of modern domestic and European ways to define the boundaries of large urban areas, taking into account the actual goals and objectives of regional (sub-regional) urban planning and territorial planning. It is based on the results of differentiated and complex analysis of town-forming processes occurring in the agglomerated territories. The principles of determining the boundaries of urban agglomerations are established, the choice of the territorial cell for statistical and cartographic analysis is justified, and the algorithmic sequence of determining the boundaries of urban agglomerations is developed. Specific recommendations on the composition of the necessary initial data, on the use of geoinformation systems for the analysis and processing of initial cartographic, planographic, statistical and other materials are given. Particular attention is paid to the application of network analysis of geoinformation data processing module based on the service of route building using dynamic data on road traffic and cartographic data. In addition, to the methods of identifying morphological maturity and connectivity of urban areas relying on high-resolution satellite images and topographic maps and to the review of methods for determining the volume of pendulum migrations between settlements of urban agglomeration. The proposed method is applied on the example of St. Petersburg agglomeration.*

Keywords: *urban planning systems, urban agglomerations, urban areas, borders, delimitation.*

REFERENCES

1. Mityagin S.D. Agglomeration as an object of management. Digest Urban Planning. The era of changes. StP.: Zodchiy Publishing house, 2016, 221 p.
2. Gutnov A.Eh. The evolution of urban planning. M.: Stroyizdat, 1984, 256 p.
3. Population of the Russian Federation by cities, towns and districts as of 1 January 2007. Rosstat, 2007, 194 p.
4. Antyufeev A.V., Ptichnikova G.A. Linear city. Town planning system of "Big Volgograd": monography. Volgograd: VolgGTU, 2018, 196 p.
5. Gashenko, A.E. Architectural and urban morphology of Novosibirsk: monography. Novosibirsk, 2016, 192 p.
6. Zhukovskij R.S. Comparative analysis of theoretical models of social and business sub-centers and the city center. Bulletin of the Perm national research Polytechnic University. Applied ecology. Urbanistics. 2016, no. 2 (22), pp. 6-32. Available at: <http://vestnik.pstu.ru>.
7. Monastyrskaya M.E. Review of the official opponent for the dissertation of R. S. Zhukovsky "Formation of social and business sub-centers of large and largest cities (on the example of cities of Western Siberia)". Available at: <http://marhi.ru>.
8. Monastyrskaya M.E., Peslyak O.A. Innovative algorithms for determining the boundaries of urban agglomerations and urbanized regions. Innovative album of the Russian Academy of architecture and construction Sciences, 2018, no. 2017-1, pp. 9–10.
9. Moiseev Ju.M. Thresholds of uncertainty in the system of urban planning: autoref. dis.... doctor of arch. M., 2017, 48 p.
10. Maloyan G.A. On the problem of formation of urban agglomerations. Academia. Arhitektura i stroitel'stvo, 2012, no 2, pp. 83–85.
11. Monastyrskaya M.E., Peslyak O.A. Modern methods of delimitation of urban agglomerations (European science and practice). Urban planning and architecture, 2017, no 3(28), pp. 80–86.
12. Selivanova T.I. Cheboksary city agglomeration: delimitation and analysis. Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographical series, 2011, no. 6, pp. 43–53.
13. Krasovskaya O.V., Skatershchikov S. V. Questions of definition of borders and development of planning structure of the largest agglomerations of Russia in relation to the scheme of territorial planning of St. Petersburg and the Leningrad region including the St. Petersburg city agglomeration. Architectural Petersburg, 2018, no. 3 (58), pp. 24–31.
14. The concept of joint urban development of St. Petersburg and the Leningrad region (agglomeration) for the period up to 2030 with the prospect of 2050. Available at: <http://old.arch.lenobl.ru>.
15. Scenarios and prospects of development of the Yekaterinburg agglomeration (Ministry of construction and infrastructure of the Sverdlovsk region in the framework of the work). Available at: <http://minstroy.midural.ru>.
16. Kolyasnikov V.A., Spiridonov V.Ju. Modern theory and practice of urban development: spatial development of settlement: textbook for University students. Ekaterinburg: Architecton, 2016, 194 p.
17. Kolyasnikov V. A. Modern theory and practice of urban planning: territorial planning of cities: textbook. Ekaterinburg: Architecton, 2010, 406 p.
18. Scheme of territorial planning of Krasnoyarsk agglomeration. Available at: <http://minstroy.krskstate.ru>.
19. Strategy of socio-economic development of the Krasnoyarsk territory until 2030. Available at: <http://www.krskstate.ru>.
20. Resolution of the government of the Krasnoyarsk territory no. 449-p "On approval of the territorial planning scheme of the Krasnoyarsk territory" (as amended on 27.12.2016). Available at: <http://docs.cntd.ru>.
21. Kukina I.V. Tendencies of development of agglomerations. Foreign experience. Krasnoyarsk: SFU, 2014, 142 p.
22. Kukina I.V. Conceptual understanding of the structure of agglomeration in foreign countries. Problems of development of agglomerations in Russia: collection of scientific researches. M.: URSS, 2009, pp. 83–107.
23. Kukina I.V. Regulations of free development of urban areas in the planned creation of agglomerations in foreign countries. Academia, 2011, no. 3, pp. 81–87.
24. Neshchadin A., Prilepin A. Urban agglomerations as an instrument rapid socio-economic development of regions of Russia. Society and economics, 2010, no. 12, pp. 121–139.
25. Andrievskaya V.P., Estrin A.P., Akhmedova E.A., Karakova T.V., Shabanov V.A. Strategic urban planning: a monography. Samara, 2001, 200 p.
26. Dubrovin P.I. Agglomerations of cities (Genesis, Economics, morphology). Questions of geography. Geography of urban and rural settlements. M., 1959, pp. 23–37.
27. Polyan P.M. Methods of selection and analysis of the reference frame of settlement. M.: AN SSSR, Geography Institute, 1988, 64 p.
28. Skachkova M.E., Monastic M.E. Introduction to urban planning. Legal and information support. SPb.: LAN Publishing House, 2019, 268 p.

29. Vliegen M. Metropolitan agglomerations and urban regions delimited. Netherlands Graduate School of Housing and Urban Research, 2005.

30. Definition of a Methodology to delimitate metropolitan areas in Europe Case Study: Accessibility in Barcelona Metropolitan Region by public and private transport. MCRIT. 2013. Available at: www.espon.eu.

31. Sheveleva E.E. Control system of the agglomeration process: Russia and Western Europe. PSE, 2012, no. 2. Available at: <https://cyberleninka.ru>.

32. Limonov L.E., Batchaev A.R. St. Petersburg and Leningrad region: communications, problems, coordination of agglomeration development. Spatial economy, 2013, no. 1, pp. 123–135.

33. Khodachek A.M. On the St. Petersburg agglomeration based on the concept of urban development. Economics of the North-West: problems and prospects of development, 2016, no. 4 (53), pp. 35–47.

34. Mechnikov L.I. Civilization and great historical rivers (geographical theory of progress and social development). Srednerussky Vestnik of social Sciences, 2008, no. 2 (7), pp. 122–124.

35. The problem of ontological status and working model of social institutions. New and old in theoretical sociology. M.: Publishing house of Sociology Institute RAN, 2006, pp. 7–47.

36. Kovalev A.D. Once again on the formation and civilizational approaches, 1996, no. 1, p. 97–104.

Information about the authors

Monastyrskaya, Marina E. PhD, Assistant professor. E-mail: gradoved@gmail.com. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, Saint Petersburg, 2-nd Krasnoarmeyskaya st., 4.

Peslyak, Oksana A. Postgraduate student. E-mail: opeslyak@mail.ru. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, Saint Petersburg, 2-nd Krasnoarmeyskaya st., 4.

Received in January 2019

Для цитирования:

Монастырская М.Е., Песляк О.А. Методика определения границ городских агломераций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №1. С. 111–121. DOI: 10.12737/article_5c73fc21703586.16507052

For citation:

Monastyrskaya M.E., Peslyak O.A. The method of determining the boundaries of urban agglomerations. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 1, pp. 111–121. DOI: 10.12737/article_5c73fc21703586.16507052

DOI: 10.12737/article_5c73fc224c5338.00189018

¹Тумасов А.А., ^{1,*}Царитова Н.Г.¹Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова
Россия, 346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

*E-mail: ncaritova@yandex.ru

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ОБЪЕМНО-ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФОРМ В АРХИТЕКТУРЕ ИЗ ПЛОСКИХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ СТРУКТУР

Аннотация. Вопросы процесса формирования новых технологических приемов возведения зданий и сооружений, отличающихся высокой степенью индустриализации строительства и унификации элементов, приводят к изучению различных принципов образования объемно-пространственной структуры объекта из плоских разверток. Авторами рассмотрены вопросы образования объемно-пространственных объектов из плоских кинематических структур (ПКС). Выполнен анализ и систематизация объемно-пространственной формы из ПКС: трансформация ПКС изгибом поверхности с закреплением на жесткий контур, трансформация ПКС изгибом поверхности с образованием складок, трансформация ПКС изгибом поверхности с замыканием развертки по контуру. Авторами приведены основные конструктивные схемы ПКС: панельная – где основными элементами являются несущие панели; стержневая – которая состоит из стержней, шарнирно соединенных концами; панельно-стержневая – комбинация несущих панелей и стержней и звездчато-стержневая – модульным элементом является трехлучевая звездчатая конструкция. Все рассмотренные схемы ПКС имеют различие в конструктивном решении, что приводит к особенностям изготовления, транспортировки, сборки и монтажа конструкций на строительной площадке. Рассматриваемые вопросы дают широкий выбор средств в решении архитектурных, конструктивных и технологических факторов формообразования, что способствует развитию творческой деятельности. Разработкой одной из стержневых конструктивных систем занимаются авторы данной статьи. Выбранный тип стержневых конструкций на основе плоской и пространственной триангуляционной сетки дает формообразующие возможности для организаций различных форм и очертаний. Показан новый вид узлового шарнирного соединения. На основе получаемой арочной трансформируемой стержневой системы можно формировать пространства близкие к цилиндрической и сферической форме.

Ключевые слова: плоские кинематические структуры (ПКС), объемно-пространственные формы, трансформация, поверхности, геометрическая закономерность, стержневая конструкция.

Введение. Вопросы развития новых технологических приемов возведения зданий и сооружений, отличающихся высокой степенью индустриализации строительства и унификации элементов, приводят к исследованию различных принципов образования объемно-пространственной структуры объекта из плоских разверток. В область исследований включены различные геометрические поверхности, способные развертываться на плоскости, то есть имеющие плоский раскрой на основе паркетирования. При этом под «паркетированием» следует понимать разбивку плоскости или поверхности на правильные или полуправильные плоские фигуры, между которыми необходима шарнирная связь, чтобы вся плоскость представляла гибкую систему [1].

Методология. Большое значение для получения различных пространственных форм из плоских кинематических структур (ПКС) имеет выбор опорной решетки [2]. Чем больше осей симметрии имеет решетка, тем больше ее комбинаторные возможности, связанные с получением объемных форм на основе преобразований симметрии (отражение, перенос, поворот).

При анализе закономерностей образования объемно-пространственной формы из ПКС, в работе приведена их систематизация на три основных вида:

1. Трансформация ПКС изгибом поверхности с закреплением на жесткий контур.
2. Трансформация ПКС изгибом поверхности с образованием складок.
3. Трансформация ПКС изгибом поверхности с замыканием развертки по контуру.

Следует отметить, что на основе одной геометрической разрезки плоскости возможны два основных решения конструктивных схем – панельная и стержневая. Панельная предполагает, что ПКС состоит из плоских панелей шарнирно соединенных по сторонам, а форма панели соответствует многоугольной фигуре, получаемой в результате разрезки плоскости. Стержневая – ПКС состоит из стержней, шарнирно соединенных концами, длина которых соответствует длине сторон многоугольника плоской фигуры, а шарниры располагаются в вершинах этих фигур.

Основная часть. Рассмотрим первый вид – трансформация ПКС изгибом поверхности с закреплением на жесткий контур (рис. 1).

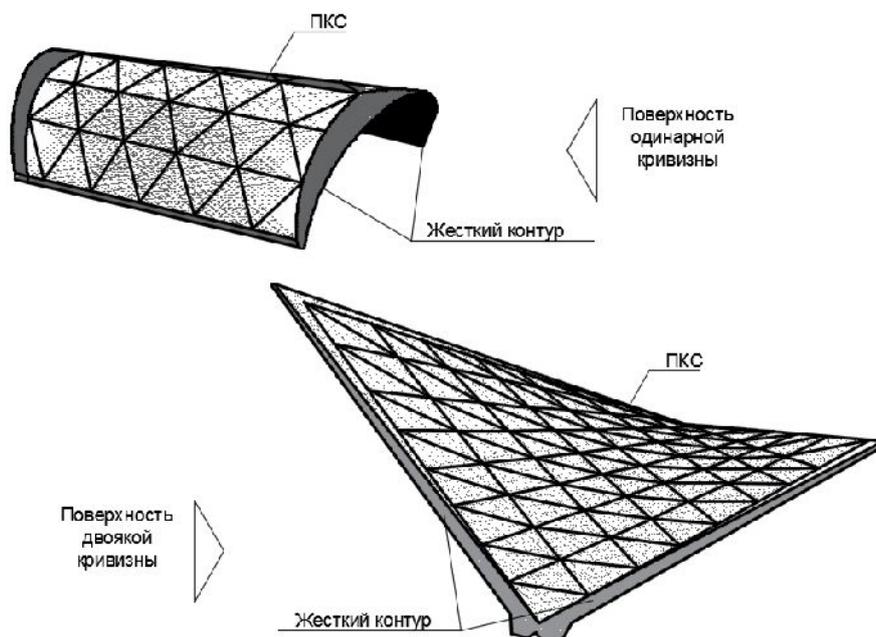


Рис. 1. Трансформация ПКС изгибом поверхности с закреплением на жесткий контур

Трансформацию изгиба в одном направлении технологически возможно производить за счет собственного веса конструкций (гравитационная трансформация). Стабилизация получаемых поверхностей возможна лишь закреплением ПКС на жесткий контур, геометрия которого соответствует направляющим кривым и прямым образующим поверхность.

С опиранием на жесткий контур из ПКС возможно получение поверхностей двойкой кривизны, способных разворачиваться на плоскости [3, 4]. К таким поверхностям относятся гиперболический параболоид.

Второй вид – трансформация ПКС изгибом поверхности с образованием складок (рис. 2), преследует две цели:

а) за счет образования складок добиться необходимой геометрии пространственной поверхности;

б) за счет складок создать пространственную жесткость поверхности. В пространственных складчатых поверхностях ярко проявляется тектоническая связь формы и характера статической работы конструкции, имеющая многочисленные аналоги в природе.

Складчатые поверхности одинарной кривизны представляют собой изогнутую ПКС с вершинами, выведенными из плоскости аппроксимированной кривой. Это различные торсовые поверхности (цилиндрическая, коническая), ис-

пользующие для разрезки ПКС правильные и полуправильные плоские триангуляционные решетки [5, 6].

Изгибом поверхности ПКС и образованием складок возможно получить различные геометрические поверхности двойкой кривизны. Большой интерес представляет образование складчатой сферической поверхности из плоской развертки. При этом за исходные используются известные кристаллографические разрезки сферы [7]. Для создания складчатой оболочки из ПКС, имеющей шарнирные связи, необходимо решать вопросы геометрической стабилизации поверхности фиксацией положения граней относительно друг друга. Эти вопросы решаются на основе анализа геометрической неизменяемости трансформируемой системы.

Третий вид – трансформация ПКС изгибом поверхности с замыканием развертки по контуру, особенность оболочек, получаемых таким способом заключается в том, что ее пространственная жесткость обеспечивается созданием криволинейной поверхности при замыкании развертки по контуру. При этом, необходимым условием замыкания является равенство элементов (сторон многоугольных фигур паркета), соединяемых в местах замыкания развертки.

Наиболее изучены оболочки в виде правильных и полуправильных многогранников, образование которых возможно из разверток ПКС [8].

Выше были рассмотрены геометрические закономерности образования пространственной формы из ПКС; связанные с ее изгибом и образованием складок на контуре. Далее рассмотрим конструктивные схемы ПКС, позволяющие осуществлять технологические операции трансформации и обеспечить эксплуатационную надежность образованной пространственной формы.

Возможно применение многих известных конструктивных схем, характеризующихся основными модульными конструктивными элементами и принципами их соединения (панельная, стержневая, панельно-стержневая, звездчато-стержневая и т.д.). Рассмотрим основные конструктивные схемы, на принципах которых возможно конструирование и других.

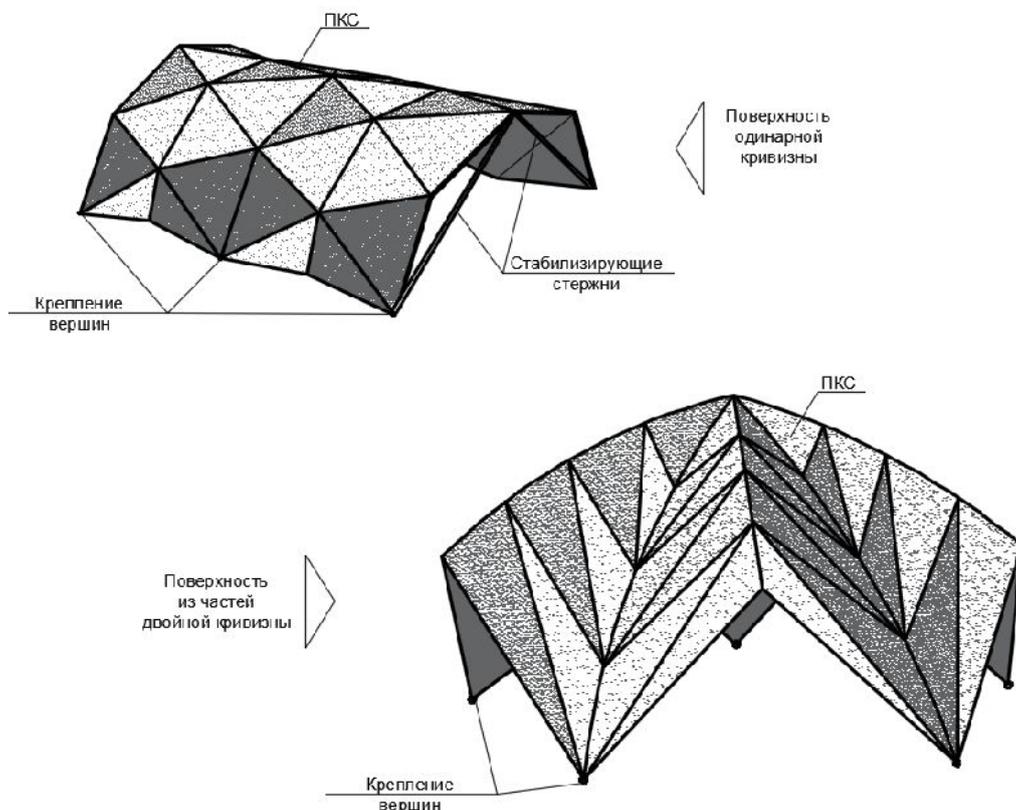


Рис. 2. Трансформация ПКС изгибом поверхности с образованием складок

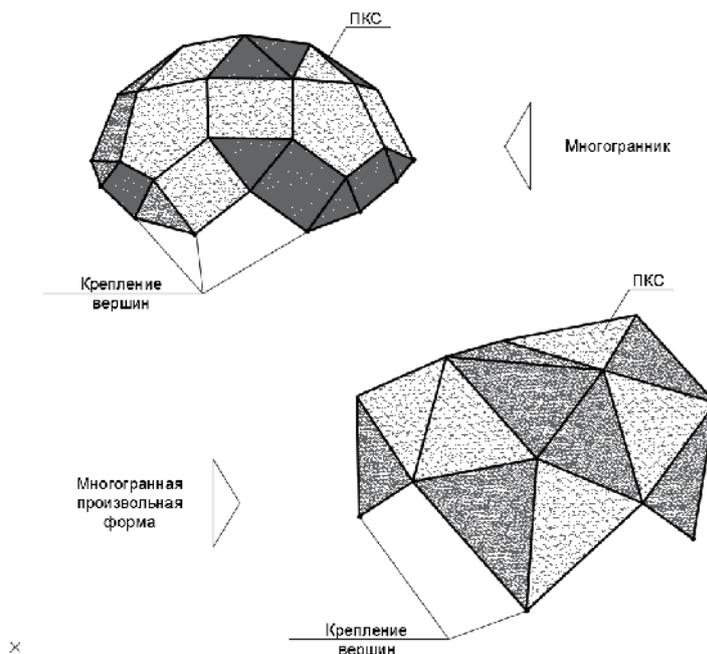


Рис. 3. Трансформация ПКС изгибом поверхности с замыканием развертки по контуру

Первая – это панельная, основными элементами которой являются несущие панели в виде равносторонних треугольников одного типоразмера. ПКС данного вида состоит из треугольных равносторонних панелей, гибкая связь между которыми осуществляется по сторонам с помощью цилиндрических шарниров (рис. 4).

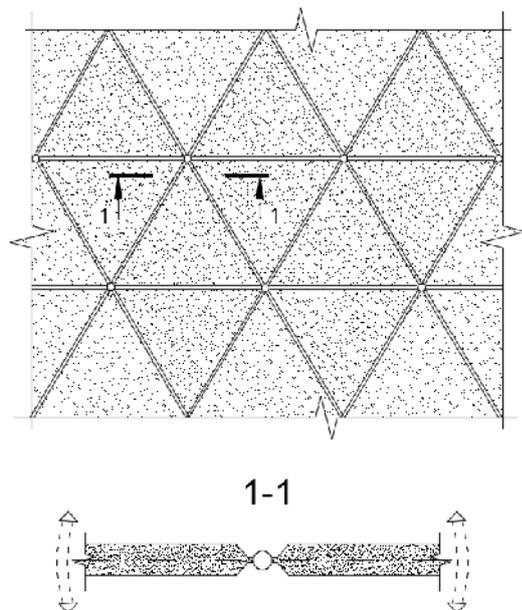


Рис. 4. Панельная конструктивная схема

В процессе трансформации такой системы происходят лишь взаимные повороты панелей относительно общей оси, при этом вся ПКС получает возможность более сложных технологических преобразований (повороты, переносы). Конгруэнтность сборных элементов, унификация их соединения, позволяет собирать различные развертки, а, следовательно, возводить различные по размерам и форме пространственные образования. В полученной оболочке панели одновременно выполняют и несущую и ограждающую функцию. Комбинаторные возможности предлагаемого метода образования пространственной формы на основе номенклатуры панелей одного типоразмера, дает достаточные возможности гибкого решения композиционно-пластических задач в пространственно-временной организации функциональной среды.

Вторая – это стержневая конструктивная система [9]. Геометрическим элементом структурирования является отрезок прямой, который в конструкции ПКС представляет собой стержневой элемент одной длины (рис. 5). Связи конструктивных элементов осуществляется шарнирным соединением по концам. В силу того, что все стержневые элементы и шарниры, соединяющие их, выполняются унифицированными, возможен

монтаж разверток различных очертаний и размеров, а, следовательно, и соответствующим им пространственных форм. Все это дает большие комбинационные возможности в решении функциональных и эстетических задач формирования архитектурной среды.

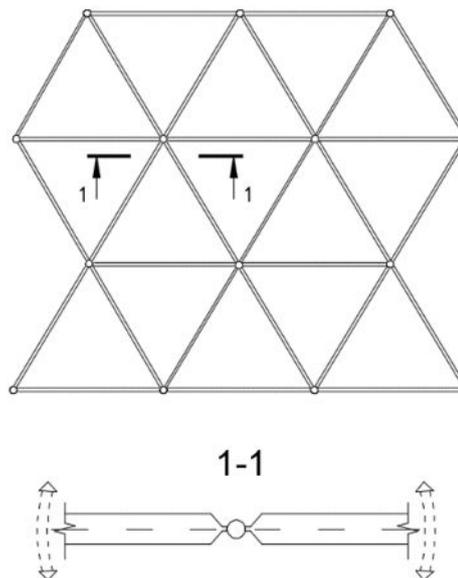


Рис. 5. Стержневая конструктивная схема

Процесс трансформации ПКС происходит за счет поворотов стержней относительно оси, проходящей через центр соединения и лежащей в одной плоскости со стержнями. В местах вырезов на контуре, узле сходятся не шесть, как везде, а пять стержней. На плоскости ориентация стержней в этом узле соответствует триангуляционной решетке. Поэтому четыре плоских угла между стержнями по 60° , а один сдвоенный – 120° . При трансформации ПКС этот узел становится вершиной пятигранной пирамиды, проекция углов при вершине которой на плоскость основания пирамиды по 72° . Следовательно, все стержни в этом узле должны совершать еще поворот в плоскости ПКС относительно оси нормальной этой плоскости и проходящей через центр соединения.

В стержневой конструктивной схеме дифференцируются функции несущего остова и ограждения. Рассмотренная нами трансформируемая система из стержней с шарнирами по концам, образует остов или каркас пространственной формы. Ограждение может быть выполнено из навесных панелей в форме равностороннего треугольника или гибких рулонных материалов. Технологическая возможность осуществлять процесс архитектурного формообразования и конструирования жесткой системы одновременно, использование для получения различных

форм одних и тех же унифицированных элементов, позволяет считать данную конструктивную схему функционально гибкой и высокоиндустриальной.

Третья конструктивная схема – это панельно-стержневая, состоит комбинации несущих панелей и стержней, шарнирное соединение которых осуществляется в узлах структуры (рис. 6).

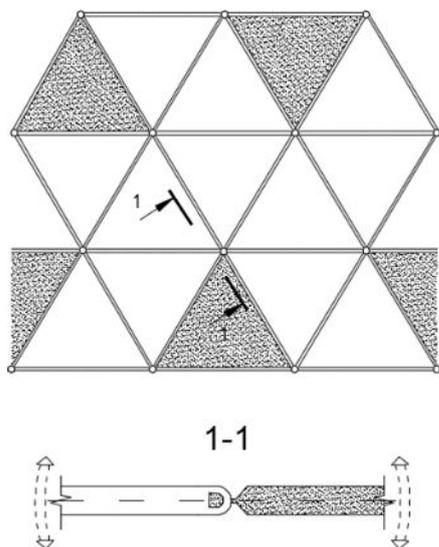


Рис. 6. Панельно-стержневая конструктивная схема

Данная конструктивно-тектоническая интерпретация ПКС триангуляционного вида дает дополнительные возможности пластического развития пространственной формы [10], основанного на использовании таких композиционных средств, как метр и ритм, контраст и нюанс, масштабность членений.

Четвертая конструктивная схема – это звездчато-стержневая, использует известные принципы соединения стержневой схемы, только вместо стержней, модульным элементом является трехлучевая звездчатая конструкция (рис. 7). Шарнирным соединением звездчатых элементов по концам, образуется ПКС, служащая каркасом будущей пространственной формы.

Получаемая форма имеет новое пластическое решение ввиду того, что элементами ее членения являются панели в форме равнобедренных треугольников с углами 30° , 60° и 120° и попарно соединенных шарнирами по длинным сторонам.

Разработкой одной из таких стержневых конструктивных систем занимаются авторы данной статьи. Выбранный тип стержневых конструкций на основе плоской и пространственной триангуляционной сетки дает формообразующие возможности для организаций зальных пространств от малых до больших пролетов, различных форм и очертаний [1]. Стержни соединенные

между собой шарниром (рис. 8), выполненным как продуктивный аналог бионического подвижного соединения [11], представляют собой в однослойном исполнении гибкую триангуляционную сетку, а в двухслойном пространственном исполнении – жесткую структурную плиту [9]. Изгиб и, таким образом, трансформация двухслойной жесткой структурной плиты возможна за счет изменения длины продольных стержней нижнего пояса.

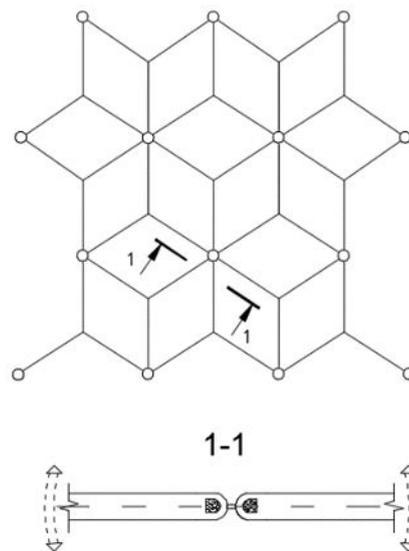


Рис. 7. Звездчато-стержневая конструктивная схема

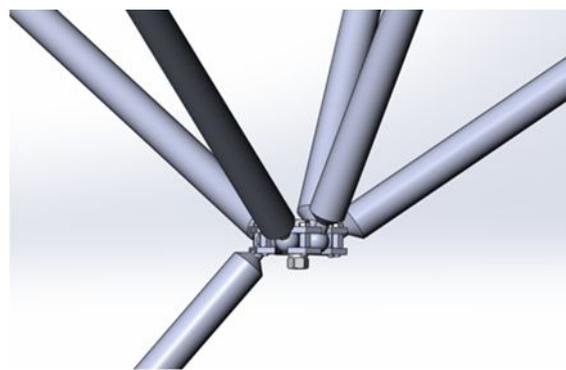


Рис. 8. Шарнирный узел пространственной стержневой конструкции

В настоящей работе рассматриваются формообразующие возможности продольного линейного фрагмента двухслойной стержневой плиты, представляющего собой арку, полученную в результате трансформации стержневой пространственной балки (рис. 9) за счет уменьшения длины продольных стержней нижнего пояса.

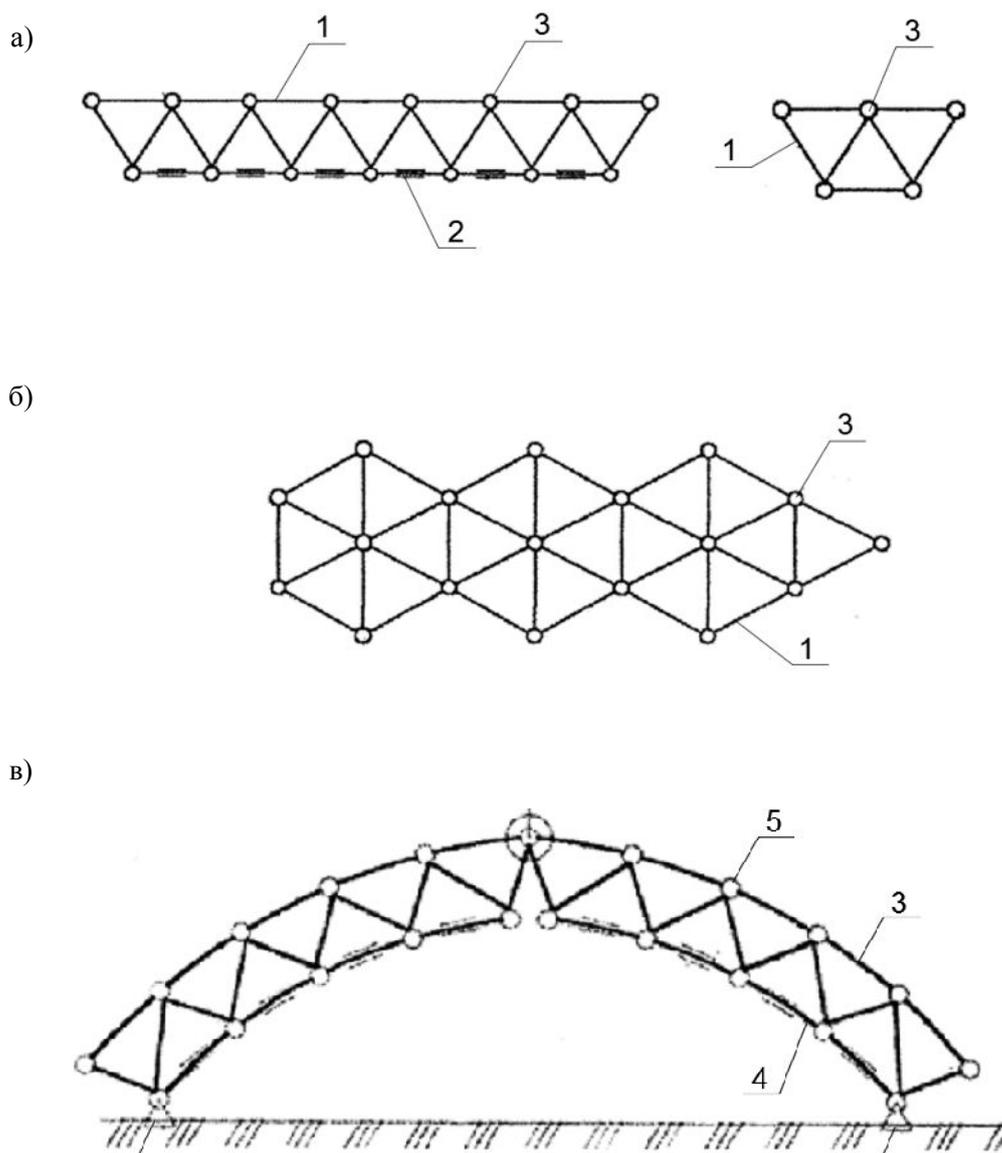


Рис. 9. Линейная стержневая конструкция «БАЛКА-АРКА»: а – вид сбоку балки; б – вид сверху балки; в – вид сбоку полученной в результате изменения длины нижних стержней арки. 1 – стержень, 2 – стержень изменяемой длины, 3 – шарнир

На основе получаемой арочной трансформируемой стрелевой системы можно формировать пространства близкие к цилиндрической и сферической форме. Пространственную жесткость каркасов таких зданий помимо самих стержневых арок обеспечивают связи между ними (рис. 10, а). Сама арка формируется из двух полуарок, в соединении представляющие трех-шарнирную или приведенную двух-шарнирную кинематические системы. Формообразующие возможности пространственной трансформируемой АКС использованы для экспериментального проектирования зданий для спортивно-оздоровительной базы «Дон». Цилиндрическая форма использована для организации пространства игрового зала

с универсальной площадкой размерами 36×18 м. Здание имеет внутренний пролет размером $30,44$ м, длину $58,4$ м, высоту цоколя $0,5$ м, высоту $14,7$ м. Кроме игровой площадки в здании размещается двухэтажная часть; где запроектированы две лестничные клетки, помещения вестибюльной группы, раздевалки с душевыми и туалетами, тренерские помещения, технические помещения. Каркас собран из 7 арочных систем, где использовались стержни длиной $2,8$ м как и в здании столовой. В качестве ограждающих конструкций используются треугольные, прямоугольные и трапециевидные сэндвич-панели, а так же окна аналогичных форм (рис. 10, б).

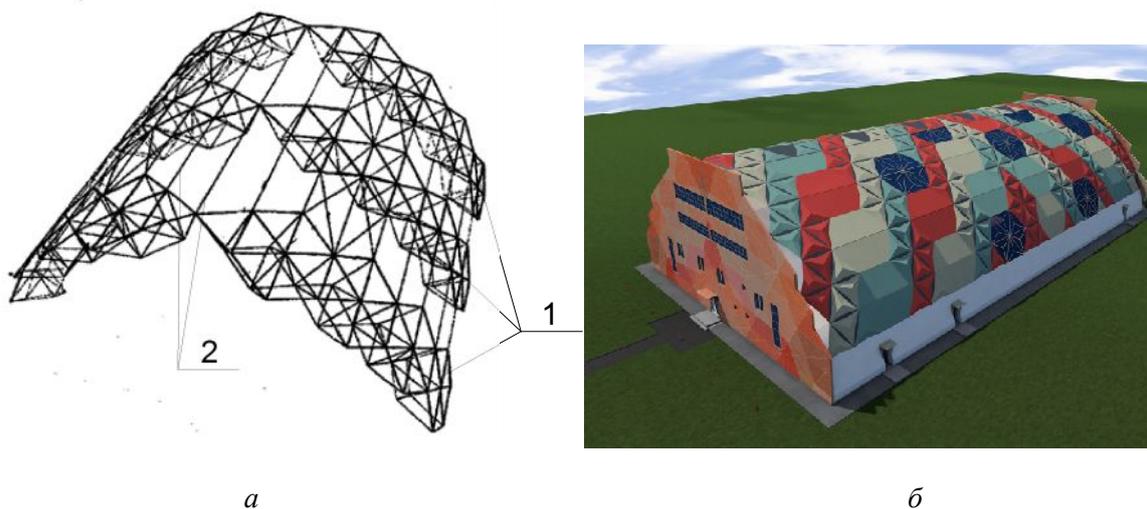


Рис. 10. Каркас здания из стержневых арок:
а – цилиндрическая, *б* – проектное предложение спортивного зала с игровой площадкой 36×20 м.;
 1 – стержневая арка, 2 – стержневые связи

Выводы. Все описанные основные конструктивные схемы ПСК используют одни и те же закономерности геометрического формообразования. Различие в конструктивном их решении сказывается на особенностях технологических операций сборки и стабилизации формы. Например, стержневая ПКС может, при приведении ее в транспортное положение, трансформироваться в плотно упакованный пакет. Для этого необходимо отсоединение некоторых концов стержней от шарнирного узла.

Возможность конструктивно-тектонических комбинаций в процессе пространственно-временной организации среды дает широкий диапазон средств в решении образных задач, способствует развитию творческой деятельности [10].

Изменяемость геометрических параметров зданий и их форм на основе одного набора конструкций, малотрудоемкий процесс монтажа с использованием принципов самовозведения, дают предпосылки для новых исследований в области совершенствования данного типа трансформируемой архитектурно-конструктивной системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тумасов А.А. Архитектурно-композиционные возможности плоских кинематических структур. Архитектурная бионика. Проблемы теории и практики: Сб. ст. М., 1986. С. 63–67.
2. Волков А.И. Паркетирование торсового покрытия оболочки. Харьков: Изд-во Харьковского университета, 1963. С.21–24.

3. Волков А.И. Геометрическая классификация покрытий типа оболочек и складок. В сб. науч. тр.: Вопросы начертательной геометрии и ее приложения. Харьков, 1961. С. 189–191.

4. Колейчук В.Ф., Лебедев Ю.С. Новые архитектурно-конструктивные структуры. М.: Стройиздат, 1978. 64 с.

5. Рюле Г. Пространственные покрытия (конструкции и методы возведения). Том II. Металл, пластмассы, керамика, дерево. М.: Стройиздат, 1974

6. Таиров В.Д. Сетчатые пространственные конструкции. И: Будивельник, 1966. 74 с.

7. Волков А.И. Тектоника структурных пространств с направляющими поверхностями. Техническая эстетика. 1979. № 3. С.14–15.

8. Веннинджер М. Модели многогранников. М.: Мир, 1974. 234 с.

9. Тумасов А.А., Царитова Н.Г. Трансформируемые пространственные стержневые конструкции покрытий // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. №12-3(54). С. 190–194.

10. Тумасов А.А., Царитова Н.Г., Курбанов А.И., Калинина А.А. Геометрические параметры стержневых трансформируемых арочных систем // Строительство и архитектура. 2017. Т.5. №2(15). С. 135–140.

11. Царитова Н.Г., Бузало Н.А. Шарнирный узел пространственной стержневой конструкции регулярной структуры: пат. 2586351 РФ: МПКЕ4В 1/58/

Информация об авторах

Тумасов Александр Анатольевич, кандидат архитектуры, профессор кафедры «Промышленное, гражданское строительство, геотехника и фундаментостроение». Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. Россия, 346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132.

Царитова Надежда Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленное, гражданское строительство, геотехника и фундаментостроение». E-mail: ncaritova@yandex.ru. Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. Россия, 346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132.

Поступила в июле 2018 г.

© Тумасов А.А., Царитова Н.Г., 2019

¹**Tumasov A.A., ^{1,*}Tsaritova N.G.**

¹Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)
Russia, 346428, Rostov Region, Novocherkassk, Str. Prosveschenia, 132
*E-mail: ncaritova@yandex.ru

GEOMETRIC PATTERNS OF VOLUMETRIC AND SPATIAL FORMS IN ARCHITECTURE OF FLAT KINEMATIC STRUCTURES

Abstract. *Issues of new technological methods formation for the construction of buildings and structures, characterized by a high degree of construction industrialization and unification of elements lead to the study of various principles of formation the volume-spatial structure of an object with flat reamer. Authors consider the formation of volumetric and spatial objects of flat kinematic structures (FKS). The analysis and systematization of the volume-spatial form of FKS is carried out: transformation of FKS by bending the surface with fastening to a rigid contour, transformation of FKS by bending the surface with formation of folds, transformation of FKS by bending the surface with closure of reamer around the contour. Authors present the basic design schemes of the FKS: the panel- the main elements are the bearing panels; the rod- consists of rods pivotally connected with their ends; panel-rod – a combination of bearing panels and rods and star-rod – modular element is a three-beam star structure. All considered schemes of FKS have a difference in the design decision that leads to features of production, transportation, assembly and installation of constructions on a building site. The considered questions give a wide choice of means in the solution of architectural, constructive and technological factors of formation that promotes development of creative activity. Authors are engaged in the development of the core structural system. Selected type of rod structures based on planar and volume-spatial triangulation grid provides form-building capabilities for organizations of various shapes and outlines. A new kind of swivel joint is shown. Spaces close to the cylindrical and spherical form can be formed on the basis of resulting arched transformable rod system.*

Keywords: *flat kinematic structure (FKS), volume-spatial forms, transformation, surfaces, geometric pattern, rod structure.*

REFERENCES

1. Tumasov A.A. Architecturae et scribendi facultates plana kinematic structurae. Architecturae bionics. Quaestiones ex theoria et praxis: SB. St. M., 1986, pp. 63–67.
2. Volkov A.I. Packaging finem operi testa. - Kharkov: Libellorum domus Kharkov Universitatis, 1963, pp. 21–24.
3. Volkov A.I. Geometrica divisio de superficiebus talis ut conchis et caulas. - In collection of scientific operatur. Tr.: Quaestiones de descriptive geometria et eius applications. Kharkov, 1961, pp. 189–191.
4. Koleichuk V.F., Lebedev Y.S. New architecturae-aedificant structura. M.: Stroiizdat, 1978, 64 p.
5. Regula G. Spatii coverage (consilium et ratio constructione). Vol. II. Metallum, plastics, lateramen, lignum. M.: Stroiizdat, 1974.
6. Tairov V.D. Reticulum tres-dimensiva structura. Et: Budivelnik, 1966, 74.
7. Volkov A.I. in Tectonics membrorum spatia cum dux superficiebus. Technica aesthetica, 1979, no. 3, pp. 14–15.
8. Wenninger M. Exemplaria polyhedra. M.:Mir, 1974, 234 p.
9. Tumasov A.A., Zarytova N.G. Transformable spatium-frame constructione coatings. International research acta. 2016, no. 12–3(54), pp. 190–194.
10. Tumasov A.A., Tsaritova N.G., Kurbanov A.I., Kalinina A.A. Geometrica urna virga fornice

transformable ratio. *Aedificium et architectura*, 2107, no. 5, №2(15), p. 135–140.

2586351 OF THE RUSSIAN FEDERATION: MPK E 4 1/58/

11. Tsaritova N. G., Buzalo N.A. Hinge Assembly of spatial rod structure of regular structure: Pat.

Information about the authors

Tumasov, Alexander A. PhD, Professor. Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI). Russia, 346428, Rostov Region, Novocherkassk, str. Prosveschenia, 132.

Tsaritova, Nadezhda G. PhD, Assistant professor. E-mail: ncaritova@yandex.ru. Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI). Russia, 346428, Rostov Region, Novocherkassk, str. Prosveschenia, 132.

Received in July 2018

Для цитирования:

Тумасов А.А., Царитова Н.Г. Геометрические закономерности образования объемно-пространственных форм в архитектуре из плоских кинематических структур // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №2. С. 122–130. DOI: 10.12737/article_5c73fc224c5338.00189018

For citation:

Tumasov A.A., Tsaritova N.G. Geometric patterns of volumetric and spatial forms in architecture of flat kinematic structures. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2019, no. 2, pp. 122–130. DOI: 10.12737/article_5c73fc224c5338.00189018

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.12737/article_5c73fc2325bd06.24999916

^{1,*}Мирошникова О.В., ¹Борисов И.Н.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова

*E-mail: miroshnikova.oksana@list.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН, В КАЧЕСТВЕ ВЫГОРАЮЩЕЙ ДОБАВКИ, ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА

Аннотация. Применение техногенных отходов – основная общемировая тенденция в промышленности, которая не обошла и цементное производство. В свою очередь цементное производство обладает рядом преимуществ, позволяющих безопасно для технологического процесса утилизировать отходы. К таким преимуществам можно отнести высокую температуру в печном агрегате, способность жидкой фазы клинкера нейтрализовать тяжелые металлы, а также то, что зольная составляющая отходов участвует в процессе получения клинкера как сырьевой компонент. В статье приведены результаты использования автомобильных шин. Автомобильные шины относятся к гоючесо-доржающим отходам, использование которых в процессе получения цемента достаточно распространено и опробовано на многих предприятиях. В статье рассматривались способы утилизации автомобильных шин в зависимости от используемых в производстве обжиговых агрегатов: длинной печи или короткой печи с циклонными теплообменниками и декарбонизатором. Приведена основная характеристика используемых в работе сырьевых материалов, в частности, наличие зольного остатка и теплотворная способность шин. Влияние шин на прочность цементного камня. Показаны положительные и отрицательные стороны применения шин на основании отечественного и зарубежного опыта, практическая и экономическая эффективность.

Ключевые слова: клинкер, цемент, горючие отходы, автомобильные шины, альтернативное топливо, выгорающая добавка.

Введение. Непрекращающийся поиск способов снижения экономических затрат на производство цемента способствовал развитию перспективного направления – использования техногенных отходов. Список наиболее подходящих для этого отходов изменяется в малой степени, но разрабатываются и создаются технологии позволяющие минимизировать неприятные последствия их использования и увеличить долю их использования по сравнению с первичным горючим топливом. Одним из наиболее популярных и распространенных горючесо-держащих отходов можно считать автомобильные шины. Это связано, прежде всего, с высокой теплотворной способностью, низкой зольностью, постоянством химического состава [1–7].

Цель данной работы заключалась в рассмотрении основных аспектов применения шин, их подготовки и способах сжигания, а также изучении влияния покрышек на качество клинкера.

Теоретическая часть. Имеются следующие агрегаты для утилизации шин при производстве цемента: короткая вращающаяся печь сухого способа производства с теплообменным устройством и длинная вращающаяся печь мокрого способа производства.

Для сухого способа производства возможны следующие варианты:

- подача измельченных автомобильных шин в шахту циклонного теплообменника.

- подача шин совместно с форсуночным топливом в зону спекания печи;

- подача отходов в декарбонизатор с устройством «дожигатель» (FLSmidth, KHD Humboldt Wedag, Thyssen Krupp Polysius).

Для длинной вращающейся печи мокрого способа производства цемента:

- подача целых покрышек автомобиля через систему шлюзовых затворов в зону кальцинирования;

- подача совместно с основным технологическим топливом в зону спекания печи;

- подача предварительно измельченных покрышек вместе с сырьевой смесью с холодного конца печи.

Необходимо отметить, что и предварительная подготовка шин может быть различной, существуют 3 способа подачи шин:

1. Измельчение шин до пыли. К основным положительным моментам здесь можно отнести: удобство хранения и транспортировки, возможность применить подачу с основным технологическим топливом (углем) – через форсунку. Но при этом измельчение шин трудоемкий процесс и в большинстве случаев оно экономически не оправдано.

2. Получение кусков средним размером $8,5 \times 8,5$ см. Аналогично предыдущему случаю к достоинствам можно отнести удобство транспортировки и хранения, а также возможность автоматизации процесса подачи шин. Но и здесь не обошлось без недостатков: наличие в кусках шин металлического корда, выступающего из резины, служит частой причиной поломки систем, транспортирующих их. Кроме того происходит быстрое загрязнение внутреннего оснащения измельчающего агрегата, и требуется его ручная чистка.

3. Целые шины. Преимущество заключается в отсутствии дополнительного оборудования и расходов на измельчение автопокрышек. Сложность при этом возникают трудности с транспортировкой, хранением и подачей шин [8, 9].

Практическая часть. В качестве сырьевых материалов использовались мел, глина и огарки с ЗАО «Белгородский цемент», химический состав полученной сырьевой смеси представлен в табл.1, а также часть автомобильной шины.

Таблица 1

Химический состав сырьевой смеси

Материал	Содержание, %						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Проч.	ППП	Σ
Сырьевая смесь	14,14	3,45	2,78	42,93	1,34	35,25	100

Элементный состав горючей части автомобильной покрышки приведен в табл.2.

Таблица 2

Химический состав горючей части автомобильной шины

Материал	Содержание, %				
	C ^r	H ^r	N ^r	O ^r	S ^r
Резиновая шина	75,5	9,3	1,3	11,6	1,2

Золевая составляющая шин имеет сравнительно небольшое значение, всего 4,7 %, что позволило, при введении небольшого количества отхода, не корректировать сырьевую смесь.

Дифференциально-термический анализ предоставил данные о температуре выхода горючей составляющей и условий выгорания автомобильной шины, рис. 1.

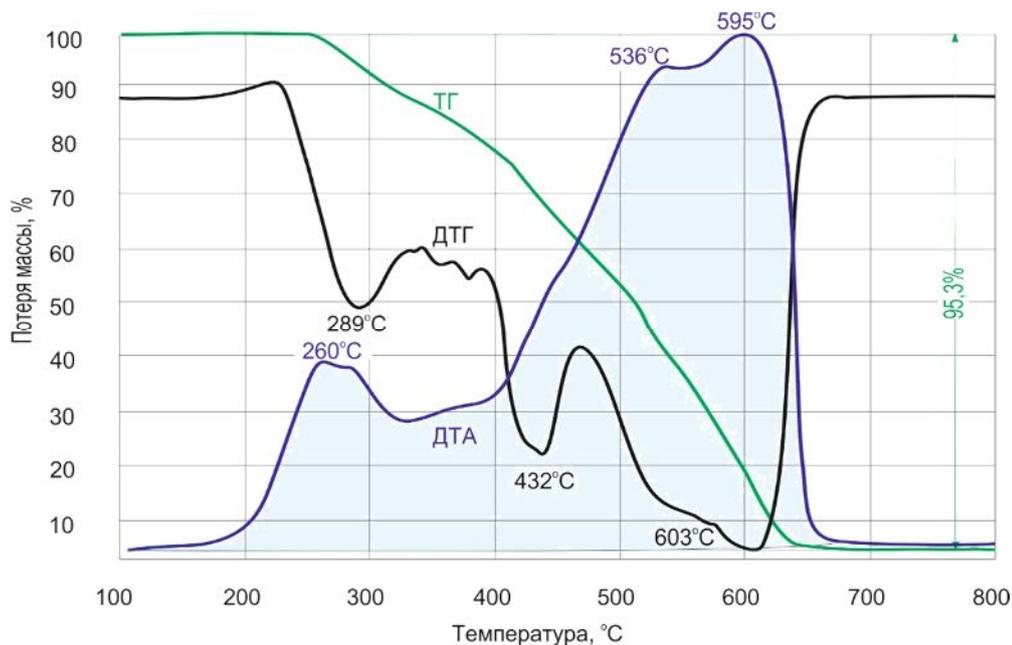


Рис. 1. Результаты комплексного термического анализа резиновой шины

Процесс окисления легколетучей составляющей автомобильных покрышек происходит в интервале от 200 °С до 680 °С. При этой же температуре происходит окисление топлива, что подтверждается экзотермическими эффектами на кривой ДТА. Окончательное выгорание коксового остатка происходит до 680 °С.

В ходе работы резина автомобильных шин измельчалась и вводилась в обожженную до 900 °С сырьевую смесь в количестве 1,5 и 2,0 % горючего вещества шин по сухому сырью. Была смоделирована ситуация введения шин через систему шлюзовых затворов в зону декарбонизации печи мокрого способа производства.

Клинкера, полученные в результате такого обжига, были проанализированы в сравнении с эталонным, бездобавочным образцом.

Фрагменты рентгенограмм экспериментальных, с введением резиновой шины, и рядового клинкеров представлены на рис. 2.

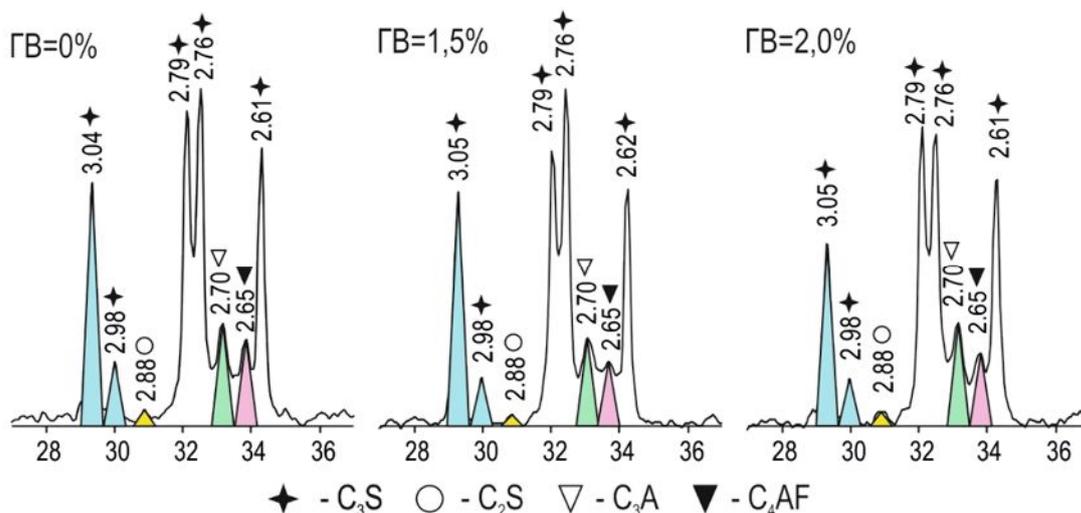


Рис. 2. Фрагменты рентгенограмм клинкеров содержащих 0; 1.5и 2.0% резиновой шины горючего вещества по сухому сырью

Основными фазами, полученными в результате как рядового клинкера, так и экспериментальных клинкеров с введением 1,5 % и 2,0 % горючего вещества по сухому сырью являются алит (пики 3.04; 2.98; 2.79; 2.76; 2.61Å), белит (пики 2.88; 2.79; 2.76; 2.61Å), трехкальциевый алюминат (пик 2.70Å) и четырехкальциевый алюмоферрит (пик 2.65Å).

Интенсивность пиков алита, белита, трехкальциевого алюмината и четырехкальциевого алюмоферрита экспериментальных клинкеров практически не уступает интенсивности эталонного клинкера.

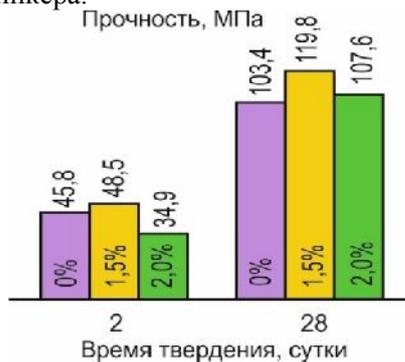


Рис.3 Активность клинкера на 2 и 28 сутки гидратации при введении горючего отхода – автомобильной шины

На рис. 3 приведена активность клинкера на 2 и 28 сутки гидратации цемента, в зависимости от вводимого при обжиге клинкера горючего вещества шин по сухому сырью. Прочностные показатели, позволяют говорить об отсутствии неблагоприятного влияния автопокрышек на качество клинкера. Нет определенной зависимости и в процессе гидратации цементов, например на 28

сутки твердения, что подтверждается данными комплексного термического анализа.

Полученные данные дифференциально-термического анализа (DTA) и потери массы (TG) показывают, что после двухсуточного твердения, когда при обжиге бездобавочной смеси прочность цементного камня равна 45.8 МПа и при содержании в сырьевой смеси 1,5 % резиновой шины – 48,5 МПа, кривые КТА несколько различаются. По величинам DTA и TG в области 450 С фиксируется различное содержание Ca(OH)₂, у бездобавочной смеси наибольшее количество Ca(OH)₂, тогда как у смеси 1,5 % резиновой шины данное содержание значительно меньше. При этом после двухсуточного твердения потеря массы наибольшая у образцов, обладающих наибольшей прочностью, а через 28 суток твердения закономерности не наблюдается (рис. 4).

Полученные данные дифференциально-термического анализа (DTA) и потери массы (TG) показывают, что после двухсуточного твердения, когда при обжиге бездобавочной смеси прочность цементного камня равна 45,8 МПа и при содержании в сырьевой смеси 1,5 % резиновой шины – 48,5 МПа, кривые КТА несколько различаются. По величинам DTA и TG в области 450 °С фиксируется различное содержание Ca(OH)₂, у бездобавочной смеси наибольшее количество Ca(OH)₂, тогда как у смеси 1,5 % резиновой шины данное содержание значительно меньше. При этом после двухсуточного твердения потеря массы наибольшая у образцов, обладающих наибольшей прочностью, а через 28 суток твердения закономерности не наблюдается (рис. 4).

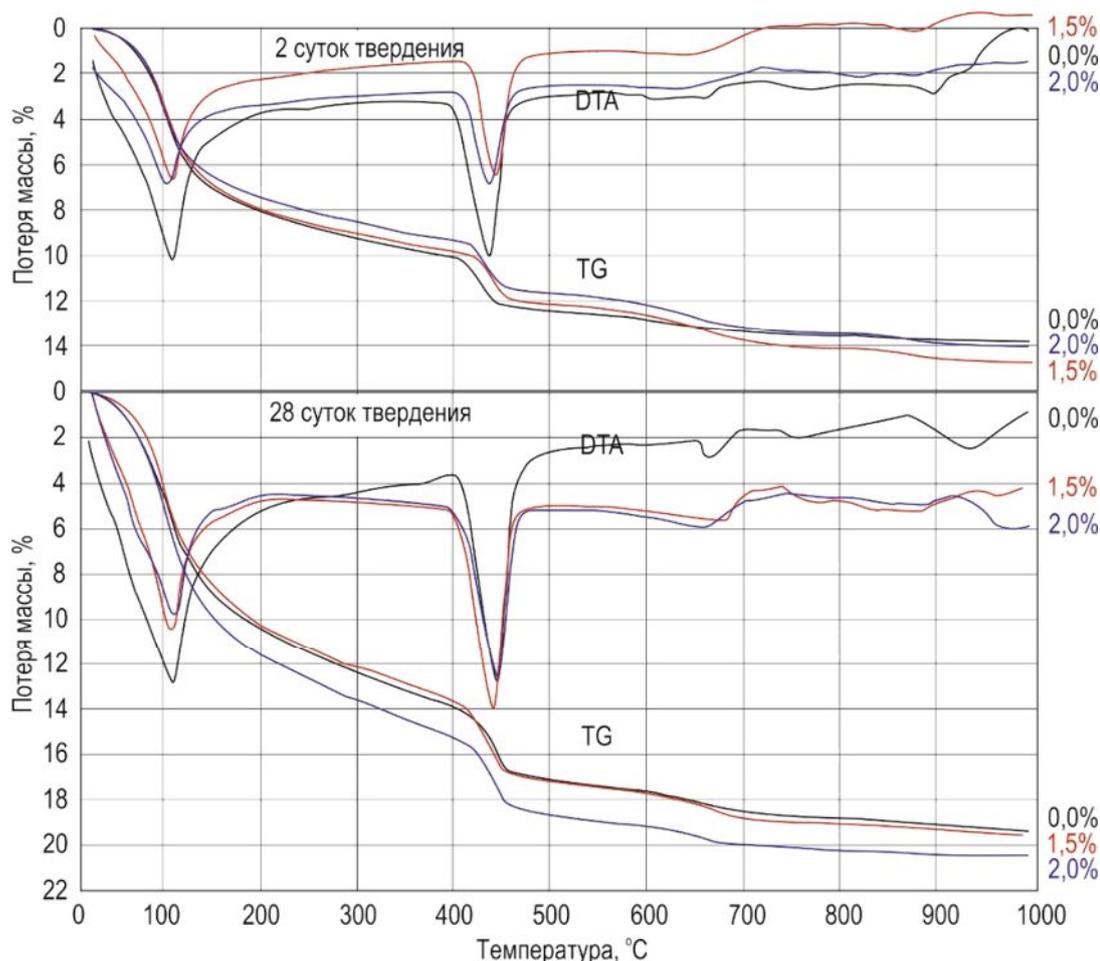


Рис. 4 Термограммы гидратированных цементов, с использованием 0, 1.5 и 2.0% ГВ резиновой шины при обжиге клинкера

Основным показателем, от которого зависит эффективность использования горючесодержащих отходов, является экономия технологического топлива. При использовании 2 % автомобильных шин экономия может составить около 12 %.

Вывод. С позиции применения горючесодержащих отходов, подтвержден потенциал использования автомобильных шин для экономии основного технологического топлива, а также выявлены следующие положительные стороны от введения данного отхода в процессе получения клинкера, на основании, как проведенного исследования, так и многолетнего мирового опыта [10–15]:

- шины обладают высокой калорийностью, вследствие чего при введении всего 2 % шин возможна замена до 12 % основного технологического топлива;

- шины безотходно используются при получении клинкера, то есть наличие металлического корда не ведет к неблагоприятным последствиям, а способствует замене небольшой части железосодержащего компонента. Зольная часть

составляет 4,7 % шин, и при введении 2 % отхода не требует корректировки сырьевой смеси.

- применение автомобильных шин в процессе получения цементного клинкера практически не оказывает влияние на качество готового продукта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бушихин В.В., Ломтев А.Ю., Колтон Г.П. Вовлечение в хозяйственный оборот резиновой крошки и альтернативных видов топлива // Экология производства. 2014. №10. С. 59–62.
2. Аленцин Б.В.М., Полужникова А.С. Утильные шины – альтернативное топливо для цементной промышленности. Формирование сырьевых потоков // ЦементИнформ. 2014. №1. С. 29–30.
3. Кузьменков М.И., Хотянович О.Е., Мельникова Р.Я., Сушкевич А.В. Влияние продуктов сгорания изношенных автомобильных покрышек на качество цемента и бетона // Цемент и его применение. 2013. №4. С. 103–104.

4. Просви́рин С.А., Хотяно́вич О.Е. Использо́вание отходов для подгото́вки альтернативного топлива на ОАО «Мордовцемент» // Цемент и его применение. 2012. №6. С. 76–79.
5. Шубин В.И. Применение техногенных материалов, в том числе и горючих отходов при производстве цемента // Цемент Информ. 2014. №1. С. 3–8.
6. Мандрикова О.С., Борисов И.Н. Применение топливосодержащих отходов в производстве цемента // Цемент Информ. 2014. № 1. С. 9–11.
7. Романенко В.П. Применение в качестве альтернативного топлива при обжиге клинкера изношенных автомобильных шин и торфяных брикетов на ОАО «Белорусский цементный завод» // Цемент Информ. 2014. №1. С. 31–33.
8. Tokheim L.-A, Dr.-Ing. Kiln system modification for increased utilization of alternative fuels as Norcem Brevik // Cement international. 2006. №4. Vol. 4. С. 52–59.
9. Шины, в качестве топлива в цементных печах [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cement.ucoz.ru/publ/57-1-0-87> (дата обращения: 20.08.2018).
10. Скупин Л. Использование альтернативных видов топлива // Цемент. 2013. №4. С. 130–132.
11. Киреев Ю.Н., Шюрманн Х. Альтернативное топливо и альтернативные сырьевые материалы – опыт KHD HUMBOLDT WEDAG на постсоветском пространстве // Цемент Информ. 2014. №1. С. 15–20.
12. Rivero R., Del Rio R. An advanced technological strategy for energy and the environment // Strategic Planning for energy and the environment. 2000. Vol. 19. № 3. P. 9–24.
13. Бушихин В.В., Полозов Г.М., Кайгородов О.Н., Федосеев О.Е. Традиционные энергоносители и альтернативное топливо // Цемент. 2013. №1. С. 80–84.
14. Князев Я.И., Желтобрюхов В.Ф. Мировой опыт использования ТБО для цементной промышленности // Цемент Информ. 2014. №1. С. 66–73.
15. Мирошникова О.В., Борисов И.Н. Использование различных горючих отходов в производстве цемента // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №7. С. 71–76.

Информация об авторах

Мирошникова Оксана Викторовна, аспирант кафедры технологии цемента и композиционных материалов. E-mail: miroshnikova.oksana@list.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Борисов Иван Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии цемента и композиционных материалов. E-mail: borisov@intsel.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в ноябре 2018 г.

© Мирошникова О.В., Борисов И.Н., 2019

^{1,*}*Miroshnikova O.V., ¹Borisov I.N.*

¹*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46*

^{*}*E-mail: miroshnikova.oksana@list.ru*

UTILIZING TIRES AS A COMBUSTIBLE ADDITIVE IN CEMENT PRODUCTION

Abstract. *The use of technogenic waste is a worldwide industry trend, which is implemented in cement production as well. In turn, cement production has a number of advantages that make it possible to dispose of waste maintaining the safety of manufacturing process. Such advantages include the high temperature of the furnace unit and the ability of the clinker liquid to neutralize heavy metals. In addition, the ash constituent of the waste is used as a raw component for the clinker production. The article reports the results of utilizing car tires. Car tires belong to combustible waste, the use of which in cement production is widespread in many factories. The article covers the ways of car tires disposal depending on the type of roasting kiln used in the production: either long kiln or a short kiln with cyclonic heat exchangers and a decarbonizer. The main characteristics of the raw materials used are provided, in particular - the presence of the ash residue and the tires' heat capacity. Influence of the car tires on the strength of the cement rock is demonstrated. The article presents pros and cons of using car tires based on domestic and foreign experience, as well as its practical and economic efficiency.*

Keywords: *clinker, cement, combustible waste, car tire, alternative fuel, burnable additive.*

REFERENCES

1. Bushikhin V.V., Lomtev A.Yu, Kolton G.P. Including rubber granules and alternative fuels in the economic turnover. *Ecology of Production*, 2014, no. 10, pp. 59–62.
2. Alentin B.V.M., Pluzhnikova A.S. Scrap tires are an alternative fuel for the cement industry. Formation of raw material flows. *Cement Inform*, 2014, no. 1, pp. 29–30.
3. Kuzmenkov M. I., Jotanovic O. E., Melnikova R. I., Sushkevich A. V. Influence of combustion products of worn tires on the quality of cement and concrete. *Cement and its Applications*, 2013, no. 4, pp. 103–104.
4. Prosvirin S.A., Hotyanovich O.E. Use of waste for preparation of alternative fuel at JSC Mordovcement. *Cement and its Applications*, 2012, no. 6, pp. 76–79.
5. Shubin V.I. The use of technogenic materials, including combustible waste, during cement production. *Cement Inform*, 2014, no. 1, pp. 3–8.
6. Mandrikova O.S., Borisov I.N. The use of fuel-containing waste in cement production. *Cement Inform*, 2014, no. 1, pp. 9–11.
7. Romanenko V.P. Application as an alternative fuel in the firing of clinker worn tires and peat briquettes at JSC Belarusian cement plant. *Cement Inform*, 2014, no. 1, pp. 31–33.
8. Tokheim L.-A, Dr.-Ing. Kiln system modification for increased utilization of alternative fuels as Norcem Brevik. *Cement international*, 2006, no. 4, vol. 4, pp. 52–59.
9. Ires, as fuel in cement kilns. Available at: <http://www.cement.ucoz.ru/publ/57-1-0-87> (accessed 20.08.2018).
10. Skupin L. Use of alternative fuels. *Cement*, 2013, no. 4, pp. 130–132.
11. Kireev Yu.N., Shurman H. Alternative fuel and alternative raw materials-experience of Humboldt WEDAG KNV in the post-Soviet space. *Cement Inform*, 2014, no. 1, pp. 15–20.
12. Rivero R., Del Rio R. An advanced technological strategy for energy and the environment. *Strategic Planning for energy and the environment*, 2000, vol. 19, no. 3, pp. 9–24.
13. Bushikhin V.V., Kaigorodov O.N., Polozov G.M., Fedoseyev O.Ye. Traditional energy carriers and alternative fuel. *Cement*, 2013, no. 1, pp. 80–84.
14. Knyazev Y.I., Zheltobryukhov V.F. International experience of using MSW for cement production. *Cement Inform*, 2014, no. 1, pp. 66–73.
15. Miroshnikova O.V., Borisov I.N. The use of various types of combustible waste in cement production. *Vestnik BSTU named after V.G. Shukhov*, 2018, no. 7, pp. 71–76.

Information about the authors

Miroshnikova, Oksana V. Postgraduate student. E-mail: miroshnikova.oksana@list.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Borisov, Ivan N. PhD, Professor. E-mail: borisov@intsel.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in November 2018

Для цитирования:

Мирошникова О.В., Борисов И.Н. Использование автомобильных шин, в качестве выгорающей добавки, при производстве цемента // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №2. С. 131–136. DOI: 10.12737/article_5c73fc2325bd06.24999916

For citation:

Miroshnikova O.V., Borisov I.N. Utilizing tires as a combustible additive in cement production. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2019, no. 2, pp. 131–136. DOI: 10.12737/article_5c73fc2325bd06.24999916

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.12737/article_5c73fc2c5a8a36.45902159

¹Кайтуков Б.А., ^{1,*}Скель В.И., ¹Горайнова П.О.¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
Россия, 129337, Москва, ул. Ярославское шоссе, д. 26

*E-mail: SkelVI@mgsu.ru

ГРАВИТАЦИОННЫЕ БЕТНОСМЕСИТЕЛИ С УНИФИЦИРОВАННЫМИ МЕХАНИЗМАМИ ПРИВОДА

Аннотация. Рассмотрена проблема ограничения типоразмерного ряда механизмов привода гравитационных бетоносмесителей на основе широкой унификации их комплектующих элементов. Проведен анализ методик унификации технических систем, который представлен последовательностью логических шагов, обеспечивающих системный подход к разработке рациональных конструкций бетоносмесителей и комплектующих их элементов. Предложена методика унификации механизмов привода гравитационных бетоносмесителей на базе унифицированных планетарных блок-модулей и методики выбора рациональных кинематических схем и конструкции смесителей, позволяющих получить широкий диапазон передаточных отношений и оптимальных скоростей вращения рабочих органов бетоносмесителей. Рост потребности в бетоносмесителях стимулирует процесс совершенствования конструкции и механизмов привода, но возрастает и многообразие видов привода. Поэтому создание бетоносмесителей с унифицированными планетарными модульными механизмами привода позволяет снизить затраты при эксплуатации и повысить надежность и качество смесителей.

Ключевые слова: гравитационный бетоносмеситель, унификация, механизм привода, рабочий орган, планетарная передача, специализация, кооперация.

Введение. Рост строительства в стране, создание прогрессивных видов бетонных смесей вызывает необходимость в интенсификации процесса перемешивания смесей, расширение номенклатуры и создание принципиально новых конструкций бетоносмесителей. Требование к создаваемым бетоносмесителям заключается в универсальности их применения независимо от реологических характеристик бетонных смесей. В настоящее время наблюдается рост номенклатуры бетонных смесей, изменяются их реологические характеристики и, в этой связи, актуальным становится вопрос совершенствования, а в некоторых случаях создания новых конструкций смесителей и их механизмов привода.

Важно, при создании новых бетоносмесителей учитывать вопрос повышения интенсификации процесса перемешивания и получения однородности смесей.

Исследования показали необходимость создания смесителей с интенсивными режимами перемешивания, что позволяет: приготовить в одном смесителе бетонные смеси с различными реологическими характеристиками и существенно повысить универсальность смесительного оборудования [1–4].

Методология. Технология приготовления смесей на таком оборудовании уменьшает время

перемешивания смесей, повышается производительность, снижается износ брони и лопастей рабочих органов бетоносмесителей.

Производительность смесителей определяется продолжительностью перемешивания смесей. От величины этого показателя зависят удельные показатели работы смесителей. Для гравитационных бетоносмесителей в ГОСТ 7473-2010 приведена наименьшая продолжительность перемешивания бетонной смеси в пределах от 60 до 120 с, но не приводится зависимость времени перемешивания от качества исходных материалов и интенсивности перемешивания смесей. Время перемешивания в бетоносмесителях увеличивается из-за применения некачественных заполнителей и несоответствия требованиям стандартов гранулометрического состава заполнителей, а это отрицательно влияет на однородность и качество бетона. При установлении оптимального времени перемешивания смеси, необходимо учитывать конструктивные особенности смесителей и возможности их механизмов привода.

Отечественные производители и зарубежные фирмы предлагают различные по назначению и номенклатуре гравитационные бетоносмесители, с объемом готового замеса в пределах от 33 до 3000 л [4–7]. Технические характеристики некоторых гравитационных бетоносмесителей

отечественного производства приведены в табл. 1.

Основное преимущество гравитационных бетоносмесителей заключается в том, что в них можно приготовить смеси с наибольшей крупностью заполнителей, до 180 мм. При любых вяжущих и заполнителях, они обладают невысокой

энергоемкостью от 1,1 до 1,3 кг ч/м³. Для смесителей с объемом загрузки от 60 до 4500 л установили, что продолжительность смешивания компонентов смеси находится в пределах от 90 до 180 с, а скорость вращения смесительного барабана в пределах от 0,52 до 3,11 м/с [4, 5].

Таблица 1

Технические характеристики гравитационных бетоносмесителей

Показатель		Единица измерения	Марка бетоносмесителя							
			СБ-101	СБ-116А	С-739Б	СБ-16Б	СБ-91	СБ-153 (СБ-94)	СБ-103	СБ-162
Объем по загрузке сухими составляющими и готового замеса	л		100	100	250	500	750	1500	3000	4500
	л		65	65	165	330	500	1000	2000	3000
Максимальная крупность заполнителя	мм		40	40	70	70	70	120	140	160
Число оборотов смесительного барабана	1/мин		27	27	20	18	18	17,6	12,6	12
	рад/с		2,83	2,83	2,1	1,89	1,89	-	-	-
Двигатель	частота вращения	1/мин	900	1500	1440	1440	1440	1440	1440	1440
	масса	кг	54	54	75	177	210	450	640	1400
	мощность	кВт	0,6	1,5	1,1	3,0	4,0	15	22	25
Редуктор	тип		2 ^х ступ. цилиндр.	коническо-цилиндр.	3 ^х ступ. коническо-цилиндр.	3 ^х ступ. цилиндр.	цилиндр.	цилиндр.	цилиндр.	цилиндр.
Угол наклона барабана к горизонту	загрузка	град	12°	12°	45°	-	13°	15°	15°	15°
	разгрузка	град	40°	до 40°	45-50°	52°	60°	55°	55°	55°
Масса смесителя		кг	228	250	800	1100	1450	3000	5800	8000

Значительный рост потребности в бетонах в конце прошлого столетия в России потребовал создания в короткие сроки заводов по производству смесительного оборудования различного назначения, в том числе гравитационных бетоносмесителей. Заложенные в таких условиях конструктивные решения, наряду с положительным эффектом, на годы вперед обусловили сохранение существенных недостатков такого проектирования.

Конструкции большинства гравитационных бетоносмесителей состоят из смесительного ба-

рабана, лопастного механизма, траверсы, электродвигателя, двухступенчатых цилиндрических, коническо-цилиндрических или планетарных редукторов, рамы, клиноременной передачи и механизма опрокидывания. Смесительный барабан представляет собой емкость из двух конусов, соединенных цилиндрической обечайкой, внутри барабан футерован плитами из стали, причем на внутренней поверхности барабана закреплены лопасти. Интенсивное перемешивание компонентов бетонной смеси происходит за счет оптимального расположения лопастного меха-

низма, который образует при вращении барабана перекрестное потокообразование смеси. Огромную роль при интенсификации процесса перемешивания и получения однородной смеси играет механизм привода смесительного барабана. Механизмы привода гравитационных бетоносмесителей состоят из двигателя, редуктора и клиноременной передачи.

Качество изготовления зубчатых передач и валов большинства редукторов низкое, элементы привода между собой не унифицированы, причем это наблюдается и в самих конструкциях бетоносмесителей. Зарубежные фирмы Италии, Германии, Японии при проектировании бетоносмесителей стремятся к применению меньшего количества деталей, при этом наблюдается унификация различных бетоносмесителей. Итальянские фирмы выпускают гравитационные смесители с объемом от 0,1 до 0,75 м³, смесительный барабан этих машин выполнен в виде усеченного конуса и цилиндрической части, соотношения которых строго зависят от назначения бетоносмесителя. В приводах этих смесителей применяют разные двигатели: дизельные и электрические. Японские фирмы (KNFA, INI) выпускают гравитационные смесители высокой производительности, объемом готового замеса от 0,23 до 3 м³, причем следует отметить, что при объеме замеса до 2 м³ время перемешивания до 75 с, а при замесе более 2 м³ около 90 с. В различных конструкциях бетоносмесителей внутри серии типоразмеров наблюдается стремление к унификации и однообразию элементов, что позволяет повышать качество изготовления деталей и узлов.

Анализ различных конструкций гравитационных бетоносмесителей позволяет сделать вывод, что движение идет к широкой унификации, как самих бетоносмесителей так и их механизмов привода, что расширяет кооперацию между изготовителями. Унификация предполагает приведение большого многообразия конструктивных исполнений бетоносмесителей к наименьшему числу типоразмеров, рядов и марок, отвечающих запросам потребителей. Создание рационального ряда гравитационных бетоносмесителей требует решения следующих задач: обоснования разработки необходимых типоразмеров; определения особенностей процессов перемешивания компонентов смеси; установления зависимости качества смесей от конструктивных параметров бетоносмесителей; создания надежных рабочих органов и механизмов привода. Анализ нагрузочных характеристик, размеров и конструкций отечественных гравитационных бетоносмесителей показал, что требуется разра-

ботать унифицированные конструкции и рациональные кинематические схемы бетоносмесителей. При создании унифицированных механизмов привода проблема состоит в том, чтобы предложить такие механизмы, которые наименьшим количеством типоразмеров обеспечивали бы весь ряд нагрузочных характеристик, кинематических схем и компоновочных размеров бетоносмесителей.

Основная часть. В качестве рационального варианта решения этой задачи предлагается создание конструктивно-унифицированных планетарных модульных механизмов привода бетоносмесителей [7–10]. Решение задачи сводится к выбору требуемых типоразмеров планетарных модулей. Предлагаются три кинематические схемы, которые конструктивно оформляются в виде планетарных блок-модулей в сочетании с клиноременной передачей и двигателем. Наиболее перспективными и востребованными из представленных в табл. 1 смесителей являются СБ-153 и СБ-162. Бетоносмеситель СБ-153 предназначен для приготовления подвижных бетонных смесей; состоит из рамы, смесительного барабана, привода и импеллера. В целом конструкция машины аналогична ранее представленным в данной работе, но следует выделить кинематическую схему механизма привода смесительного барабана. На рис. 1 представлена кинематическая схема механизма, включающая электродвигатель и двухступенчатый планетарный редуктор.

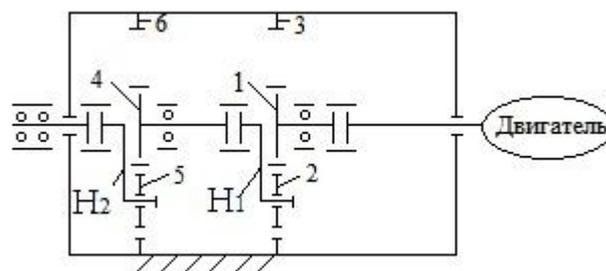


Рис. 1. Кинематическая схема двухступенчатого планетарного редуктора: 1 – солнечное, центральное зубчатое колесо 1^{ой} ступени; 2 – сателлит; 3 – эпициклическое колесо 1^{ой} ступени; H₁ – водило первой ступени; 4 – солнечное зубчатое колесо 2^{ой} ступени; 5 – сателлит; 6 – эпициклическое колесо 2^{ой} ступени; H₂ – водило второй ступени

Рассматривая технические характеристики и конструкции гравитационных смесителей, представленных в табл. 1, приступаем к выбору кинематических схем механизмов привода для бетоносмесителей.

Анализ нагрузочных характеристик, крутящих моментов на тихоходной ступени, передаточных отношений и других факторов показал,

что рациональным конструктивным исполнением механизма привода смесительного барабана при передаче крутящего момента от двигателя к рабочему органу является унифицированный планетарный блок-модуль [7, 8]. Конструктивно блок-модуль в виде планетарного двухступенчатого редуктора будет закреплен неподвижно на траверсе, а на выходном валу редуктора целесообразно установить смесительный барабан, причем выходной вал будет связан муфтой или клиноременной передачей с двигателем. В бетоносмесителях, где предусмотрен загрузочный ковш, в их механизмах привода используется тоже двухступенчатый планетарный мотор-редуктор.

Согласно руководящего документа [7], ряд планетарных модулей включает несколько типоразмеров, где отличительным признаком типоразмера планетарного модуля является радиус расположения осей сателлитов – r , мм или межосевое расстояние – a_w , мм. Отличительным признаком конструктивного исполнения планетарного модуля является рабочая ширина венцов зубчатых передач – b_w , мм; параметры зубчатых модулей указаны в табл. 2.

Планетарные унифицированные двухступенчатые редукторы механизмов привода смесительных барабанов компонуются из ряда (см. табл. 2), кинематические схемы которых представлены на рис. 2 (а, б) [8].

Таблица 2

Технические параметры зубчатых унифицированных модулей

Радиус осей сателлитов, r мм или a_w , мм	Передаточное число i	Ширина зубчатого венца, b_w , мм	
		Исполнение 1	Исполнение 2
40±1,6	6,0±0,2	25	20
50±2,0	7,5±0,25	30	25
80±3,2	8,5±0,35	45	35
90±3,6	5,6±0,22	50	35
112±4,4	6,7±0,16	60	40
125±5	7,5±0,25	75	45

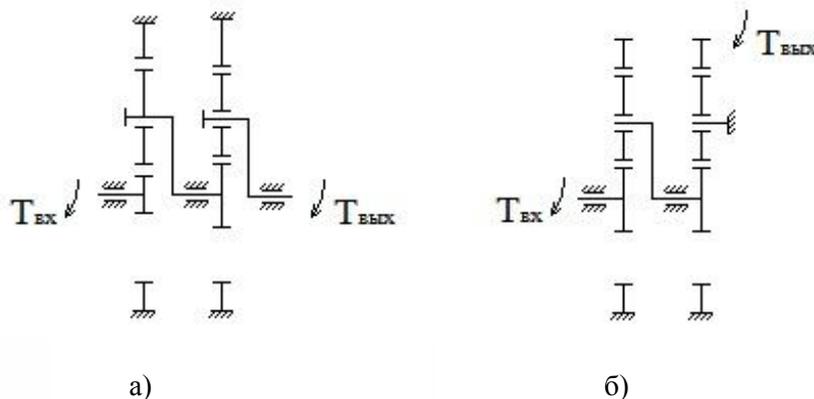


Рис. 2. Кинематическая схема унифицированного двухступенчатого планетарного привода: $T_{вх}$ – крутящий момент на входе; $T_{вых}$ – крутящий момент на выходе

Нагрузочные характеристики и передаточные отношения редукторов некоторых гравитационных бетоносмесителей представлены в табл. 3.

Таблица 3

Крутящий момент и передаточное отношение редукторов бетоносмесителей

Гравитационный бетоносмеситель		СБ-101	СБ-116А	СБ-91	СБ-16Б	С-739Б	СБ-153	СБ-103	СБ-162
Редуктор механизма привода	Крутящий момент, $T_{кр}$	27	200	200	210	250	1150	1590	2150
	Передаточное отношение, U	51	78	80	75	80	44	79,5	120

Унифицируя механизмы привода гравитационных бетоносмесителей отечественного производства (табл. 1 и табл. 3) учитываем то, что смесители уже выпускались по рациональному ряду и имеют оптимальные размеры в части смесительных барабанов, рациональные схемы лопастного аппарата и скорости движения рабочего органа. Перечисленные выше требования, конструкции смесителей, кинематические схемы и паспортные данные позволяют определить мощности двигателей, передаточные числа и отношения планетарных редукторов, кинематические схемы компоновок механизмов привода гравитационных бетоносмесителей. По стандартам и востребованности определяем ряды бетоносмесителей по объемам загрузки, а задача определения оптимальных скоростей вращения рабочих органов гравитационных бетоносмесителей решается аналогично алгоритма представленного в работе [5].

В приводах бетоносмесителей СБ-116А и СБ-101 целесообразно использовать двухступенчатый планетарный редуктор, где в качестве первой и второй ступени необходимо принять два одинаковых модуля, с межосевым расстоянием, $a_w=40$ мм, но разного исполнения, с общим передаточным отношением планетарного редуктора $U_{ред}=36$. Далее обозначение модульного планетарного редуктора в механизмах привода будем представлять, например, в виде 40×40 , иначе два модуля с $a_w=40$ мм. Оптимальная скорость вращения достигается применением электродвигателя мощностью 0,55 кВт, числом оборотов $n_{дв}=900$ мин⁻¹, а с клиноременной передачей с электродвигателем $n_{дв}=1500$ мин⁻¹. Применяя двигатель внутреннего сгорания с числом оборотов $n_{дв}=1500$ мин⁻¹, двигатель (ДВС) устанавливаем на раме, а выходной вал планетарного редуктора необходимо соединить клиноременной передачей с валом ДВС.

В планетарном модульном приводе бетоносмесителя СБ-739Б, в качестве первой ступени планетарного редуктора целесообразно применить модуль, $a_w=40$ мм, а в качестве второй ступени модуль, $a_w=50$ мм, тогда планетарный двухступенчатый редуктор имеет схему: 40×50 , с передаточным отношением, $U_{ред}=44,6$. Для обеспечения требуемой скорости вращения смесительного барабана, при передаче момента от двигателя к входному валу редуктора, ставим клиноременную передачу и электродвигатель мощностью 1,1 кВт, $n_{дв}=1440$ мин⁻¹. Для механизмов привода бетоносмесителей СБ-16Б и СБ-91 рационально применить в качестве первой ступени модуль $a_w=50$ мм, а второй $a_w=83$ мм, по схеме 50×80 с передаточным отношением редук-

тора, $U_{ред}=64$. Для гравитационных бетоносмесителей СБ-152 и СБ-162 необходимо дополнительно определить нагрузочные характеристики при производстве востребованных бетонных смесей и с учетом оптимальных скоростей вращения барабана принять оптимальные кинематические схемы механизмов привода.

Выводы. Исследования в пределах настоящей работы показали, что в строительстве применяют различные виды бетонных смесей и наблюдается тенденция роста номенклатуры за счет новых видов вяжущих и заполнителей. Создание прогрессивных видов бетонных смесей вызывали необходимость в интенсификации процесса перемешивания бетонов, расширение номенклатуры гравитационных бетоносмесителей с требуемыми параметрами перемешивания, технологичными характеристиками бетоносмесителей и новых конструкций с унифицированными надежными механизмами привода. Конструкция планетарного модульного редуктора бетоносмесителя должна включать максимальное число одинаковых, небольших по размерам зубчатых колес и валов, что способствует качественному скачку технического уровня комплекующих смесителей. Широкая унификация гравитационных бетоносмесителей и их элементов способствует росту качества изготовления и, в результате, повышению их надежности в эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Густов Ю.И., Степанов М.А., Кайтуков Б.А. Анализ конструктивно-расчетных схем бетоносмесителей // Механизация строительства. 2013. № 12. С. 10–12.
2. Новицкий Н.В., Михайлова С.Н. Удельные характеристики бетоносмесителей // Бетон и железобетон. 1987. № 6.
3. Бредуля В.Г., Михайлова С.Н. Исследование нагруженности рабочего органа бетоносмесителя // Сборник трудов ВНИИСДМ № 109. «Проблемы повышения производительности и снижения энергоемкости машин для бетонных работ» М:1987.
4. Кайтуков Б.А., Скель В.И., Гоева Е.М. Повышение эффективности работы гравитационных бетоносмесителей // Механизация строительства 2017. № 12. С. 50–53.
5. Теличенко В.И., Кайтуков Б.А., Скель В.И. Определение оптимальных скоростей движения смесительных барабанов гравитационных бетоносмесителей // Вестник БГТУ им. Шухова 2017. № 12. С. 147–152.

6. Шарапов Р.Р., Кайтуков Б.А., Степанов М.А. Некоторые проблемы динамики и надежности строительной техники // Механизация строительства. 2017. Т. 78. № 7. С. 5–8.

7. Руководящий нормативный документ. РД 22-25;180-87. Передачи зубчатые, планетарные, модульные. Конструктивные исполнения. Технические параметры. Министерство СДиКМ СССР Москва 1987.

8. Руководящий нормативный документ РД22-25.183-87 Передачи зубчатые, планетарные, модульные. Редукторы. Схемы компоновки. Министерство СДиКМ СССР Москва 1987.

9. Теличенко В.И., Кайтуков Б.А., Скель В.И. Определение оптимальных скоростей движения лопастей роторных бетоносмесителей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №3. С. 80–84.

10. Шарапов Р.Р., Уваров В.А., Орехова Т.Н. Теория наземных транспортно-технологических машин. Учебное пособие. Белгород, 2014. 160 с.

Информация об авторах

Кайтуков Батраз Амуханович, кандидат технических наук, доцент кафедры механизации строительства. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. E-mail: KaitukovBA@mgsu.ru. Россия, 129337, Москва, ул. Ярославское шоссе, д. 26.

Скель Владимир Израилевич, кандидат технических наук, доцент кафедры механизации строительства. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. E-mail: skelvi@mgsu.ru. Россия, 129337, Москва, ул. Ярославское шоссе, д. 26.

Горайнова Полина Олеговна, студентка. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. E-mail: GoryainovaPO@mgsu.ru. Россия, 129337, Москва, ул. Ярославское шоссе, д. 26.

Поступила в ноябре 2018 г.

© Кайтуков Б.А., Скель В.И., Горайнова П.О., 2019

¹**Kaytukov B.A.**, ^{1,*}**Skel V.I.**, ¹**Goryaynova P.O.**
¹National Research Moscow State University of Civil Engineering
 Russia, 129337, Moscow, 26 Yaroslavskoe sh.
 *E-mail: SkelVI@mgsu.ru

GRAVITATIONAL CONCRETE MIXERS WITH UNIFIED DRIVE MECHANISMS

Abstract. *The problem of limiting the size range of mechanisms for driving gravity mixers based on the wide unification of their component elements is considered. The analysis of methods for unifying technical systems is given. It is represented by a sequence of logical steps that provide a systematic approach to the development of rational designs of concrete mixers and their components. The method of unification the drive mechanisms of gravity mixers based on unified planetary block modules and methods for selecting rational kinematic schemes and mixers design has been proposed. They allow to obtain a wide range of gear ratios and optimal speeds of working bodies rotation of concrete mixers. The growing demand for concrete mixers stimulates the process of improving the design and drive mechanisms, but the variety of types of drive is also increasing. Therefore, the creation of concrete mixers with unified planetary modular drive mechanisms reduces costs during operation and improves the reliability and quality of mixers.*

Keywords: *gravitational concrete mixer, unification, drive mechanism, working body, planetary gear, specialization, cooperation.*

REFERENCES

1. Gustov Yu.I., Stepanov M.A., Kaytukov B.A. Analysis of design and design schemes of concrete mixers. Mechanization of construction. 2013, no. 12, pp. 10–12.

2. Novitsky N.V., Mikhailova S.N. Specific characteristics of concrete mixers. Concrete and reinforced concrete. 1987, no. 6.

3. Bredulya V.G., Mikhailova S.N. Investigation of the loading body of the concrete mixer. Collection of works VNIISDM number 109. "Problems of increasing productivity and reducing the energy intensity of machines for concrete work" M: 1987.

4. Kaytukov B.A., Skel V.I., Goeva E.M. Improving the efficiency of gravity mixers. Mechanization of construction 2017, no. 12, pp. 50–53.

5. Telichenko V.I., Kaytukov B.A., Skel V.I. Determination of the optimal speeds of the mixing drums are gravitational concrete mixers. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2017, no. 12, pp. 147–152.

6. Sharapov R.R., Kaytukov B.A., Stepanov, M.A. Some problems of dynamics and reliability of construction machinery. Mechanization of construction, 2017, vol. 78, no. 7, pp. 5–8.

7. Guiding normative document. RD 22-25; 180-87. Transmission gear, planetary, modular. Designs. Technical specifications. Ministry SDiKM USSR Moscow, 1987.

8. Guiding normative document RD22-25.183-87 Transmission gear, planetary, modular. Gearboxes. Layout layouts. Ministry of SDiKM USSR. Moscow, 1987.

9. Telichenko V.I., Kaytukov B.A., Skel V.I. Determination of the optimal speeds of the rotor blades of concrete mixers. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017, no.3, pp. 80–84.

10. Sharapov R.R., Uvarov V.A., Orekhova T. N. Theory of land transport and technological machines. Textbook. Belgorod, 2014, 160 p.

Information about the authors

Kaytukov, Batraz A. PhD, Associate Professor. E-mail: KaitukovBA@mgsu.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, 26 Yaroslavskoe sh.

Skel, Vladimir I. PhD, Associate Professor. E-mail: skelvi@mgsu.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, 26 Yaroslavskoe sh.

Goryainova, Polina O. Student. E-mail: GoryainovaPO@mgsu.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, 26 Yaroslavskoe sh.

Received in November 2018

Для цитирования:

Кайтуков Б.А., Скуль В.И., Горяйнова П.О. Гравитационные бетоносмесители с унифицированными механизмами привода // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №1. С. 137–143. DOI: 10.12737/article_5c73fc2c5a8a36.45902159

For citation:

Kaytukov B.A., Skel V.I., Goryainova P.O. Gravitational concrete mixers with unified drive mechanisms. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 11, pp. 137–143. DOI: 10.12737/article_5c73fc2c5a8a36.45902159

DOI: 10.12737/article_5c73fc3271a7f5.86659393

¹*Кушнарев Л.И.¹Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
105005, Россия, Москва, 2-я Бауманская улица, 5с1

*E-mail: kushnarevl@mail.ru

К КОНЦЕПЦИИ ОРГАНИЗАЦИИ ФИРМЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Аннотация. Низкий уровень конкурентоспособности российской техники негативно отражается на потребительском спросе, объемах и эффективности производства. Это лишает предприятия сельхозмашиностроения возможности инновационного развития, проведения диверсификации и технологической модернизации производства. Для повышения конкурентоспособности российской сельхозтехники требуется экстренное повышение качества машин, показателей надежности и эффективности до уровня (и выше) лучших мировых аналогов. Реализовать эту комплексную проблему без внедрения фирменного технического сервиса невозможно. Разобщенность структур занятых созданием и использованием машин, отсутствие механизмов интеграции их усилий в направлении повышения качества машин, привели к насыщению российского рынка высококачественной импортной техникой и к застою в развитии машиностроения и машинно-технологических отраслей. Инновационное развитие машиностроения требует реорганизации существующего производства в фирменные производственно-технологические системы и комплексы. Создание фирм позволит машиностроению обеспечить повышение качества своей продукции на всех этапах жизненного цикла машины и в короткие сроки с минимальными потребностями в инвестициях достичь мирового уровня. Поэтому, стратегической целью и основой технологического прорыва в машиностроении должно быть всемерное и ускоренное повышение качества выпускаемой отечественной техники до уровня лучших мировых аналогов

Ключевые слова: организация, фирма, техника, качество, эффективность.

Введение. В настоящее время в сфере производства, реализации и использования машин и оборудования при производстве продукции, работ и услуг в различных отраслях экономики страны остро встают задачи повышения эффективности производственных и других процессов. И поскольку основу машинно-технологического парка страны составляет отечественная техника, машины и оборудование, то и эффективность предприятий и отраслей в значительной мере определяется эффективностью их использования, которая напрямую зависит от технического уровня, качества и надежности машин [1–3].

В настоящее время, к примеру, на рынке сельскохозяйственной техники, машин и оборудования сложилась следующая ситуация:

– машинный парк предприятий АПК всех типоразмеров и организационно-правовых форм сократился в 4,5–5 раз, несмотря на то, что практически все механизированные процессы и работы выполняются ими самостоятельно;

– основная часть имеющегося в хозяйствах парка машин и оборудования физически и морально изношена, около 80 % парка машин и оборудования имеют срок службы более 10 лет, т.е. эксплуатируются за пределами нормативного срока службы;

– фактическая потребность агрохозяйств страны в технике составляет: по тракторам – около 850 тыс. штук, зерноуборочным комбайнам – 350 и кормоуборочным комбайнам –

270 тыс. штук и огромное количество самых разнообразных сельхозмашин и орудий;

– весьма значительны потребности современных отечественных машин и оборудования в техническом сервисе, особенно в устранении последствий отказов всех групп сложности, интенсивность возникновения которых резко возрастает в напряженные периоды сельхозработ, что ведет к потерям уже выращенной продукции;

– в сфере технического сервиса машин и оборудования, практически отсутствуют концентрация и специализация производства и работ, весь комплекс работ по обеспечению работоспособности хозяйства проводят самостоятельно без участия предприятий технического сервиса, зачастую силами и средствами самих механизаторов;

– ремонтно-эксплуатационная база более половины агрохозяйств требует проведения реконструкции и технологической модернизации, оснащения современным контрольно-диагностическим и ремонтно-технологическим оборудованием, остальных – строительства и оснащения новых объектов;

– эксплуатационные издержки по машинному парку хозяйств превышают нормативные в 1,7–2,2 раза;

– ежегодные закупки высокопроизводительной и надежной импортной техники составляют примерно по 650–850 единиц тракторов, зерно- и кормоуборочных комбайнов, а доля импортной техники в сельскохозяйственном производстве

АПК страны составляет, примерно, 10–12 % и продолжает постепенно увеличиваться;

– при этом технический уровень, качество изготовления и показатели надежности импортных машин, поставляемых на российский рынок, неизмеримо выше, чем отечественных аналогов [3–5].

Неоспоримым преимуществом зарубежных машин является высочайший уровень надежности, что обеспечивает их высокий уровень работоспособности, практически безотказную работу в течение первых трех лет эксплуатации при строгом соблюдении требований по техническому обслуживанию и использовании качественных эксплуатационных и ремонтно-технических материалов. За этот период тракторы и комбайны используются в хозяйствах весьма интенсивно и их наработка может составлять, соответственно, 4,5–5,1 тыс. и 550–650 часов работы. Эти показатели относятся к машинам, которые поставлялись на российский рынок до 2000 года. Начиная с 2000 года, показатели надежности поставляемых импортных машин постепенно снижается и за последние 15 лет наработка на отказ достигла по тракторам 1250–1400 часов, по комбайнам – 200–220 часов. И все же эти показатели наработки на отказ, к сожалению, значительно выше, чем у отечественных аналогов: по тракторам – 80–120, комбайнам – 15–40 часов работы [4, 5].

Поэтому **целью исследований** по данному направлению является повышение качества продукции машиностроения до уровня лучших мировых аналогов на основе разработки и внедрения фирменной системы производства и технического сервиса машин и оборудования.

Материалы и методы. При проведении организационно-технологических исследований по данному направлению использовалась информация о состоянии надежности отечественной и зарубежной техники, методах и средствах организации технического сервиса машин и оборудования сельхозназначения, затратах на содержание машинного парка агропредприятий и другие. В качестве основных методов исследования применялись монографический и статистический, анализа и сравнительных оценок, логический и абстрактно-логический.

Основная часть. Результаты исследований причин низкой надежности [5–8] и факторов повышения технического уровня, качества и надежности отечественной сельскохозяйственной техники позволяют сделать вывод о том, что в основе высокой конкурентоспособности зарубежной техники – применение фирменного метода технического сервиса. Именно непосредственное участие фирм-производителей в обеспечении ра-

ботоспособного состояния машин и оборудования, особенно в гарантийный период эксплуатации, когда устранение последствий отказов, возникших не по вине потребителя, осуществляется за счет изготовителя машины с компенсацией ему ущерба, причиненного вынужденным простоем техники.

К сожалению, закупки импортной техники для российских потребителей не сопровождались обязательствами и требованиями создания и развития в стране фирменного технического сервиса зарубежной техники. В противном случае и поставщики и потребители техники, машин и оборудования получили огромный положительный опыт обеспечения их работоспособности в течение всего срока службы.

Поставщики-посредники (дилеры) уменьшив период гарантийной эксплуатации импортных машин и оборудования с трех лет до одного года, которые высоконадежная импортная машина гарантировано отработает безотказно, взяли на себя только заведомо выгодные торговые и снабженческо-сбытовые функции. Это лишило потребителей импортной техники и предприятий технического сервиса возможностей изучения и внедрения перспективного фирменного метода технического сервиса [8–11].

До перехода на рыночные экономические отношения сельскохозяйственное производство обслуживало около десятка различных организаций (снабжения, автотранспорта, ремонтно-технические: станции ТО и ремонта тракторов, автомобилей, животноводства, энергооборудования, цеха по восстановлению изношенных деталей и изготовлению нестандартного оборудования, мелковод- и химобслуживанию и др.). В напряженные периоды полевых работ многие из них направляли своих специалистов и рабочих механизаторов для оказания помощи селянам в севе, уходе, защите, уборке культур, основной обработке почвы. Обслуживающие предприятия оказывали услуги каждый по своему направлению производственно-хозяйственной деятельности. В настоящее время практически весь комплекс работ по производству сельскохозяйственных культур лежит на сельском товаропроизводителе. Кроме того, значительную трудоемкость и сложность представляют операции и работы, связанные с обеспечением работоспособности машин и оборудования в связи с низким уровнем их качества надежности: периодические технические обслуживания, плановый и неплановый текущий ремонт. Причем неплановый текущий ремонт по объему превышает суммарную трудоемкость всех остальных плановых мероприятий и потребность в нем возникает в напряженные периоды использования техники [11–13].

Высокие трудозатраты, издержки на обеспечение работоспособности парка машин и оборудования требуют скорейшего повышения качества и надежности выпускаемой российскими предприятиями техники, машин и оборудования. Как показывают результаты исследований, единственный путь повышения конкурентоспособности отечественной техники, машин и оборудования – это повышение их качества и надежности на основе фирменного метода технического сервиса и реализации, разработанного в университете, организационно-экономического механизма в системе инженерно-технического обеспечения потребителей техники, машин и оборудования. Участие производителей техники, машин и оборудования в обеспечении их работоспособности в гарантийный период, уже на первом этапе реализации настоящего проекта позволит как минимум в 3–5 раз повысить основной показатель надежности – наработку на отказ, исключив в гарантийный период эксплуатации отказы первой и второй групп сложности. Это сразу же вывело бы отечественные тракторы, комбайны, автомобили и сельхозмашины на уровень зарубежных аналогов. При этом, как показывают расчеты, затраты машиностроительных компаний на достижение этих результатов были бы минимальны, а полная (коммерческая) себестоимость техники, машин и оборудования только бы составила около 45–60 % от цены зарубежных машин-аналогов.

Особенность научно-методического подхода к решению этой проблемы заключается в обеспечении требуемых показателей качества и надежности, прежде всего, на стадиях проектирования, конструирования и производства машин, что позволит исключить их простой по техническим причинам в гарантийный период эксплуатации.

Повышение технического уровня машин, их качества и надежности позволит перейти на новый механизм ценообразования, который позволит учитывать эти факторы и стимулировать предприятия машиностроения. Ведь всем известно, что повышение качества продукции машиностроения позволяет не только улучшить показатели эффективности использования ресурсного потенциала, но и снизить потребности в производстве новых машин и оборудования.

Определив снижение трудовых и материальных затрат на обеспечение работоспособности машин и оборудования при исключении отказов первой и второй групп сложности, расчетным путем получены снижение продолжительности пребывания машин в сфере технического сервиса и потребности в технике, которая составила 25–35 % [12–15].

Вместе с тем, решение проблем импортозамещения и повышения конкурентоспособности отечественной машиностроительной продукции сегодня стоит настолько остро, что условия санкционной политики западных конкурентов необходимо рассматривать как дополнительный стимул перехода к реальным действиям в этом ресурсосберегающем направлении. А использование последних разработок университета по направлению реновации машин и оборудования на основе фирменного метода технического сервиса существенно ускорит решение проблем повышения качества, надежности и эффективности современной продукции машиностроения.

Эффективность практической реализации данного направления имеет синергетическую (или мультипликативную) эффективность и она настолько высока и очевидна, что абсолютно не понятны причины незаинтересованности государства и предприятий машиностроительного бизнеса в разработке и реализации программ повышения качества продукции предприятий машиностроения. Только снижение затрат на содержание технологических машин и оборудования в стране составит более 1,5 трлн. рублей.

Основные выводы и предложения.

1. Для эффективного развития отраслей сельхозмашиностроения необходимо создать условия, стимулирующие и интенсифицирующие инновационное развитие производства, проведение диверсификации и технологической модернизации.

2. Стратегической целью и основой технологического прорыва в машиностроении определить всемерное и ускоренное повышение качества выпускаемой отечественной техники до уровня лучших мировых аналогов.

3. Приступить к созданию фирменных производственно-технологических систем и комплексов, способных обеспечить повышение качества выпускаемой техники на всех этапах жизненного цикла машин и оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черепанов С.С., Агафонов Н.И., Михлин В.М. и др. Концепция развития инженерно-технического сервиса фермерских хозяйств (рекомендации). М.: ГОСНИТИ, 1992. 49 с.
2. Черепанов С.С. Липкович Э.И. Агафонов Н.И. и др. Концепция эффективного использования сельскохозяйственной техники в рыночных условиях (рекомендации). М.: ГОСНИТИ, 1993. 62 с.
3. Черноиванов В.И., Северный А.Э., Кушнарев Л.И. и др. Проблемы технического сервиса в АПК России (монография). М.: ГОСНИТИ, 2000. 309 с.

4. Nikolaev A.B., Prikhodko V.M., Stroganov V.Y., Tregubov P.G. Tools of production and logistics support life cycle of high-tech products // Life Science Journal 11 (10 SPEC. ISSUE) 2014. Pp. 238–242.
5. Vasiliev A S Controlled Forming of Machine Components Operating // Characteristics Procedia Engineering. 2016. Vol. 150. Pp. 975–979
6. Кушнарев Л.И., Чепурина Е.Л., Чепурин А.В., Кушнарев С.Л. Качество и надежность отечественной техники – основа ее конкурентоспособности // Нивы Зауралья. 2015. № 11 (133). С. 52–54.
7. Кушнарев Л.И., Чепурина Е.Л., Кушнарев С.Л. Проблемы и направления развития инженерно-технического обеспечения сельских товаропроизводителей // Ремонт, восстановление, модернизация № 1. 2016. С. 3–9.
8. Кушнарев Л.И., Чепурина Е.Л., Чепурин А.В., Кушнарев С.Л. О создании инженерно-технической системы АПК РФ // Ремонт, восстановление, модернизация. 2015. №10. С. 3–9
9. Кушнарев С.Л. К обоснованию производственной программы технического центра предпродажного обслуживания комбайнов ОАО «Ростсельмаш» // Ремонт, восстановление, модернизация. 2005. № 4. С. 23–27.
10. Кушнарев С.Л. Оптимизация производственной программы технического центра обслуживания // Инженерный вестник. 2015. №11. С. 19–20.
11. Кушнарев Л.И., Чепурина Е.Л., Кушнарев С.Л., Чепурин А.В., Корнеев В.М. Модернизация системы технического сервиса агропромышленного комплекса. Научное издание. Под редакцией Л.И. Кушнарева. М.: МЭСХ. 2015. 440 с.
12. Кушнарев Л.И., Кушнарев С.Л. Фирменный технический сервис – основа повышения качества сельхозтехники // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК. (Материалы IX международной научно-технической конференции «Информ-Агро» М.: ФГБНУ «Росинформагротех». 2018. С. 551–556.
13. Кушнарев Л.И., Кушнарев С.Л. К конкурентоспособности в технике через повышение качества // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. Орел. ОГУ имени И.С. Тургенева, 2018. С. 19–23.
14. Чепурина Е.Л. Состояние организации технического сервиса машин и оборудования животноводства. Международный технико-экономический журнал. № 4. 2013. С. 61–66.
15. Чепурина Е.Л., Кушнарев С.Л. Организация фирменного технического сервиса с.-х. техники // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 10. С. 3–4.

Информация об авторах

Кушнарев Леонид Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки материалов». E-mail: kushnarevl@mail.ru. Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана. Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская улица, 5 с1.

Поступила в ноябре 2018 г.

© Кушнарев Л.И., 2019

^{1,*}**Kushnarev L.I.**

¹Moscow state technical University named after N.Uh. Bauman
Russia, 105005, Moscow, 2nd Bauman street, 5c1

*E-mail: kushnarevl@mail.ru

TO THE CONCEPT OF CORPORATE TECHNICAL SERVICE ORGANIZATION OF MACHINERY AND EQUIPMENT

Abstract. *The low level of competitiveness of Russian equipment has a negative impact on consumer demand, production volumes and efficiency. This deprives agricultural machine-building enterprises of innovative development, diversification and technological modernization of production. In order to improve the competitiveness, Russian agricultural machinery requires an emergency increase in the quality of machines, reliability and efficiency to the level of the best world analogues. It is impossible to implement this complex problem without the introduction of corporate technical service. The disunity of structures engaged in the creation and use of machines, the lack of mechanisms for integrating efforts to improve the quality of machines, led to the saturation of the Russian market with high-quality imported equipment and to stagnation in the development of engineering and machine technology industries. Innovative development of mechanical engineering requires the reorganization of existing production into corporate technological systems and complexes. The development of companies will allow mechanical engineering to ensure the improvement products' quality at all stages of machine life cycle and in a short time with minimal investment requirements to reach the world*

level. Therefore, the strategic goal and the basis of the technological breakthrough in mechanical engineering should be an all-round and accelerated improvement in the quality of manufactured domestic equipment to the level of the best world analogues.

Keywords: organization, company, technique, support, quality, efficiency.

REFERENCES

1. Cherepanov S.S., Agafonov N.I. Mikhlin V.M. etc. Concept of development of engineering and technical service to farms (recommendations), Moscow: GOSNITI, 1992, 49 p.
2. Cherepanov S.S., Lipkovich E.I. Agafonov N.I. etc. Concept of effective use of agricultural machinery in market conditions (recommendations). M.: GOSNITI, 1993, 62 p.
3. Chernoiivanov V.I., North A.C., Krichevsky M.E., etc. Problems of technical service in agrarian and industrial complex of Russia (monograph). Moscow: GOSNITI, 2000, 309 p.
4. Nikolaev A.B., Prikhodko V.M., Stroganov V.Y., Tregubov P.G. Tools of production and logistics support life cycle of high-tech products. Life Science Journal 11 (10 SPEC. ISSUE), 2014, pp. 238–242
5. Vasiliev A.S. Controlled Forming of Machine Components Operating. Characteristics Procedia Engineering, 2016, vol. 150, pp. 975–979.
6. Kushnarev L.I. Chepurina E.L., Chepurin A.V., Kushnarev S.L. Quality and reliability of domestic equipment is the basis of its competitiveness. Niva of the Urals. 2015, no. 11 (133), pp. 52–54.
7. Kushnarev L.I., Chepurina E.L., Kushnarev S.L. Problems and directions of development of engineering and technical support of rural producers. Repair, restoration, modernization, 2016, no. 1, pp. 3–9.
8. Kushnarev L.I. Chepurina E.L., Chepurin A.V., Kushnarev S.L. On the creation of engineering system of agroindustrial complex of the Russian Federation. Repair, restoration, modernization, 2015, no. 10, pp. 3–9.
9. Kushnarev S.L. To the substantiation of the production program of the technical center of pre-sale service of combines of JSC "Rostselmash". Repair, restoration, modernization, 2005, no. 4, pp. 23–27.
10. Kushnarev S.L. Optimization of the production program of the technical service center. Engineering Bulletin, 2015, no. 11, pp. 19–20.
11. Kushnarev L.I., Chepurina E.L., Kushnarev S.L., Chepurin V., Korneev V.M. Modernization of technical service system of agro-industrial complex. Scientific publication. Edited by L. I. Kushnarev. M.: MESKH, 2015, 440 p.
12. Kushnarev L.I., Kushnarev S.L. Company technical service-the basis of improving the quality of agricultural machinery. Scientific and information support of innovative development of agriculture. (Materials of the IX international scientific and technical conference "inform-agro" M.: FSBSI "Rosinformagrotekh", 2018, pp. 551–556.
13. Kushnarev L.I., Kushnarev S. L. To competitiveness in technology through quality improvement. Fundamental and applied problems of engineering and technology. Eagle. OSU named after I.S. Turgenev, 2018, pp. 19–23
14. Chepurina E.L. The organization of technical service of machinery and equipment of animal husbandry. International technical and economic journal, 2013, no. 4, pp 61–66.
15. Chepurina E.L., Kushnarev S.L. Organization of corporate technical service of agricultural machinery. Tractors and agricultural machinery, 2013, no. 10, pp. 3–4.

Information about the authors

Kushnarev, Leonid I. DSc, Professor. E-mail: kushnarevl@mail.ru. Moscow State Technical University named after N. Uh. Bauman. Russia, 105005, Moscow, 2nd Bauman street, 5c1.

Received in November 2018

Для цитирования:

Кушнарев Л.И. К концепции организации фирменного технического сервиса машин и оборудования // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №2. С. 144–148. DOI: 10.12737/article_5c73fc3271a7f5.86659393

For citation:

Kushnarev L.I. To the concept of corporate technical service organization of machinery and equipment. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 2, pp. 144–148. DOI: 10.12737/article_5c73fc3271a7f5.86659393

DOI: 10.12737/article_5c73fc382e33e6.05913951

^{1,*}Тетерина И.А., ¹Авдеева А.А.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д.46

*E-mail: teterina.ia@bstu.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАКЕТА КЭ-АНАЛИЗА В ОПРЕДЕЛЕНИИ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Аннотация. В данной статье рассмотрен метод реализации конечно-элементных расчетов конструкции устройства. Авторами получены результаты проверки конструкции на прочность, а так же определены конструктивные параметры элементов при соединении деталей путем разогрева. В качестве пакета конечно-элементных расчетов был использован специализированный вычислитель Calculix с лицензией GPL, последовательность применения которого изложена в статье. Для автоматизации вычислений используется сеточный генератор NETGEN 3.0, обеспечивающий быстрое и корректное разбиение исходных объектов на сетку конечных элементов. В качестве примера рассматривается оригинальная конструкция самого ударника, которая содержит стержень и кольцо, смещение которого не допускается. По этой причине требуется его посадка на стержень с натягом. Решение этой задачи и предложено авторами с использованием FEM анализа. Так же с использованием пакета FEM анализа выполнено решение задачи определения прочности стержня ударника, и подбора материала сердечника. При этом выполнялся модальный анализ конструкции, а материал подбирался по пределу прочности из известных марок сталей. В качестве исходных критериев для подбора материала служили результаты анализа напряжений и других деформаций по Р. Мизесу.

Ключевые слова: неразъемное соединение, моделирование, точность, деформирование, конечно-элементный анализ, зависимости, статическая прочность, модальный анализ.

Введение. Для того чтобы получить неразъемное соединение применяют метод горячей запрессовки. С помощью него можно обеспечить максимальный натяг в соединении (горячая посадка). Суть такой посадки заключается в том, что одна из деталей (охватываемая), входящих в сопряжение, нагревается до температуры, достаточной для свободной посадки на другую (охватываемую) деталь. Необходимая температура нагрева в той или иной степени зависит от габаритов деталей, входящих в соединение, а также от величины требуемого натяга.

Методология. В качестве примера приведём изготовление устройства, применяемого для забивания дюбелей. [1], оно имеет стопорное кольцо 1, закрепляемое на хвостовике 2 (рис. 1). Между хвостовиком 2 и стопорным кольцом 1 должен обеспечиваться наибольший натяг для максимальной фиксации их между собой. Также это соединение при работе должно выдерживать ударные нагрузки без деформаций [2].

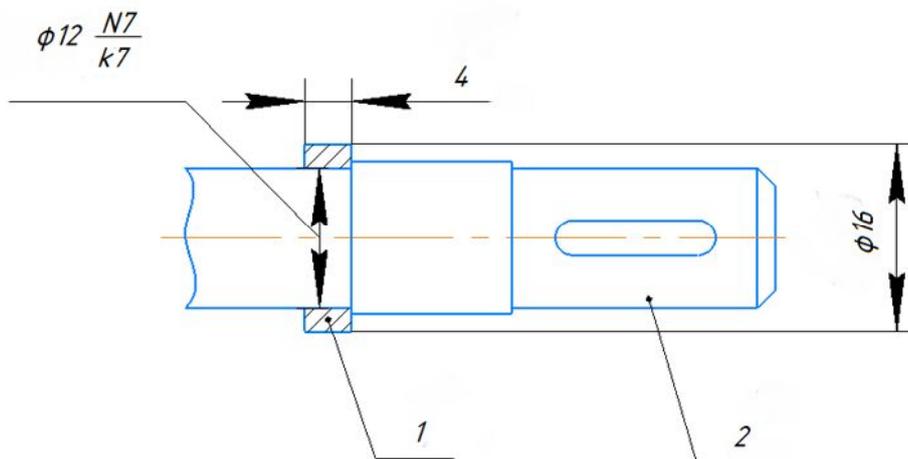


Рис. 1. Эскиз ударника.

Для установки стопорного кольца должна быть обеспечена посадка N7/k7, которая дает максимальный натяг 0,06 мм [3].

Для обеспечения приемлемой точности расчётов было принято решение выполнить моделирование нагрева устанавливаемой детали для различных температур нагрева пакет конечно-элементного анализа.

Основная часть. Решение данной задачи осуществляется с помощью средства *FreeCAD* (данная программа представляет собой параметрический 3D-модельер, созданный, прежде всего для создания реальных объектов любого размера) [4, 5, 6]. А сами результаты термомеханического анализа будут выводиться с помощью специализированного вычислителя *Calculix* [7] методом КЭ (конечно-элементного) анализа. Метод основывается на разбиении поверхности на совокупность типовых элементов, называемые конечными.

Перед началом термомеханического анализа необходимо задать все параметры для расчета.

В оболочке *FreeCAD* создаем сначала по заданным размерам эскиз стопорного кольца с хвостовиком, по которым следующим этапом делаем его модель.

Следующим действием требуется задать материал, в рассматриваемой задаче ориентировочно возьмем – Сталь 45, имеющая характеристики, описанные в и коэффициент температурного расширения в зависимости от температуры

нагрева варьируется в пределах от $14,2 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ до $15,1 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Важным атрибутом расчета методом конечных элементов является сетка конечных элементов, от её корректности зависит достоверность результатов вычислений. Точность построения конечно-элементной модели зависит от используемого программного обеспечения. Для получения требуемой точности воспользуемся утилитой *GMsh*.

Так как габариты сборочной единицы малы, то и шаг сетки можно выбрать небольшой, например, $7,40 \times 2,90$ мм. Иначе могут возникнуть проблемы в расчете, в связи с тем, что процессору придется обрабатывать большой поток информации и чаще всего якобианы нескольких элементов модели оказываются меньше или равными 0.

При термомеханическом анализе необходимо задать температуры. Для ограничения начальной температуры задаем приблизительно равной температуре окружающей среды 300 К. В качестве конечной (максимальной) задаем пять разных температур, для сравнения конечных результатов: первая – 500 К, вторая – 600 К; третья – 700 К; четвертая – 800 К; пятая – 900 К.

Для вычисления смещений в исследуемом объекте вычислитель, по умолчанию, использует метод решения системы нелинейных уравнений в частных производных – Ньютона-Рафсона. Результаты получаются в виде цветовой схемы (рис. 2), где цветами, согласно легенде показаны смещения поверхностей детали в мм.

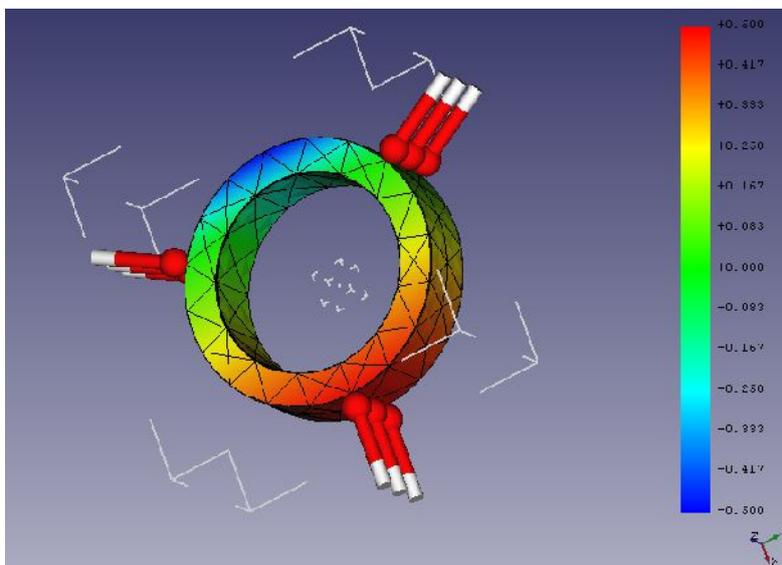


Рис. 2. Смещения в детали при нагреве

Результаты расчётов для всех значений используемых температур удобно представить в виде графика (рис. 3). График построен с использованием офисного пакета *EXCEL*. Согласно графику функции изменения диаметра от температуры имеет аperiодический характер и не может

быть отражена известными простыми зависимостями, что говорит он точности вычислений при моделировании, но интерполяция её в известную простую функцию позволяет получить зависимости, позволяющие выполнить расчёты и для других геометрических размеров.

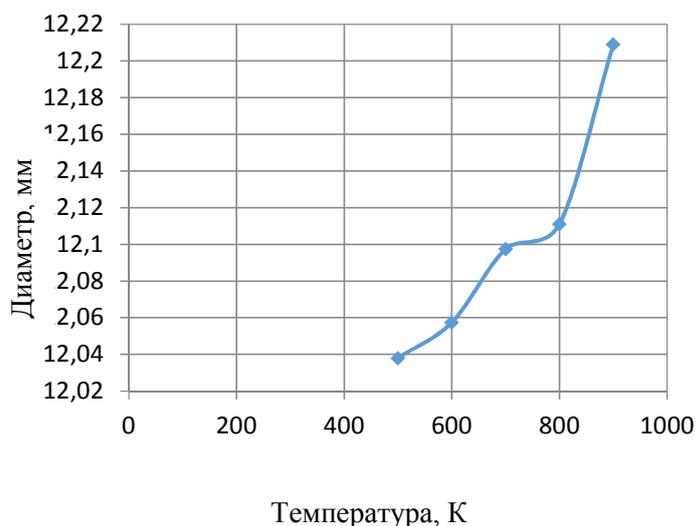


Рис. 3. График зависимости внутреннего диаметра кольца от температуры нагрева

Установка кольца с найденной температурой нагрева показала применимость результатов

исследований для практического использования (рис.4).



Рис. 4. Приспособление с установленным кольцом

Так как при нагреве кольцо должно не только компенсировать требуемый натяг 0,06 мм (для обеспечения посадки N7/k7), а так же обеспечение свободного прохождения через буртик высотой 0,05 мм. Экспериментальным путем было установлено, что наиболее подходящая температура, для реализации заданного условия, является 800 К.

Создание современного оборудования на этапе проектирования не заканчивается только его геометрическим моделированием. Выпуск конкурентоспособной продукции не может быть реализован без разностороннего инженерного анализа проектируемого объекта. Поэтому все разработчики мира трудятся над тем, чтобы их конструктивные решения обеспечивали статическую прочность и жесткость, долговечность, устойчивость и подходящие динамические характеристики. Инструменты CAE-анализа дают возможность современным предприятиям создавать продукцию, не уступающую лучшим мировым образцам и даже их превосходящую.

Обсуждение. Следующим этапом, после получения неразъемного соединения кольца и хвостовика, является исследование конструкции на статическую прочность и способность выдерживать динамические нагрузки (частотные).

Расчеты на статическую прочность могут осуществляться с использованием конечно-элементного моделирования. Они позволяют конструктору на любом из этапов проектирования изделия решить задачи прочностных расчетов. Которые в дальнейшем позволят повысить механические характеристики изделия. Одна из таких задач заключается в нахождении наиболее уязвимых мест конструкции и в ходе проектирования оптимизировать ее. Следующая задача заключается в определении максимального значения напряжений компонентов в материале, опираясь при этом на различные теории прочности по отношению максимальных расчетных к максимальному допусжаемому значению напряжений [8].

Производимый модальный (частотный) анализ, позволяет определить параметры колебаний конструкций [9, 10, 11]. Полученные результаты представляются в виде значений собственных частот и формы колебаний. Данный расчет служит также основой для других более подробных динамических расчетов (отклик системы на гармонические колебания и нестационарный динамический расчет). При действии внешних периодически изменяющихся сил, входе гармонического анализа, определяется напряженно-деформированное состояние конструкции при вынужденных колебаниях. Наиболее опасными являются резонансные колебания, проявляющиеся из-за совпадения частоты внешних сил и собственной частоты конструкции.

Любое проведение *CAE*-анализа основывается на построение 3D-модели исследуемой конструкции. Проектирование осуществляется также в среде трехмерного моделирования программного обеспечения *FreeCAD*. А получаемые результаты статического и модального анализов будут выводиться посредством, уже известным нам, свободного программного пакета – *Calculix*. Который в свою очередь предназначен для решения различных задач механики линейной и нелинейной конфигурации.

За основу примем модель, построенную ранее. Неразъемное соединение, полученное методом горячей запрессовки кольца на хвостовик ударника. Помимо стопорного кольца 1, которое установлено с требуемым натягом на хвостовик ударника 2 (рис. 1). При работе изделие кольцо испытывает большие ударные нагрузки со стороны упорной пружины (рис. 2) [1]. Противоположным торцом оно упирается в буртик, который является дополнительной фиксацией и уменьшает вероятность смещения кольца в осевом направлении относительно хвостовика.

Цель исследования сводится к определению прочности изделия, ее способность не деформироваться при приложении больших по величине ударных и статических нагрузок [2]. Из теории прочности известно, что нагруженный материал начинает повреждаться в тех местах, в которых напряжение по Мизесу становится равным предельному напряжению (в качестве предельного напряжения часто принимают предел прочности). Следовательно, требуется подобрать такой материал, который будет наиболее удовлетворять по максимальному предельному напряжению. И такой, в котором при приложении значительной по величине нагрузки не будут наблюдаться пластические деформации.

На основе, описанной выше, трехмерной модели изделия можно приступить к конечно-

элементному моделированию. Чтобы предоставленная модель, состоящая из составных элементов, рассматривалась, как цельная конфигурация, необходимо применить по отношению к ней булевую операцию с двумя выбранными формами. После чего можно приступить к следующим этапам моделирования.

Любой новый расчет начинается с создания нового *FEM* анализа [12]. Универсальность такого конечно-элементного анализа заключается в том, что есть возможность реализовать для одной и той же модели несколько расчетов подобных по типу и различных физических задач. Таким образом, после проведения статического анализа для данной конструкции возможно в рамках одной модели провести и модальный анализ.

Важным аспектом при создании модели и проведения анализа – это присвоение твердотельной модели детали материал. Ориентировочно, как и в ранее поставленной задаче, в качестве материала, из которого изготовлено изделие, примем Сталь 45 [13]. От этого напрямую будет зависеть, какие напряжения будут возникать в конструкции при определенной величине нагрузки.

Следующим этапом является задание сетки конечных элементов, выбрав на панели инструментов соответствующую команду (*GMsh* или *NMsh*). От степени дискретизации твердотельной модели напрямую будут зависеть достоверность получаемых значений. Однако разбиение на слишком мелкие элементы значительно увеличивает их количество, что приводит к возникновению системы уравнений большого порядка, сказывающихся на скорости проведения расчета.

Помимо создания КЭ сетки для успешной реализации решения модели необходимо корректно задать все граничные условия. Всегда необходимо задание хотя бы одного фиксированного закрепления. По поверхности соприкосновения двух составных частей системы требуется также задание ограничение контакта между двумя элементами трехмерной модели. Оно определяет фиксированное положение одного фрагмента относительно другого. Данное ограничение накладывается вместе соприкосновения торца стопорного кольца и буртика.

После того, как все условия по закреплению определены, задаются нагружения системы. В контексте рассматриваемой задачи нас интересует только процесс задания распределенной силы вдоль оси ударника против действия упорной пружины на торец стопорного кольца. Ее численное значение составляет 100 Н.

Стопорное кольцо с упором в нее пружиной имеет возможность смещаться под действием приложенной нагрузки. Поэтому необходимо это

учесть, используя параметр *Displacement*. С помощью него задается максимальное смещение пружины.

После присвоения всех необходимых условий и ограничений данная модель полностью определена и, предоставляется возможность провести анализ. Для этого необходимо запустить вычислитель *Calculix*, который произведет расчет на статическую прочность, либо же модальный анализ (рис. 5).

Выводы. Установлено, что расчет на статическую прочность не является полным, а показывает только максимальные смещения под дей-

ствием статической нагрузки (рис. 6). А модальный анализ позволяет установить устойчивую динамическую нагрузку, что доказывают результат моделирования. При имеющемся значении нагрузки и заданных параметрах максимальное предельное напряжение по Мизесу будет равно 445,71 МПа.

Сталь 45, предложенная в качестве ориентировочной ранее, имеет предел прочности 600 МПа согласно ГОСТ 1050-2013 [1]. При статической нагрузке полученного напряжения недостаточно для разрушения, и при модальном анализе данная сталь удовлетворяет по максимальному предельному напряжению.

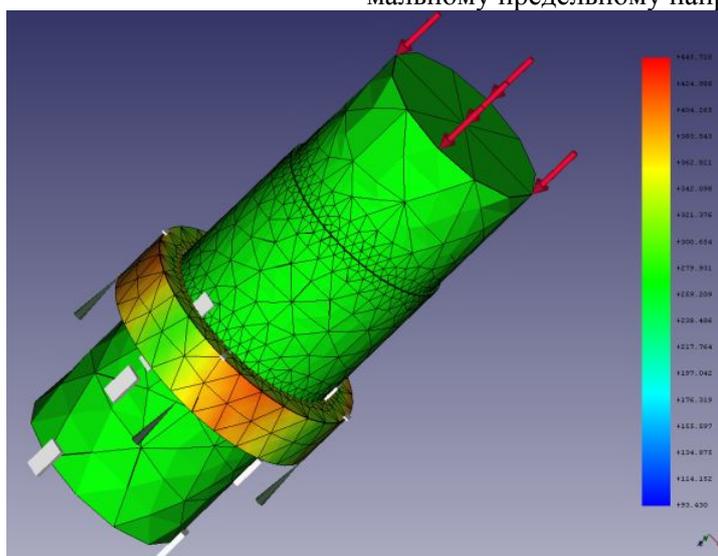


Рис. 5. Результат модального анализа

Таким образом, имея любое значение нагрузки, можно произвести КЭ-анализ. И с помощью результатов модального анализа подо-

брать материал конструкции, который будет удовлетворять всем требованиям по пределу прочности.

Нет ссылки в тексте на рис 5-6

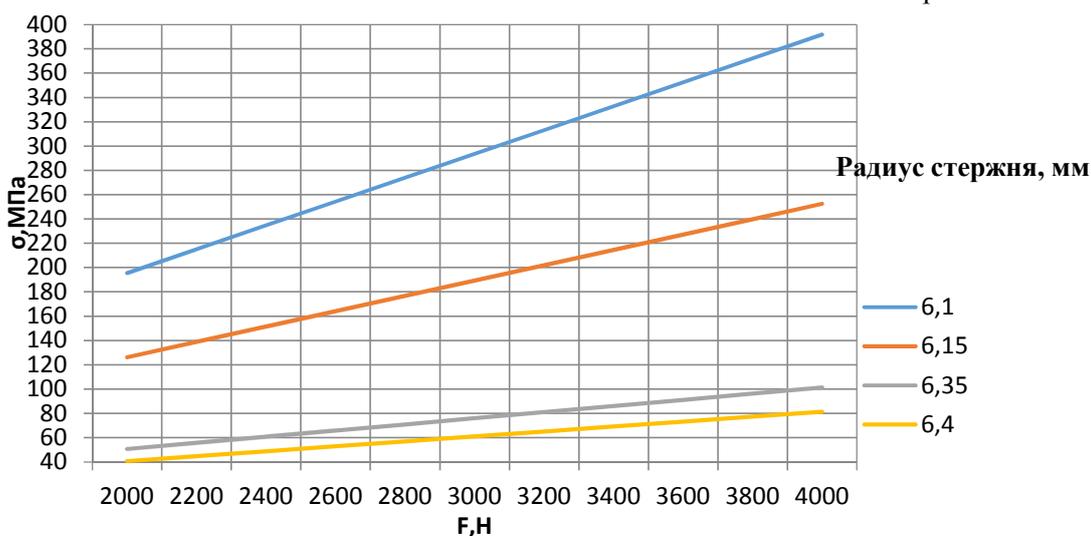


Рис. 6. Нагрузки в зоне контакта стержня и кольца

Результаты, полученные в ходе расчетов, можно использовать для подбора материалов, а так же геометрии изделий других конструкций различных устройств и узлов машин и агрегатов.

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 142819 Российская Федерация МПК F16B 13/00 (2006.01). Устройство для забивания дюбелей / Чепчуров М. С., Жуков Е. М.; заявитель и патентообладатель Чепчуров М. С., Жуков Е. М. № 2014110755; заявл. 20.03.2014; опубл. 10.07.14, Бюл. № 19. 3 с.
2. Чепчуров М.С., Афанасова Ю.А. Моделирование ударного взаимодействия режущей части инструмента с деталью // Технология машиностроения. 2010. № 1. С. 16-18.
3. Белкин И.М. Допуски и посадки: учеб пособие/ М.: Машиностроение, 1992. 528 с.
4. FreeCAD. URL: <https://www.freecadweb.org/> (дата обращения: 27.09.2017)
5. Falck B., Falck D., Collette B., 2012, Freecad, Packt Publishing Ltd.
6. Чепчуров М.С., Дуганов В.Я. Оценка состояния оборудования технологической системы на основе расчетов напряженно-деформированного состояния // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2016. № 11. С. 20–23.
7. CalculiX USER'S MANUAL - CalculiX GraphiX, Version 2.14 - Klaus Wittig May 29, 2018
8. Чепчуров М.С. Обработка деталей с неравномерным по структуре материалом припуска // Технология машиностроения. 2008. №10. С.12–14.
9. Атапин В.Г., Родионов А.И., Рыков А.А., Титоренко В.П., Юрьев Г.С., Иванов Ю.А. Стенды устройства для испытаний материалов и специзделий на ударную прочность и ударную устойчивость // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2009. №3(36). С.87–98.
10. Dynamic Analysis of Constrained System of Rigid and Flexible Bodies With Intermittent Motion Y. A. Khulief and A. A. Shabana [+] Author and Article Information J. Mech., Trans., and Automation 108(1), 38-45 (Mar 01, 1986) (8 pages) doi:10.1115/1.3260781 History: Received July 10, 1984; Online November 19, 2009
11. Reliability of CSP Interconnections Under Mechanical Shock Loading Conditions .Article (PDF Available) in IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies 29(4):787 – 795. January 2007 with 69 Reads DOI: 10.1109/TCAPT.2006.885948
12. Kruszka L., Vorobiov Y.S., Ovcharova N.Y. Fem analysis of cylindrical structural elements under local shock loading // Applied Mechanics and Materials. 2014. Т. 566. С. 499–504.
13. Сорокин В.Г., Волосникова А.В., Вяткин С.А. и др. Марочник сталей и сплавов/ Под общ. ред. В.Г.Сорокина. М: Машиностроение, 1989. 640с.
14. ГОСТ 1050-2013 Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия. Введ. 2015-01-01. М.: Стандартинформ, 2013. 36 с.

Информация об авторах

Тетерина Ирина Александровна, аспирант кафедры технологии машиностроения. E-mail: teterina.ia@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Авдеева Анна Александровна, бакалавр кафедры технологии машиностроения. E-mail: anett.avdeeva@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в декабре 2018 г.

© Тетерина И.А., Авдеева А.А., 2019

^{1,*}**Teterina I.A., ¹Avdeeva A.A.**

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

*E-mail: teterina.ia@bstu.ru

THE DETERMINATION OF THE STRUCTURAL PARAMETERS OF MECHANICAL ENGINEERING PRODUCTS BY THE FINITE ELEMENT METHOD

Abstract. The article deals with the finite element method for design analysis. The results of strength test of construction are obtained by the authors. The structural parameters of details, when they are connected by heating, have also been determined. A specialized calculating machine Calculix with a license GPL is used as a finite element method package. Its consistency of application is described in the work. The net NETGEN 3.0 generator is used for automation of calculations providing fast and correct splitting initial objects into a grid

of final elements. As an example, the original construction of the hammer is considered; it contains a rod and a ring, the displacement of which is not allowed. For this reason, it requires landing on the rod with tension. The authors propose the solution of this task by the use of FEM analysis. Also, using the FEM analysis package, the problem of determining the strength of rod and the selection of core material is solved. At the same time, a modal analysis of the structure is performed and the material is selected for tensile strength among famous steel grades. The results of stress analysis and other deformations according to R. Mises are the initial criteria for the selection of material.

Keywords: non-detachable connection, modelling, accuracy, deformation, finite element method, dependence, static strength, modal analysis.

REFERENCES

1. Chepchurov M.S., Zhukov E.M. An apparatus for driving anchors. Patent RF, no. 2014110755, 2014.
2. Chepchurov M.S., Afanaskova Yu.A. Modelling of the percussive interaction between tool cutting part and component part. *Tekhnologiya Mashinostroeniya*, 2010, no.1, pp. 16–18.
3. Belkin I.M. Tolerances and landings. M.: Mashinostroeniye, 1992, 528 p.
4. FreeCAD. URL: <https://www.freecadweb.org/> (дата обращения: 27.09.2017)
5. Falck B., Falck D. and Collette, B. (2012), *Freecad*, Packt Publishing Ltd.
6. Chepchurov M.S., Duganov V.Ya. State assessment of technological system equipment, based on calculations of deflected mode. *Remont, vostanovlenie, modernizatsia*, 2016, no.11, pp.20–23.
7. CalculiX USER'S MANUAL - CalculiX GraphiX, Version 2.14 - Klaus Wittig May 29, 2018
8. Chepchurov M. S. Processing of the parts with structurally non-uniform excess material. *Tekhnologiya Mashinostroeniya*, 2008, no. 10, pp.12–14.
9. Atapin Vladimir G., Rodionov Andrey I., Rykov Anatoliy A., Titorenko Victor P., Yur'Ev Gennady S., Ivanov George A. The testing - machines and devices for the tests of materials and special details on impact strength and impact stability. *Scientific Bulletin of the Novosibirsk State Technical University*, 2009, no.3, pp.87–98.
10. Dynamic Analysis of Constrained System of Rigid and Flexible Bodies With Intermittent Motion Y. A. Khulief and A.A. Shabana [+] Author and Article Information *J. Mech., Trans., and Automation* 108(1), 38–45 (Mar 01, 1986) (8 pages) doi:10.1115/1.3260781 History: Received July 10, 1984; Online November 19, 2009
11. Reliability of CSP Interconnections Under Mechanical Shock Loading Conditions. Article (PDF Available) in *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies* 29(4):787 - 795 January 2007 with 69 Reads DOI: 10.1109/TCAPT.2006.885948
12. Kruszka L., Vorobiov Y.S., Ovcharova N.Y. Fem analysis of cylindrical structural elements under local shock loading. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, vol. 566, pp. 499–504.
13. Sorokin V.G., Volosnikova A.V., Vyatkin S.A. Marker steel and alloys. M.: Mashinostroeniye, 1989, 640 p.
14. GOST 1050-2013 Metal products from non-alloyed structural quality and special steels. Technical conditions. Moscow: Standartinform, 2013, 36 p.

Information about the author

Teterina, Irina A., Postgraduate student. E-mail: teterina.ia@bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Avdeeva, Anna A., Bachelor student. E-mail: anett.avdeeva@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in Desember 2018

Для цитирования:

Тетерина И.А., Авдеева А.А. Использование пакета кэ-анализа в определении конструктивных параметров изделий машиностроения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №2. С.149–155. DOI: 10.12737/article_5c73fc382e33e6.05913951

For citation:

Teterina I.A., Avdeeva A.A. The determination of the structural parameters of mechanical engineering products by the finite element method. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2019, no. 2, pp. 149–155. DOI: 10.12737/article_5c73fc382e33e6.05913951

DOI: 10.12737/article_5c73fc3db37bc1.67872916

^{1,*}Санин С.Н., ¹Сапелин К.И.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

*E-mail: sanin.sn@bstu.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ ГНУТЫХ ТРУБОПРОВОДОВ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Аннотация. Гнутые стальные трубопроводы большого диаметра получили широкое распространение в энергетике, нефтегазовой промышленности и других отраслях. В зависимости от предназначения трубопроводы используются для транспортировки различных по химическому составу и свойствам веществ и сырья. Технология производства труб давно хорошо отработана, однако некоторые конструктивные элементы трубопроводов не всегда могут быть изготовлены на должном уровне качества, что может приводить к сложностям при их сборке и монтаже или к нарушению геометрической формы трубопроводов. К таким конструктивным элементам относятся изгибы трубопроводов. Изгибы трубопроводов должны соответствовать множеству требований, в том числе герметичности и надежности, а также соответствию геометрической точности заданной в конструкторской документации (по толщине стенки, углу и радиусу изгиба и пр.) Большая часть проблем, проявляются на стадии изготовления труб, что обусловлено несовершенством применяемых технологических решений, а также несовершенством применяемых методов и средств контроля готовых гнутых труб. Существующие методы контроля параметров таких трубопроводов морально устарели, ограничивая точность контроля и его производительность. Исправить ситуацию можно лишь используя широкое внедрение в процессы контроля средств механизации и автоматизации. В настоящей статье приводится описание элементов концепции автоматического контрольного приспособления, разработанного авторами, и специально предназначенного для автоматизации процессов контроля готовых гнутых труб большого диаметра. Внедрение такого приспособления в производственный процесс будет способствовать повышению производительности контрольных операций, снижению их трудоемкости и гарантированному отсеиванию негодных гнутых трубопроводов.

Ключевые слова: гнутые трубопроводы, трубы большого диаметра, базирование, метод контроля, контрольное приспособление.

Введение. В энергетическом машиностроении, в химической промышленности, судостроении и прочих отраслях промышленности широко используются крупногабаритные стальные трубопроводы диаметром до 300 мм и более. Соединения таких трубопроводов между собой под углом, а также выполнение различных отводов от корпусных деталей, таких как котлоагрегаты, колонны или реакторы [1, 2], требуют применения изогнутых труб. Причем угол изгиба таких труб согласно ОСТ108.030.123-85 может находиться в пределах от 30° до 90°.

Изогнутые стальные трубы получают методами пластической деформации на специальных трубогибочных станках. При гибке стальных труб их материал подвергается растяжению в зоне выпуклости и сжатию в зоне вогнутости. В связи с этим изменяется толщина стенки в различных областях поперечного сечения изогнутой трубы. Независимо от всех современных технологий [1], применяемые при гибке труб, возникают дефекты, приводящие к невозможности дальнейшего использования готового изогнутого трубопровода по назначению. К этим дефектам относятся образование эллиптичности в зоне изгиба, превышающей допустимые пределы, отклонения

угла изгиба оси трубы, приводящее к нарушению последующей точности сборки агрегатов, в которые данные трубопроводы конструктивно входят, существенное утоньшение стенки трубы в зоне растяжения, а также образование гофрированной поверхности в зоне сжатия.

Для выявления основных геометрических дефектов гнутых трубопроводов и недопущения поступления бракованных изделий на сборку агрегатов применяют различные методы контроля, среди которых ведущая роль отводится методу плазирования. Однако производительность существующих методов контроля слишком низкая, что связано с необходимостью очень тщательной выверки контролируемой детали, а также требовательна к навыкам и работоспособности контролёров.

Описание метода контроля. Контроль качества изогнутой трубы должен производиться наружным осмотром и проверкой соответствия её профиля размерам, указанным на чертеже. Для контроля геометрических параметров изогнутого трубопровода следует предварительно принять в качестве базовой поверхности одно из прямолинейных плеч трубопровода. Как правило, в таком качестве выступает наиболее длинное из плеч,

которое в дальнейшем будем называть базовым. Этим плечом трубопровод должен быть сориентирован относительно средств измерений, применяемых для контроля (рис. 1).

Цилиндрическая труба длинного плеча будет выступать в качестве двойной направляющей базы, лишая изделие четырёх степеней свободы. Этого явно не достаточно для осуществления контроля угла изгиба и радиуса кривизны изогнутой части трубопровода. По условиям контроля необходимо обеспечить горизонтальность оси изогнутой части трубопровода. Для этого в качестве дополнительной базы следует выбрать нижнюю часть цилиндрической поверхности короткого плеча трубы, на которой следует рассматривать одну опорную базовую точку. И наконец, для правильного определения радиуса изгиба требуется ограничить перемещения объекта контроля вдоль оси длинного плеча. В этом случае в качестве базовой поверхности может выступать либо торец длинного плеча, либо боковая поверхность цилиндрической части короткого плеча (см. рис. 1).

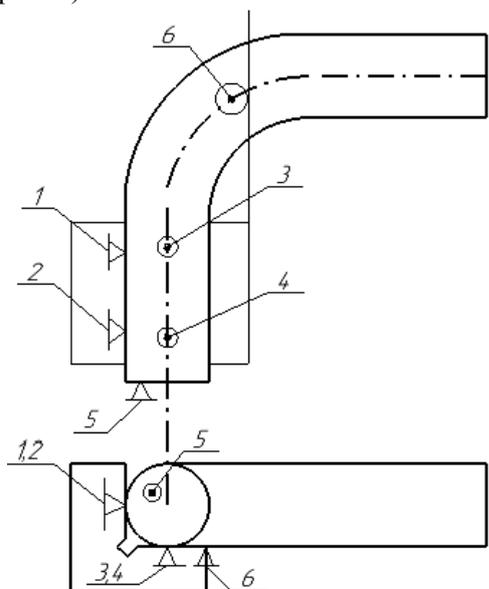


Рис. 1. Схема базирования изогнутого трубопровода при осуществлении контрольной операции

Контроль параметров готового изделия следует начинать с определения отклонения оси короткого плеча относительно оси длинного плеча (рис. 2). Принимая, что длинное плечо трубопровода установлено на опоры контрольного приспособления, обеспечивающего непрерывность горизонтального положения трубопровода, следует повернуть короткое плечо относительно оси длинного плеча до соприкосновения с опорой. Затем осуществить измерение отклонения по схеме, представленной на рис. 2.

Данная схема подходит для ручного измерения отклонения. Для автоматизации этого процесса можно использовать метод уровня (рис. 3).

Для этого следует использовать два датчика перемещения, расположенные ниже короткого плеча и выверенные по высоте. Для резистивных датчиков значения уровней H_1 и H_2 будут связаны с их выходными сигналами U_1 и U_2 следующими выражениями:

$$H_1 = k_1 U_1 \quad (1)$$

$$H_2 = k_2 U_2 \quad (2)$$

где k_1 и k_2 – функции преобразования резистивных датчиков.

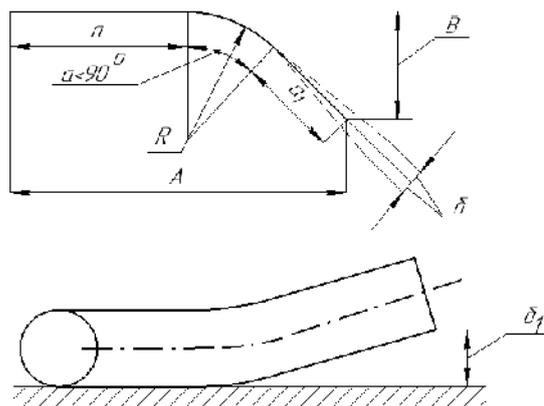


Рис. 2. Схема контроля отклонения короткого плеча

Тогда при известном значении базовой длины $L_{дб}$ величины углового φ и линейного δ_1 отклонений короткого плеча будут вычисляться с использованием выражений:

$$\varphi = \arctg\left(\frac{H_2 - H_1}{L_{дб}}\right) \quad (3)$$

$$\delta_1 = L_k \cdot \tg(\varphi) = L_k \cdot \left(\frac{H_2 - H_1}{L_{дб}}\right) \quad (4)$$

где L_k – длина короткого плеча трубопровода от оси вращения базового плеча (см. рис. 3);

H_1 и H_2 – положение чувствительных элементов датчиков контроля уровня (линейного перемещения).

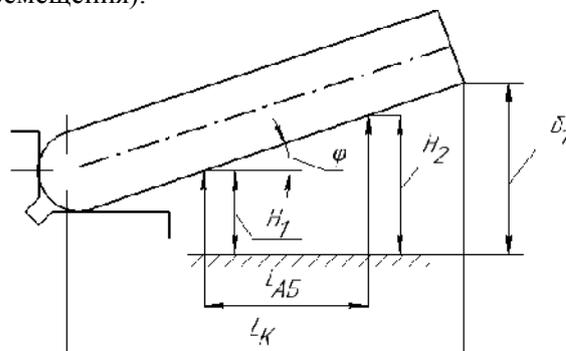


Рис. 3. Схема применения датчиков линейных перемещений для контроля отклонения короткого плеча:

Вторым этапом контроля следует рассматривать контроль радиуса изгиба трубопровода.

Контроль следует осуществлять по выпуклой части изгиба, так как вогнутая часть часто имеет дефекты в виде волнистости ввиду неконтролируемой деформации металла при сжатии. Однако для учета правильного положения теоретической оси изогнутой части трубы, необходимо предварительно иметь данные об величине эллиптичности в поперечных сечениях данного участка (рис. 4).

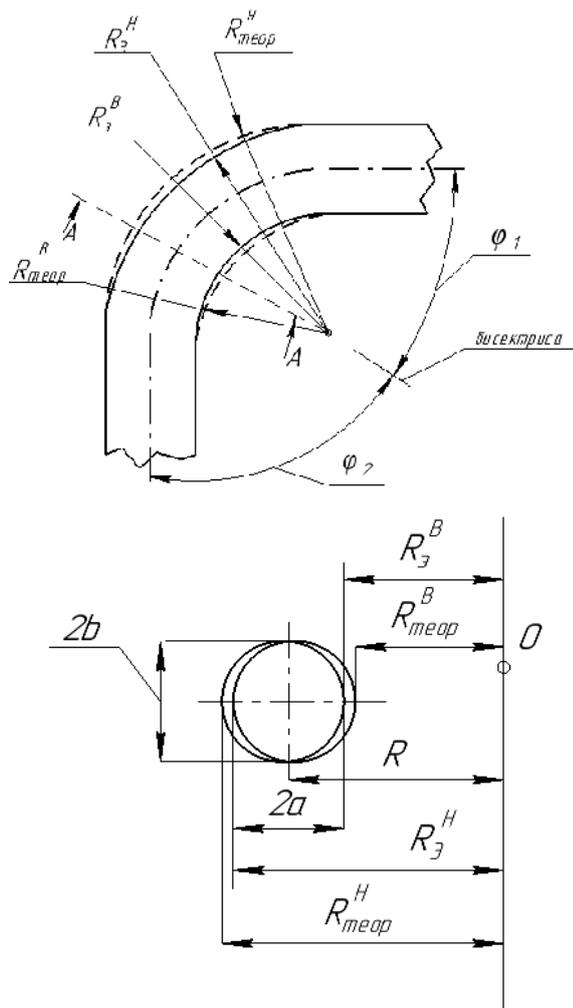


Рис. 4. Схема компенсации погрешности измерения радиуса изгиба трубопровода, связанной с образованием эллиптичности

Для осуществления контроля радиуса изгиба трубы следует воспользоваться схемой, представленной на рис. 5. Схема контроля предполагает наличие поворотной штанги 1, на конце которой укреплен измерительный механизм 2. Для минимизации погрешности измерения радиуса R центр поворота штанги 1 должен находиться на линии биссектрисы центрального угла α , определяющего измеряемую дугу. Для выполнения этого условия необходимо обеспечить правильное осевое положение контролируемого трубопровода относительно центра вращения штанги

либо предусмотреть механизм регулировки положения центра O .

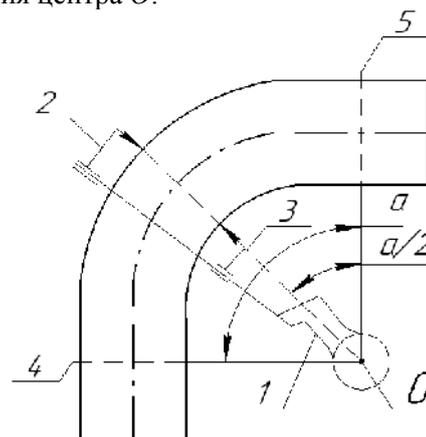


Рис. 5. Схема контроля радиуса изгиба трубы

Для измерения величины эллиптичности трубопровода и учета этого показателя при измерении радиуса кривизны $R_{теор}$ теоретической оси следует измерительный механизм снабдить датчиком 3 внутреннего действительного радиуса изгиба $R_{д}^{BH}$, который должен выполнять вспомогательную функцию измерения.

Для расчета радиуса кривизны R воспользуемся следующей метоликой (см. рис. 4). Величина малой полуоси эллипса поперечного сечения трубы будет равна:

$$a = \frac{R_{д}^H - R_{д}^{BH}}{2} \quad (5)$$

где $R_{д}^H$ – действительный радиус выпуклой поверхности поперечного сечения трубы в месте изгиба.

Тогда значение радиуса R можно будет найти из выражения:

$$R = R_{д}^H - a = R_{д}^H - \frac{R_{д}^H - R_{д}^{BH}}{2} = \frac{R_{д}^H + R_{д}^{BH}}{2} \quad (6)$$

Если принять, что при изгибе трубы формируется правильная дуга окружности, что контроль её радиуса следует осуществлять по трём точкам. Особенности измерения радиуса кривизны поясняются схемой на рис. 6.

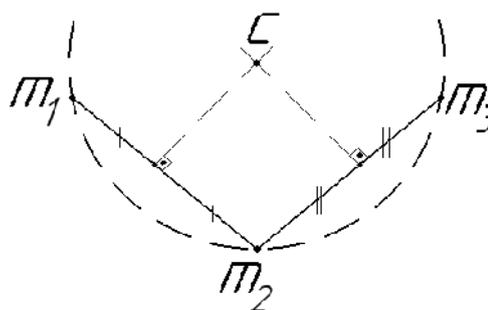


Рис. 6. Схема для определения радиуса кривизны дуги по трём принадлежащим ей точкам

Существует теорема определяющая, что если последовательно соединить двумя отрезками три точки, не лежащих на одной прямой, и провести через середины данных отрезков две перпендикулярные прямые, то пересечение прямых будет центром дуги проходящей через данные точки.

Из теоремы получим, что координаты точки центра дуги в каждом случае можно определить по формулам (5) и (6).

$$x_C = \frac{x_2^2 y_3 - x_3^2 y_2 + y_2^2 y_3 - y_3^2 y_2}{2x_2 y_3 - 2x_3 y_2} \quad (7)$$

$$y_C = \frac{x_3^2 x_2 - x_2^2 x_3 + y_3^2 x_2 - x_3^2 y_2}{2x_2 y_3 - 2x_3 y_2} \quad (8)$$

где x_2 и y_2 ; x_3 и y_3 – координаты точек m_2 и m_3 в локальной системе координат;

В том случае, когда форма кривой изгиба трубы не гарантируется, имеет смысл определения этой формы, используя метод наездника, представленный в литературе [3–6]. В этом случае проверяется вхождение радиусов кривизны каждого из проверяемых участков дуги в заданный допуск на радиус.

Методика и устройства для определения форм кривых поверхностей очень хорошо описаны в работах [3–6]. Аналогичное устройство, использующее три датчика линейных перемещений может быть использовано также и измерительном механизме устройства для контроля радиуса поверхности изогнутого трубопровода (рис. 7).

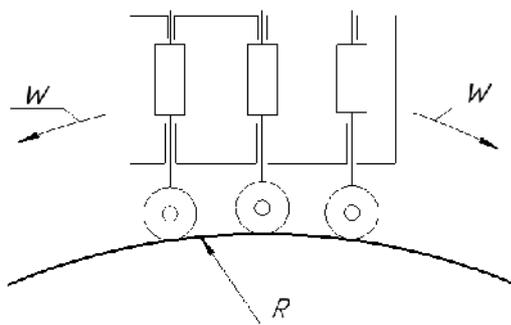


Рис. 7. Схема измерительного механизма с тремя датчиками линейных перемещений

Фактически контроль радиуса кривизны поверхности трубопровода сводится к определению радиусов элементарных дуг, длина которых в пределе стремится к нулю, при количестве дуг между точками начала и конца измерения стремящемся к бесконечности. В реальности количество таких измерений не должно быть очень большим, так как это потребовало бы существенного прироста в производительности вычислительных средств.

Длину дуги между точками начала m_1 и конца m_3 измерения (см. рис. 5) можно рассчитать по формуле:

$$L_{EF} = \frac{\pi R \alpha}{180} \quad (9)$$

Количество точек измерений определяется эмпирическим путем и зависит также от размера измерительной базы C между крайними точками касания датчиков линейных перемещений и измеряемой поверхности.

Предложенные методы контроля параметров изогнутых трубопроводов должны быть реализованы в одном общем контрольно-измерительном приспособлении, причем производительность контроля может быть существенно повышена, если это контрольное приспособление будет автоматически выполнять элементарные действия, связанные с осуществлением операции контроля, включая, базирование и закрепление изделия, вспомогательные и рабочие перемещения рабочих органов измерительного устройства, автоматическое снятие показаний измерительных датчиков и автоматическая обработка результатов измерения. Современные средства вычислительной техники позволяют легко реализовать подобное контрольное приспособление.

Рассмотрим общую концептуальную схему механической части автоматического контрольного приспособления (рис. 8).

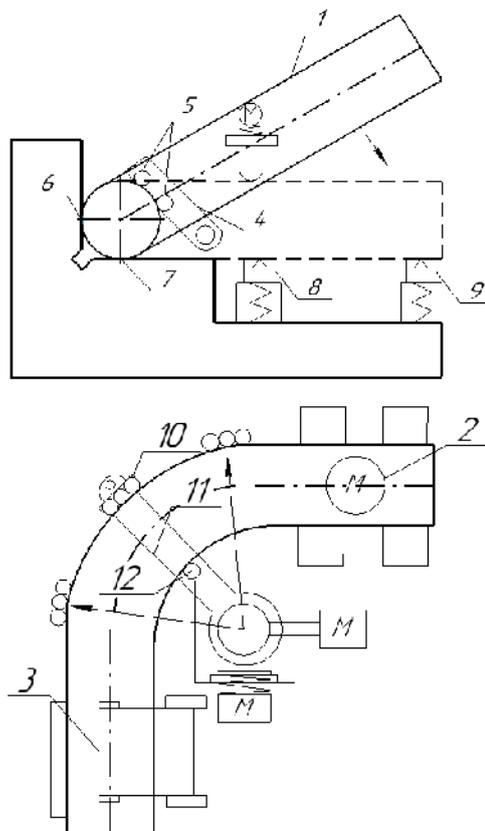


Рис. 8. Концептуальная схема контрольного приспособления

Изделие 1 своим базовым плечом устанавливается на опорные элементы приспособления 2 и 3 вручную или с использованием грузоподъемных средств. При этом максимально соблюдается

схема базирования, представленная на рис. 1. Изделие 1 закрепляется в приспособлении с использованием прижимного механизма 4, снабженного приводом принудительного вращения изделия 5. Усилие зажима должно быть достаточным для предотвращения отрыва изделия от опорных поверхностей 6 и 7 приспособления, однако допускать принудительный поворот трубопровода относительно оси его базового плеча. Второе плечо под собственным весом или с помощью механизма принудительного вращения 5 должно опуститься на дополнительную опорную поверхность 7. При этом нижняя образующая поверхности второго плеча должна соприкоснуться с рабочими поверхностями датчиков вертикальных линейных перемещений 8 и 9. Электрические сигналы с датчиков, поступающие на вход системы управления, будут служить для расчета величины углового и линейного отклонения оси короткого плеча трубопровода.

Для контроля радиуса кривизны выпуклой части изогнутого участка трубы используется измерительный механизм 10 с тремя датчиками линейных перемещений (рис. 7). Этот измерительный механизм устанавливается на конце кронштейна 11, снабженного приводами поворотного, радиального и поперечного перемещений. Радиальное перемещение позволит регулировать вылет кронштейна для правильной оценки исходного положения измерительного механизма в начальной точке контроля. Привод поворота позволит выполнять измерения радиусов кривизны вдоль всего изогнутого участка трубопровода от точки m_1 до точки m_3 . Привод поперечного перемещения кронштейна обеспечит правильную

настройку измерительного механизма с поиском оптимального центра поворота (m_0), лежащего на биссектрисе угла дуги измеряемого изогнутого участка (см. рис. 4). Электрические сигналы с измерительного механизма 10 будут подаваться на вход системы управления приспособления и использоваться для измерения величины радиуса кривизны, положения точек начала и конца измерений (перехода от линейного участка к изогнутому и обратно) и местных флуктуаций линии изгиба.

Для определения эллиптичности трубы в поперечных сечениях изогнутого участка, а также для перехода от контроля радиусов кривизны выпуклой части к контролю радиусов кривизны теоретической оси изогнутого участка будет служить дополнительный датчик 12 радиуса вогнутой части трубопровода, устанавливаемый на том же поворотном кронштейне 11 и имеющий отдельный привод радиальных перемещений.

Учитывая большое количество параметров, измеряемых предложенным автоматическим контрольным приспособлением, лучшим решением для организации системы управления будет являться применение микроконтроллерной техники [7–10]. Помимо автоматизации процесса контроля, ввода и обработки измерительной информации, управления исполнительными механизмами, такая система управления обеспечит гибкость работы и возможность расширения функций контрольного приспособления. [11]

Общая структура системы управления приспособления для контроля параметров гнутых трубопроводов представлена на рис. 9.

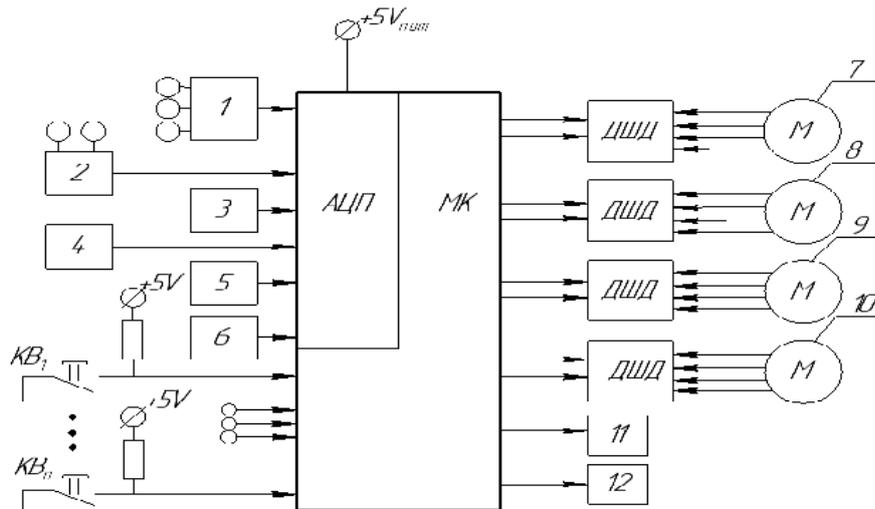


Рис.9. Структурная схема системы управления контрольным приспособлением: 1 – датчик радиуса, 2 – датчик уровня, 3 – датчик угла поворота измерительного механизма, 4 – датчик вылета измерительного механизма, 5 – датчик радиуса вогнутой поверхности трубы, 6 – датчик смещения оси поворотного механизма, 7 – привод вращения поворотного механизма, 8 – привод поступательного перемещения кронштейна поворотного механизма, 9 – привод выдвигания измерительного механизма, 10 – привод подъема измерительного механизма, 11 – привод принудительного вращения гнутой трубы, 12 – привод зажимного механизма.

Заключение. Приспособление для контроля параметров изогнутых крупногабаритных трубопроводов с полной или частичной автоматизацией, элементы концепции которой описаны в настоящей статье, является наилучшим способом повышения производительности и точности контроля готовых гнутых трубопроводов. Высокое качество контроля, которое обеспечит автоматическое контрольное приспособление, за счет снижения трудоёмкости и напряженности работ, а следовательно исключения влияния человеческого фактора предотвратит приёмку готовых изделий с браком и обеспечит полную собираемость соответствующих изделий, поставляемых заводом – изготовителем. При этом будут исключены возможные дополнительные затраты труда на пригоночно – регулировочные работы и затраты, сопутствующие им.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Санин С.Н. Пивовар А. Разработка устройства для контроля точности цилиндрической формы поверхностей деталей, не имеющих стационарной оси вращения. Актуальные проблемы менеджмента качества и сертификации: сб. докл. V Междунар. Научн.-практ. Интернет-конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. С. 116–123.
2. Sergei N. Sanin, Nikolai A. Pelipenko Innovative Technology of large-size Products Manufacture // Journal of mining Institute. 2018, V.230. P. 185–189. DOI: 10.25515/PMI.2018.2.185
3. Хуртасенко А.В., Шрубченко И.В., Тимофеев С.П. Методика определения формы наружной поверхности качения опор технологических барабанов // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2015. №3. С. 85–89.
4. Маслова И.В., Хуртасенко А.В. Устройство для определения размеров и формы крупногабаритных объектов // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: межвуз. сб. ст. Под ред В.С. Богданова. Белгород, 2011. С.189–192.
5. Патент РФ № 2007115816/22, 25.04.2007. Погонин А.А., Хуртасенко А.В., Чепчуров М.С. Устройство для измерения геометрических параметров формы крупногабаритных деталей вращения. Патент России № 66511.2007. Бюл. № 25.
6. Патент РФ 2002122502/28, 19.08.2002. Митюрин И.В., Бондаренко В.Н., Погонин А.А. Способ измерения геометрической формы цилиндрической поверхности тела вращения и его поведения в процессе эксплуатации и устройство для его реализации. Патент России № 2227268.2004.
7. Морозова А.Е. Концепция единой информационно-аналитической системы управления качеством технологических процессов производства / Молодёжь и научно-технический прогресс: Сборник докладов X международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. В 4 т. Т.1. // Губкин; Старый Оскол: ООО "Ассистент плюс", 2017. С. 404–407.
8. Морозова А.Е. Современные аспекты автоматизации контроля размеров в процессе управления качеством продукции // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород. 2017. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35108462> (06.10.2018).
9. Халенко В.О., Оникиенко Д.А. Обоснование выбора шагового привода для контрольно-сортировочного автомата/ Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование: сборник научных трудов Международной молодежной научно-практической конференции (15 ноября 2017 года) в 3-х томах, Т.3., Юго-Зап. гос. ун-т., Курск С.137–139.
10. Морозова А.Е. Алгоритмическое обеспечение автоматизированной системы контроля размеров/ Качество продукции, контроль, управление, повышение, планирование: сборник научных трудов Международной молодежной научно-практической конференции (15 ноября 2017 года) в 3-х томах, Т.2., Юго-Зап. гос. ун-т., Курск. С. 68–70.
11. Wang J., Sadowski A.J., Rotter J.M., Influence of ovalisation on the plastic collapse of thick cylindrical tubes under uniform bending, International Journal of Pressure Vessels and Piping. 2018. DOI: 10.1016/j.ijpvp. 2018.05.004.

Информация об авторах

Санин Сергей Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры стандартизации и управления качеством. E-mail: osur-sns@yandex.ru; sanin.sn@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Сапелин Константин Иванович, магистрант кафедры стандартизации и управления качеством. E-mail: kastasapelin@gmail.com; sapelin_ki@edu.bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в ноябре 2018 г.

© Санин С.Н., Сапелин К.И., 2019

^{1,*}Sanin S.N., ¹Sapelin K.I.

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

*E-mail: sanin.sn@bstu.ru

AUTOMATION CONTROL OF LARGE DIAMETER BENT PIPELINES

Abstract. Large diameter bent steel pipelines are widespread in the energy, oil, gas and other industries. Pipelines are used for transportation of substances and raw materials with various chemical composition and properties. The production technology of pipes is well established for a long time. However, some structural elements of pipelines are not always produced at the proper quality. This leads to difficulties in assembling, installing or geometric shape violation of pipelines. Such structural elements include pipe bends. Pipe bends must meet a variety of requirements, including tightness and reliability, as well as compliance with geometric accuracy specified in the design documentation (for wall thickness, angle, bend radius, etc.). Most of the problems arise during the pipe manufacture due to the imperfection of technological solutions, as well as the imperfection of applied methods and means to control the finished bent pipes. Existing methods for monitoring the parameters of such pipelines are obsolete, it limits the accuracy of measurement and performance. The widespread introduction of mechanization and automation tools into the control processes can rectify the situation. The article describes the concept of an automatic control device developed by the authors and specifically designed for automating the control processes of finished large diameter bent pipes. The introduction of such a device in the production process will contribute to improving the performance of control operations, reducing their labor intensity and guarantee screening of unsuitable bent pipelines.

Keywords: bent pipelines, large-diameter pipes, basing, control method, control device.

REFERENCES

1. Sanin S.N. Pivovarov A. Development of a device for controlling the accuracy of the cylindrical shape of surfaces of parts without a stationary axis of rotation. Actual problems of quality management and certification: Sat. report V Intern. Scientific - practical Internet conf. Belgorod, Publishing house of BSTU., 2013., pp. 116–123.
2. Sergei N. Sanin, Nikolai A. Pelipenko Innovative Technology of large-size Products Manufacture/ Journal of mining Institute. 2018, V.230, pp. 185 - 189. DOI: 10.25515/PMI.2018.2.185
3. Hurtasenko A.V., Shrubchenko I.V., Timofeev S.P. Method of determining the shape of the outer surface of rolling bearings technological drums. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov, 2015, no. 3, pp. 85–89.
4. Maslova I.V., Khurtasenko A.V. A device for determining the size and shape of large-sized objects. Energy-saving technological complexes and equipment for the production of building materials: intercollegiate collection of articles. Belgorod, 2011, pp.189–192.
5. Pogonin A.A., Khurtasenko A.V., Chepchurov M.S. Device for measuring the geometric parameters of the form of large-sized parts of rotation. Patent RF, no.2007115816/22, 2007.
6. Mityurin I.V., Bondarenko V.N., Pogonin A.A. The method of measuring the geometric shape of the cylindrical surface of the body of revolution and its behavior during operation and device for its implementation. Patent RF, no. 2002122502/28, 2004.
7. Morozova A.E. The concept of a unified information-analytical system of quality management of technological production processes. Youth and scientific and technical progress: Collection of reports of the X international scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists. Stary Oskol. Assistant Plus LLC, 2017, pp. 404–407.
8. Morozova A.E. Modern aspects of automation of size control in the process of product quality control. International scientific and technical conference of young scientists BSTU V.G. Shukhov. Belgorod, 2017. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35108462> (accessed 06.10.2018).
9. Khalenko V.O., Onikienko D.A. Justification of the choice of the step drive for the control and sorting machine. Product quality: control, management, promotion, planning: a collection of scientific papers International Youth Scientific and Practical Conference in 3 volumes (15 november 2017), vol. 3. Kursk, Southwestern State University Publ., pp. 137–139.
10. Morozova A.E. Algorithmic support of the automated system of size control. Product quality, control, management, enhancement, planning: collection of scientific papers of the International youth scientific and practical conference in 3 volumes (15 november 2017), vol. 2. Kursk, Southwestern State University Publ., pp.68–70.
11. Wang J., Sadowski A.J., Rotter J.M., Influence of ovalisation on the plastic collapse of thick

cylindrical tubes under uniform bending, International Journal of Pressure Vessels and Piping, 2018. DOI: 10.1016/j.ijpvp.2018.05.004.

Information about the authors

Sanin, Sergej N. PhD, Assistant professor. E-mail: osup-sns@yandex.ru; sanin.sn@bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Sapelin, Konstantin I. Master student. E-mail: kastasapelin@gmail.com; sapelin_ki@edu.bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in November 2018

Для цитирования:

Санин С.Н., Сапелин К.И. Автоматизация контроля гнутых трубопроводов большого диаметра // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №2. С. 156–163. DOI: 10.12737/article_5c73fc3db37bc1.67872916

For citation:

Sanin S.N., Sapelin K.I. Automation control of large diameter bent pipelines. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 2, pp. 156–163. DOI: 10.12737/article_5c73fc3db37bc1.67872916

Научное издание
«Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова»
№ 2, 2019 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 №ФС77-26533

Сдано в набор 9.01.19. Подписано в печать 21.02.19. Формат 60×84/8
Усл. печ. л. 20. Уч.-изд. л. 21,5
Тираж 500 экз. Заказ 8. 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