

Научно-теоретический журнал

Вестник

Белгородского государственного технологического
университета им. В.Г. Шухова

ISSN 2071-7318

10

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

№ 10, 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: <https://bulletinbstu.editorum.ru>

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

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

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

Главный редактор

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

Заместитель главного редактора

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

Члены редакционной коллегии

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

CHIEF EDITOR

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

DEPUTY OF CHIEF EDITOR

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

MEMBER OF EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

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

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

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

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).

ИТОГИ XIV МЕЖДУНАРОДНОГО КОНГРЕССА ПО ПРИКЛАДНОЙ МИНЕРАЛОГИИ (ICAM 2019)

8

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

- Шаталова С.В., Чернышева Н.В., Глаголев Е. С., Лесниченко Е.Н., Дребезгова М.Ю.**
ЭФФЕКТИВНЫЙ ЯЧЕЙСТЫЙ БЕТОН НА КОМПОЗИЦИОННОМ ГИПСОВОМ ВЯЖУЩЕМ 11
- Должонок А.В., Бакатович А.А.**
ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ
СТЕНОВЫХ БЛОКОВ НА РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДАХ В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ ВЛАЖНОСТИ МАТЕРИАЛА 19
- Радайкин О.В.**
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ДИАГРАММ ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНА
ПО КРИТЕРИЮ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ДЕФОРМИРОВАНИЕ И РАЗРУШЕНИЕ 29
- Абакумов Р.Г., Авилова И.П., Абакумова М.М., Анисимов С.А.**
ОНТОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВ
КРУПНОПАНЕЛЬНОГО И МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО
СТРОИТЕЛЬСТВА ЖИЛЫХ ОБЪЕКТОВ 40
- Тирон О.В., Попов Е.Н.**
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДУШНОГО РЕЖИМА КВАРТИР В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ
И РЕКОНСТРУКЦИИ 53
- Суслов Д.Ю., Рамазанов Р.С., Лобанов И.В.**
ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В КОРПУСЕ
ИНЖЕКЦИОННОЙ ГОРЕЛКИ С ТЕПЛОВЫМ РАССЕКATEЛЕМ 60
- Симбирев О.В.**
АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ В ЖИЛЫХ КОМНАТАХ
С ПРИТОЧНЫМИ ПОДОКОННЫМИ КЛАПАНАМИ ПРИ ПОМОЩИ
МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ANSYS FLUENT 67
- Буланин В.А.**
МЕТОД АНАЛИЗА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ИСТОЧНИКА ТЕПЛОВОЙ
ЭНЕРГИИ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ 74
- Жданова И.В., Кузнецова А.А., Михайлина П.И.**
АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ФИТНЕС-ЦЕНТРОВ 84
- Щукина Т.В., Воробьева Ю.А., Кароли М.А., Логачев А.В.**
ВЛИЯНИЕ ОЗЕЛЕНЕНИЯ НА ЭКОЛОГИЮ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ
НА ПРИМЕРЕ БЛАГОУСТРОЙСТВА ОБЪЕКТА СОЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ 93
- Сидоренко Н.Р.**
УТРАЧЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ МОДЕРНИЗМА В РОСТОВЕ-НА-ДОНУ.
ЗДАНИЕ МУЗЕЯ ИНТЕРНАЦИОНАЛЬНОЙ ДРУЖБЫ В ПАРКЕ ИМ. Г. ПЛЕВЕН 102
- Дудченко М.Ю., Попов А.Д.**
КОЛОРИСТИКА КАК ФАКТОР ЭСТЕТИЧЕСКОГО ПЕРЕЖИВАНИЯ 111

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

- Власова Л.А., Пугачева И.Н., Никулин С.С.**
ПРИМЕНЕНИЕ СОЛЕЙ d-МЕТАЛЛОВ 4-го ПЕРИОДА В КАЧЕСТВЕ КОАГУЛЯНТОВ
В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЭМУЛЬСИОННЫХ КАУЧУКОВ 117

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

- Загороднюк Л.Х., Уральский В.И., Уральский А.В., Сумской Д.А., Непризаннов А.Е., Шкулев А.С.**
ПОЛУЧЕНИЕ ВЯЖУЩИХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ БЕТОНОВ В ЦЕНТРОБЕЖНОЙ
ПОМОЛЬНОЙ МЕЛЬНИЦЕ 123
- Ерыгин Е.В., Дуюн Т.А.**
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ЧИСТОВОМ
ФРЕЗЕРОВАНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ 135
- Дудукало Д.В., Чепчуров М.С., Вагнер М.Ю.**
МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ПЛОСКОСТЕЙ, ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ОСИ ВРАЩЕНИЯ ЗАГОТОВКИ
НА ТОКАРНЫХ АВТОМАТАХ 142
- Герасимов М.Д., Воробьев Н.Д., Иванов В.И.**
ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ВИБРАЦИОННОГО
МЕХАНИЗМА С АСИММЕТРИЧНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ ПО КОЭФФИЦИЕНТУ
ДИНАМИЧНОСТИ 149

RESULTS OF THE XIV INTERNATIONAL CONGRESS FOR APPLIED MINERALOGY (ICAM 2019)

8

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

- Shatalova S.V., Chernysheva N.V., Glagolev E.S., Lesnichenko E.N., Drebezgova M.Yu.**
EFFECTIVE CELLULAR CONCRETE ON THE COMPOSITE GYPSUM BINDER 11
- Dalzhonak A.V., Bakatovich A.A.**
PECULIARITIES OF KINETICS OF THE COEFFICIENT OF THERMAL CONDUCTIVITY
DEPENDING ON THE HUMIDITY RATE OF WALL BLOCKS MADE
OF AGRICULTURAL WASTES 19
- Radaikin O.V.**
COMPARATIVE ANALYSIS OF VARIOUS DIAGRAMS OF CONCRETE
DEFORMATION ACCORDING TO THE CRITERION OF ENERGY CONSUMPTION
FOR DEFORMATION AND DESTRUCTION 29
- Abakumov R.G., Avilova I.P., Abakumova M.M., Anisimov S.A.**
ONTOLOGY OF RESEARCH EFFICIENCY AND PROSPECTS OF LARGE-PANEL
AND MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTION OF RESIDENTIAL OBJECTS 40
- Tiron O.V., Popov E.N.**
RESEARCH OF APARTMENTS' AIR REGIME IN THE PROCESS OF OPERATION
AND RECONSTRUCTION 53
- Suslov D.Yu., Ramazanov R.S., Lobanov I.V.**
RESEARCH OF THE DISTRIBUTION OF A GAS-AIR MIXTURE IN THE BODY
OF INJECTION BURNER WITH THERMAL DIVIDER 60
- Simbirev O.V.**
ANALYSIS OF AIR FLOW DISTRIBUTION IN RESIDENTIAL ROOMS WITH SUPPLY
WINDOW VALVES BY MATHEMATICAL MODELING IN ANSYS FLUENT 67
- Bulanin V.A.**
METHOD OF ANALYSIS OF ENERGY POTENTIAL OF THERMAL ENERGY
SOURCE FOR HEAT SUPPLY 74
- Zhdanova I.V., Kuznetsova A.A., Mikhailina P.I.**
ARCHITECTURAL AND PLANNING PRINCIPLES OF FITNESS CENTERS ORGANIZATION 84
- Shchukina T.V., Vorob'eva Yu.A., Karoli M.A., Logachev A.V.**
IMPROVING THE QUALITY OF THE AIR ENVIRONMENT THROUGH THE GREENING
OF URBANIZED TERRITORIES ON THE EXAMPLE OF IMPROVEMENT OF SOCIAL FACILITIES 93
- Sidorenko N.R.**
LOST OBJECTS OF MODERNISM IN ROSTOV-ON-DON. THE BUILDING OF THE MUSEUM
OF INTERNATIONAL FRIENDSHIP IN THE PARK NAMED AFTER CITY OF PLEVEN 102
- Dudchenko M.Y., Popov A.D.**
COLORISTICS AS A FACTOR OF AESTHETIC EXPERIENCE 111

CHEMICAL TECHNOLOGY

- Vlasova L.A., Pugacheva I.N., Nikulin S.S.**
THE USE OF SALTS OF d-METALS OF THE 4th PERIOD AS COAGULANTS
IN THE PRODUCTION TECHNOLOGY OF EMULSION RUBBERS 117

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

- Zagorodnyuk L.Kh., Uralskiy V.I., Uralskiy A.V., Sumskey D.A., Neprizvannov A.E., Shkulev A.S.**
PREPARATION OF BINDING COMPOSITIONS FOR CONCRETE IN A CENTRIFUGAL GRINDING MILL 123
- Erygin E.V., Dujun T.A.**
FORECASTING OF THE SURFACE ROUGHNESS IN FINISHING MILLING
USING NEURAL NETWORKS 135
- Dudukalo D.V., Chepchurov M.S., Vagner M.Y.**
METHOD FOR PRODUCING PLANES PARALLEL TO THE ROTATION AXIS OF BLANK
OF AUTOMATIC LATCHES 142
- Gerasimov M.D., Vorobiev N.D., Ivanov V.I.**
OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF TWO-STAGE VIBRATION MECHANISM WITH ASYMMETRIC
OSCILLATIONS BY DYNAMIC COEFFICIENT 149

ИТОГИ XIV МЕЖДУНАРОДНОГО КОНГРЕССА ПО ПРИКЛАДНОЙ МИНЕРАЛОГИИ (ICAM 2019)

С 23 по 27 сентября на базе Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова прошел XIV Международный конгресс по прикладной минералогии

(14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM 2019). Необходимо отметить, что данное мероприятие впервые проходило на территории Российской Федерации.



Делегаты Конгресса

Организаторами Конгресса выступили: Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Правительство Белгородской области, Российская академия наук; Российская академия архитектуры и строительных наук; International Mineralogical Association; Российское минералогическое общество; Институт геологии имени академика Н.П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук; Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова; Научно-производственная корпорация «Механобр-техника».



Пленарное заседание



Открытие Конгресса

Генеральным спонсором Конгресса выступила ООО «Управляющая компания Металлоинвест».

Генеральный спонсор 14-го ICAM



Для участия в конференции было заявлено 122 доклада 340 авторов.

За период работы Конгресса в рамках 16 пленарных, 70 устных и 36 стендовых докладов работали 9 секций по основным направлениям Прикладной минералогии:

- «Геометаллургия, технологическая минералогия и процессы переработки минерального сырья»;
- «Индустриальные материалы, драгоценные камни, руды и добыча полезных ископаемых»;
- «Нефтяные и газовые коллекторы, в том числе газовые гидраты»;
- «Аналитические методы, приборы и автоматизация»;
- «Перспективные материалы с улучшенными характеристиками, в том числе техническая керамика и стекло»;
- «Строительные материалы»;
- «Биомиметические материалы на минеральной основе, биоминералогия»;

- «Окружающая среда и энергетические ресурсы»;
- «Культурное наследие, артефакты и их сохранность».

**Пленарное заседание**

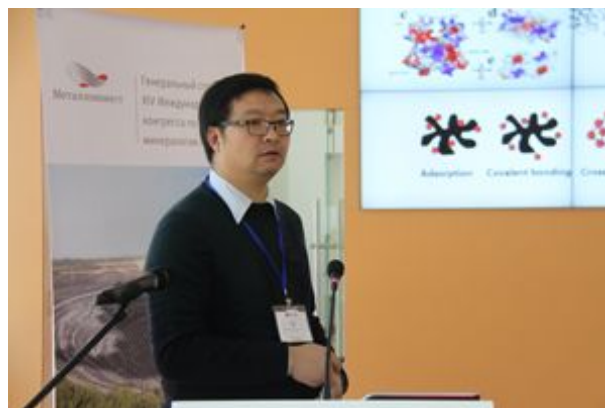
На секции «Строительные материалы» состоялось расширенное заседание Научного Совета РААСН «Нанотехнологии в строительном материаловедении». Среди вопросов, рассматриваемых Научным Советом, можно выделить: производство и применение наноматериалов для строительства; определение проблем и путей развития в области нанотехнологий; изучение процессов на наноуровне; генезис минеральных микро- и наноструктур; наноминералогия сырьевых материалов; наномодификация строительных материалов; опыт применения наноматериалов и нанотехнологий в реальных строительных проектах и др.

**Пленарное заседание.**

Докладчик – Лесовик В.С.
член-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф.

Для обсуждения мировых и отечественных тенденций применения наноматериалов и нанотехнологий в строительстве и развития международного научного сотрудничества в качестве докладчиков были приглашены ведущие зарубежные и российские ученые, а также профильные специалисты. С пленарными докладами на открытии выступили заместитель председателя Совета РААСН «Нанотехнологии в строительном материаловедении», д-р техн. наук, профессор

РАН, советник РААСН Строкова В.В. и член Совета, д-р техн. наук, чл.-корр. РААСН, профессор Лесовик В.С.

**Работа секций**

Согласно итогам опубликованной Книги и зарегистрированным делегатам всего в Конгрессе приняли участие более 400 ученых и специалистов в области прикладной минералогии и материаловедения из 21 страны мира (Россия, Китай, Португалия, Германия, Япония, Турция, Узбекистан, Франция, Чили, Казахстан, Австралия, Беларусь, США, Венгрия, Испания, Румыния, Ливан, Кот д'Ивуар (Cote d'Ivoire), Алжир, Италия, Норвегия) из 46 организаций, из них 29 – представители академических организаций, 44 – высших учебных заведений, 23 – представители промышленных компаний, научных журналов, в том числе 8 академиков РАН, 4 чл.-корр. РАН, академик РААСН, 2 чл.-корр. РААСН, 4 советника РААСН.

Большой интерес участников Конгресса вызвала полевая экскурсия на Лебединский ГОК (г. Губкин) – крупнейшее в России предприятие по добыче и обогащению железной руды и производству высококачественного железорудного сырья.

**Делегаты Конгресса на Лебединском ГОК**

В последний день Конгресса работала научная Школа, которую с успехом провел профессор В.В. Щипцов (Россия) «Роль прикладной мине-

ралогии в исследовании индустриальных минералов (опыт работы Комиссии по технологической минералогии РМО)».

Дискуссионный клуб с темой «Обработка больших данных в геологоразведке» (Big data handling in exploration) возглавил Дитер Раммлайр (Dieter Rammlair), (Германия).

В рамках Конгресса работала выставка EXPO/ICAM2019 производственного оборудования, исследовательской техники, отраслевого программного обеспечения. Участниками выставки стали: производитель технологического оборудования НПК «Механобр-техника» (Санкт-Петербург), производитель панорамных микроскопов группа компания «SIAMS» (Екатеринбург), производитель анализаторов размера частиц «Beckman Coulter», США (представительство в Санкт-Петербурге); разработчик программного обеспечения ООО «Современные изыскательские технологии» (Москва); производитель оборудования для определения химического и фазового состава «Термо Техно» (Москва); белгородские строительные предприятия и производители строительных материалов, малые инновационные предприятия университета, в т.ч. ООО «Композит» – производитель сухих строительных смесей марки «Экоцемент».



Заседание Совета ICAM (ICAM Council)

В заключительный день было проведено заседание Совета ICAM (ICAM Council), в работе которого приняли участие представители 11 стран. Совет ICAM подвел итоги работы ICAM2019:

– отметил хорошую работу команды Конгресса (Национальный организационный комитет, Национальный научный комитет, Совет ICAM, поддержка от IMA-CAM), что привело к успешной реализации проекта ICAM2019;

– подчеркнул важный результат Конгресса – Труды 14-го Международного конгресса по прикладной минералогии (ICAM2019);

– подтвердил решение Совета ICAM, который проходил в 2017 г. в Италии, Бари (ICAM2017) о проведении 15-го Международного конгресса по прикладной минералогии в Португалии, Университет Авейру, июль, 2021 г.;

– определил новый состав Совета ICAM: президент – Ольга Котова Россия, вице-президент Фернандо Роше (Fernando Roche), Португалия, генеральный секретарь – Дитер Раммлайр, Германия; второй секретарь – Deschentree Chetty, ЮАР, а также представитель в IMA/CAM от Совета ICAM – Мартин Брукманс;

– состоялся конкурс на право проведения XVI Международного конгресса по прикладной минералогии. За право проведения Конгресса в 2023 году боролись две страны: Чили (г. Консепсьон, Университет Консепсьона) и Китай (г. Ченгду, Юго-Западный Университет Науки и Технологии). В результате голосования площадкой для XVI Международного конгресса по прикладной минералогии был выбран Юго-Западный Университет Науки и Технологии, г. Ченгду, Китай.



Выборы на право проведения Конгресса в 2023 г.

Конгресс, девиз которого – «Прикладная минералогия: будущее рождается сегодня», стал важной вехой в истории Комиссии по прикладной минералогии Международной минералогической ассоциации, определил вектор развития приоритетных научных направлений, эффективные связи науки и бизнеса, лежащие в основе инновационной экономики регионов мира, закрепил позиции России как одной из ведущих стран в области прикладной минералогии. Надеемся, что молодые участники Конгресса получили новые знания и новые возможности для активного участия в современных вызовах прикладной минералогии.

Строкова В.В.
профессор РАН, советник РААСН,
д-р техн. наук, проф.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/article_5db331a5c52049.41127542

Шаталова С.В., Чернышева Н.В., Глаголев Е.С., Лесниченко Е.Н., Дребезгова М.Ю.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова**Россия. 308012, Белгород, ул. Костюкова, д.46***E-mail: shatalova.sv@yandex.ru*

ЭФФЕКТИВНЫЙ ЯЧЕИСТЫЙ БЕТОН НА КОМПОЗИЦИОННОМ ГИПСОВОМ ВЯЖУЩЕМ

Аннотация. Динамично развивающееся строительство Российской Федерации вызывает необходимость расширения спектра альтернативных видов вяжущих и материалов на их основе. К таким вяжущим относится композиционное гипсовое вяжущее, применяемое для производства материалов различного функционального назначения. Изготовление и применение изделий на основе композиционных гипсовых вяжущих стало возможным благодаря изучению системы «портландцемент – гипс – вода», устойчивость которой обеспечивается вводом надлежащего количества активных минеральных добавок, снижающих концентрацию $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в жидкой фазе твердеющей системы и создающей возможность твердения при определенных условиях без опасных внутренних напряжений. В данной статье рассматривается возможность получения эффективного ячеистого бетона на композиционном гипсовом вяжущем. Ячеистые бетоны по своей структуре, свойствам, способам получения превосходят некоторые традиционные материалы, а по эксплуатационным свойствам являются универсальными. В работе установлена возможность и целесообразность использования в качестве минеральной добавки в составе композиционного гипсового вяжущего для пенобетона тонкомолотого бетонного лома. Получены теплоизоляционно-конструкционные пенобетоны марок D600 и D700. Выявлено, что рациональной является поэтапная загрузка компонентов бетонной смеси, с первоначальным вводом гипсового вяжущего.

Ключевые слова: ячеистый бетон, композиционное гипсовое вяжущее (КГВ), поризация, микроструктура.

Введение. Опыт применения изделий из ячеистых бетонов в строительстве показал, что они могут успешно конкурировать с большинством традиционных стеновых материалов, сочетающих в себе высокие теплоизоляционные и конструктивные свойства, позволяют снижать толщину стены и массу конструкции. Для развития технологии ячеистых бетонов в современных условиях необходимо расширение номенклатуры технологически, экономически и экологически эффективных разновидностей вяжущих нового поколения, обеспечивающих получение высококачественных изделий [1–7].

Перспективными для этих целей являются пенобетоны на основе быстротвердеющих композиционных гипсовых вяжущих (КГВ) повышенной водостойкости с активными минеральными добавками разного генезиса [8, 9]. По сравнению с другими широко применяемыми в настоящее время вяжущими они находятся в более предпочтительном положении, так как соответствуют всем современным требованиям с позиции развития строительных тенденций. Это можно объяснить повсеместным наличием природного гипсового сырья и гипсосодержащих отходов, простотой и экологичностью их переработки в гипсовые вяжущие (ГВ) и строительные

материалы на их основе с более низкими расходами топлива и энергии (например, в 4 и 5 раз ниже, чем при производстве цемента), простотой оборудования на производстве и др. Гипс не токсичен по своему химическому составу, а, следовательно, при переработке он не выделяет в окружающую среду CO_2 и другие вредные вещества [10].

В связи с вышеизложенным, целью данной работы является подбор состава, разработка технологии приготовления пенобетонной смеси на основе КГВ, исследование структуры и свойств затвердевшего материала.

Методология. В работе для получения пенобетона (ПБ) на основе КГВ использовали следующие материалы: гипсовое вяжущее (ГВ) α -модификации ГВВС-16 (Г-16) ЗАО «Самарский гипсовый комбинат», портландцемент ЦЕМ I 42,5Б ПАО «Мордовцемент» (ПЦ) и тонкодисперсные минеральные добавки (МД) из техногенного сырья:

- бетонный лом (БЛ) разрушенных зданий и сооружений, обладающий заметными вторичными вяжущими свойствами с наличием гидросиликатов кальция C_2SH_2 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и непрогидратированных клинкерных минералов (в основном белита);

- отсев дробления кварцитопесчаника зеленосланцевой степени метаморфизма Лебединского ГОКа (КВП). Его породообразующим минералом является кварц – среднее содержание 86,24 %, остальные минеральные компоненты

представлены мусковитом, биотитом, альбитом, калиевым полевым шпатом, содержание которых может достигать 10...20 %. Химический состав применяемых минеральных добавок представлен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав минеральных добавок

Материал	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Feоб	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O+ K ₂ O	TiO ₂	ClO ₂	MnO ₂	ппп
Кварцитопесчаник	94,32	2,61	0,81	0,46	0,66	–	0,22+0,65	0,16	–	–	0,65
Бетонный лом	52,4	4,9	3,7	34,7	1,2	0,5	0,51+1,5	0,19	0,27	0,087	-

В качестве синтетического пенообразователя для ПБ в соответствии с ТУ 2481-008-80824910-2012 применяли добавку «ПБ-Формула 2012» – синергетическую смесь анионоактивных ПАВ со стабилизирующими и функциональными добавками, представляющую собой однородную жидкость светло-желтого цвета, плотностью в пределах 1000–1150 кг/м³ (при 20 °С), рН=7,5–11, кратностью пены рабочего раствора с объемной долей продукта 4 % – не менее 8,0, устойчивостью пены в технологической среде (усадкой от первоначального объема) – менее 5 %.

Основные физико-механические показатели сырьевых и синтезированных материалов определялись в соответствии со стандартными методиками. Исследование фазового состава и структурных характеристик осуществлялось с помощью РФА и РЭМ TeskanMIRA 3.

Основная часть. Для приготовления КГВ в вибрационной мельнице предварительно производили помол МД до удельной поверхности 500–550 м²/кг с последующим смешиванием с ПЦ,

совмещенным с кратковременным домолом, в результате которого происходит деструкция кремнеземистого компонента и образуется нарушенный микрослой с ограниченным количеством аморфной фазы SiO₂, способствующий связыванию Ca(OH)₂, выделяющемуся при гидратации алита. Снижается основность твердеющей системы с устранением условий роста высокоосновных гидроалюминатов кальция, этtringита и образованием низкоосновных малорастворимых гидросиликатов кальция, а также происходит уплотнение микроструктуры со значительным повышением прочности и водостойкости материала.

На основе результатов определения активности МД было установлено, что их рациональное количество в составе вяжущего (при отношении МД/ПЦ=1:1) способствует стабильности его свойств и снижению концентрации CaO в водной суспензии вяжущего до требуемых пределов (согласно ТУ 21-31-62-89). Свойства КГВ представлены в таблице 2.

Таблица 2

Состав и свойства КГВ

№	ГВ	ПЦ	БЛ	КВП	В/Вяз	Расплав, мм	Рсж, Мпа		
							2 часа	7 сут.	28 сут.
1	60	20	20	–	0,42	110	9,1	12,6	15,7
2	60	20	–	20	0,42	120	6,2	11,9	14,8

Установлено, что тонкодисперсный БЛ более эффективен в качестве МД по сравнению с КВП. Наличие в составе БЛ негидратированного портландцемента и тонкодисперсных частиц, выступающих в качестве зародышей и центров кристаллизации в процессе структурообразования, а также играющих роль микровключений в матричном материале, способствует созданию достаточно прочной микроструктуры затвердевшего КГВ.

Подтверждением стабильности сформированной структуры КГВ с минеральной добав-

кой БЛ являются результаты РФА и РЭМ в возрасте 2 час, 7 и 28 суток (рис.1). В исследованных пробах в качестве продуктов гидратации присутствуют: двухводный сульфат кальция (d=7,64; 4,29; 3,81; 3,071; 2,879; 2,686...Å); частично закристаллизованный тоберморитоподобный гидросиликат кальция (d=3,07; 2,79; 2,4; 2,1; 1,81...Å); следы гексагонального восьмиводного гидроалюмината кальция (d=10,1; 3,49; 2,87; 2,55...Å); кварц (d=3,35; 2,46; 2,22; 2,28; 2,133; 2,089...Å), портландит (d=4,93; 3,18; 2,63; 1,78...Å), следы этtringита (d=5,61; 3,88; 2,57...Å).

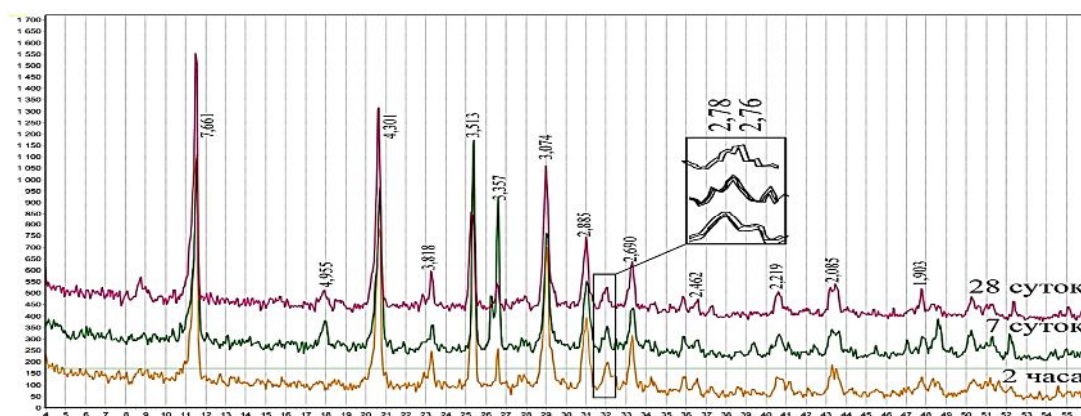


Рис. 1. Фазовый состав КГВ с минеральной добавкой БЛ

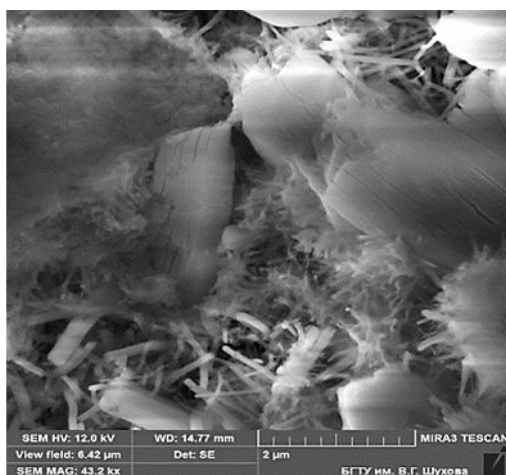


Рис. 2. Микроструктура низкоосновных гидросиликатов кальция на кристаллах гипса

Анализ микроструктуры исследуемых образцов показал (рис. 2, 3), что в композициях с БЛ образуются новообразования толщиной в 1–2 мкм, которые можно отнести к С-S-H- гелю, в основном имеющему переменный состав и аморфную природу. В его структуре также просматриваются слабо закристаллизованные области, обозначаемые как С-S-H(I) и С-S-H(II). Имеющиеся поры почти полностью зарастают мелкими кристаллами гидросиликатов кальция, приобретающих морфологию дендритоподобных образований и создающих уплотненную оболочку

вокруг частиц гипса. За счет гидросиликатов такой морфологии затвердевшее КГВ упрочняется.

К 28 суткам оболочка гидросиликатов становится достаточно плотной, частицы объединяются в непрерывную мелкокристаллическую ($\leq 0,1$ мкм) структуру с упрочненными связями, предположительно гидросиликатов, гидроалюмосиликатов, гидроаллюмо-ферритов кальция и двуводного сульфата кальция, как результат твердения портландцемента и полуводного гипса.

Основным и самым значимым этапом производства пенобетонных изделий является их поризация [11–13]. В связи, с чем в лабораторных условиях были проведены испытания по взаимодействию каждого компонента пенобетонной смеси с пенообразователем «ПБ-Формула». Для этого с помощью миксера в течение одной минуты готовилась пеномасса из пенообразователя и воды, в которую добавляли с постоянным перемешиванием каждый из компонентов КГВ, готовую смесь заливали в формы размером 10×10×10 см, рассчитывая степень их заполнения и сравнивая объем полученных пеномасс. На основе полученных результатов для приготовления более устойчивой пенобетонной смеси в лабораторных условиях была предложена схема поэтапной загрузки ее компонентов в смеситель.

Таблица 3

Взаимодействие компонентов композиционного гипсового вяжущего с синтетическим пенообразователем «ПБ-Формула»

Наименование компонента	В/В	Количество пенообразователя «ПБ Формула», мл/кг	Степень заполнения формы, см ³
Гипс Г-16	0,5	2	>1000
Цемент ЦЕМ I	0,5	2	950
Тонкодисперсный БЛ	0,5	2	820

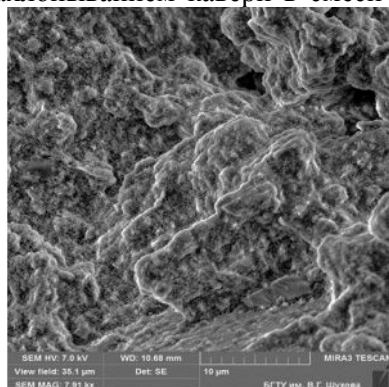
Чтобы пеномасса не потеряла свою форму в результате ввода в нее всех компонентов вяжущего, в первую очередь необходимо вводить ГВ, в результате гидратации, которого и последующей кристаллизации двуводного гипса, его схватывания, создается более однородная и устойчи-

вая микроструктура пеногипсовой массы, стабильная при последующем вводе остальных компонентов вяжущего.

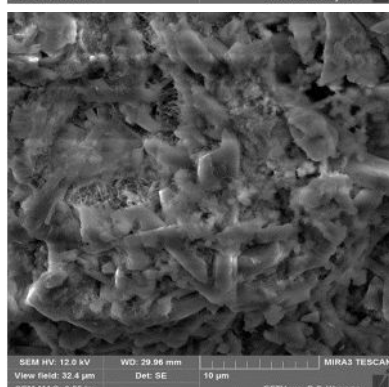
При перемешивании за счет вращения ротора пенобетоносмесителя и отражательных лопастей, закрепленных на его стенках, создаются мощные радиальные и тангенциальные потоки,

которые приводит к дополнительной диспергации частиц и вовлечению воздуха в готовую смесь, а добавка «ПБ-Формула» их стабилизирует. То есть, одновременно протекают два процесса. Первый связан с захватом воздуха при перемешивании, с захлопыванием каверн в смеси

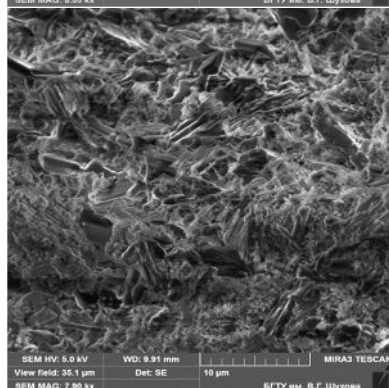
а)



б)



в)



при разрыве потока лопастями активатора и дальнейшей диспергации пузырьков при возникающих сдвиговых нагрузках в смеси за счет радиальных и тангенциальных потоков, а второй процесс – это захват и фиксация пузырьков воздуха твердыми частицами смеси.

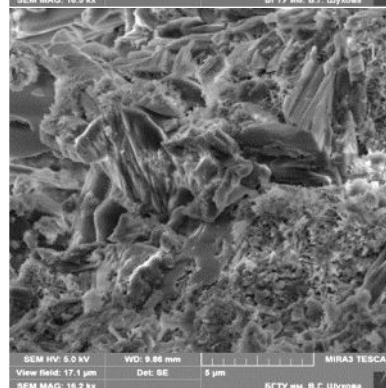
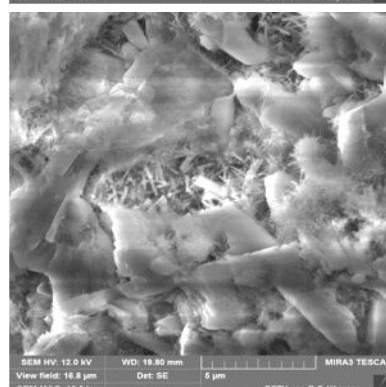
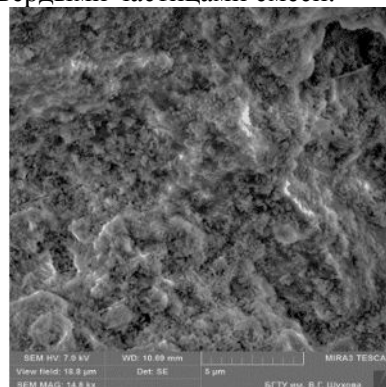


Рис. 3. Микроструктура затвердевшего КГВ с минеральной добавкой БЛ:

а) через 2 час; б) через 7 сут; в) через 28 сут

Диаметр пор и толщина межпоровых перегородок в основном определяет прочностные и теплофизические свойства материала [14–16]. Для повышения этих показателей необходимо добиваться мелкопористой структуры с малодефектными и достаточно прочными межпоровыми перегородками.

Как показали результаты исследования, в разработанном составе ПБ размер пор находится в интервале от 0,05 до 0,6 мм при размере межпоровых перегородок 0,17...0,35 мм. На рисунке (4, а) отчетливо видно равномерное распределение пор меньшего диаметра между более крупными

порами в пенобетонном образце с полидисперсной структурой. Установлено наличие «контактных дыр» и трещин, что, возможно, связано с неравномерным распределением пенообразователя и возникновению перепада давлений между соседними порами, что негативно сказывается на свойствах ПБ.

Микроструктура стенки межпоровой перегородки (рис. 4, б, в) к внешней стороне поры более плотная, а к внутренней – более рыхлая. На ее поверхности отчетливо видны сформированные кристаллы гипса, «игольчатые» кристаллы гидросиликатов кальция, просматриваются неровности и микропористость поверхности пор.

Физико-механические характеристики пенобетона

№	Состав, %			Степень заполн. формы, %	В/Вяз	Кол-во ПО, мл/кг	λ , Вт/м·К	ρ , кг/м ³	Рсж (7 сут), МПа	Рсж (28сут), МПа
	ГВ	ПЦ	БЛ							
1	60	20	20	100	0,5	2	0,14...0,18	561...670	0,9...1,3	1,2...1,5

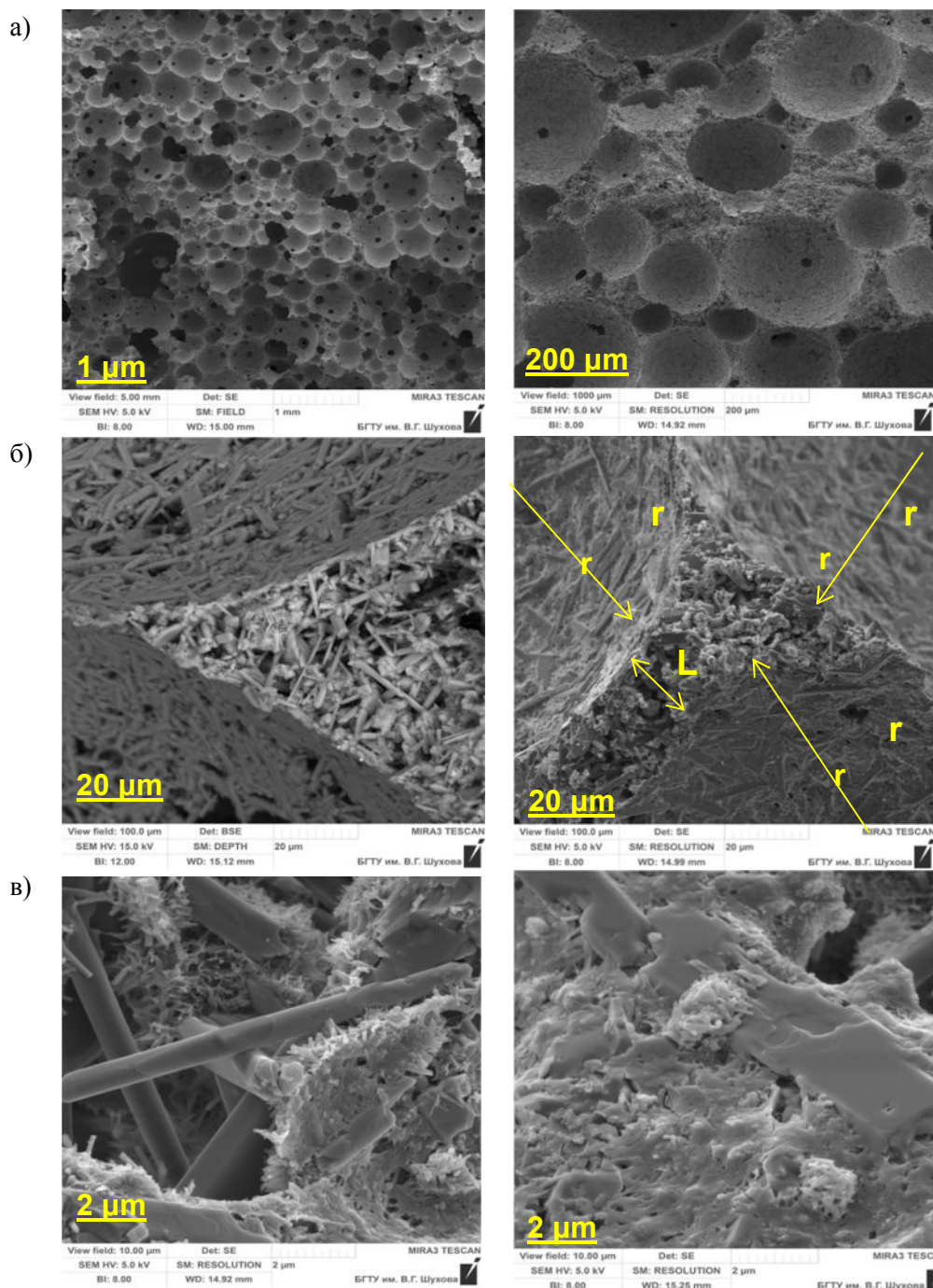


Рис. 4. Микроструктура поризованного гипсоцементного камня с минеральной добавкой тонкодисперсного БЛ (а) и межпоровой перегородки ПБ (б и в)

Выводы. Установлена возможность и целесообразность использования в качестве минеральной добавки в составе КГВ для пенобетона тонкодисперсных отходов бетонного лома.

На основе КГВ, включающего гипсовое вяжущее, портландцемент, тонкомолотый бетонный лом, пенообразователь «ПБ-Формула» получены теплоизоляционно-конструкционные пено-

бетоны марок D600 и D700, имеющие следующие характеристики: $\rho=600 \text{ кг/м}^3$, $R_{сж}=1,2 \text{ МПа}$, $\lambda=0,14 \text{ Вт/(м·К)}$; $\rho=700 \text{ кг/м}^3$, $R_{сж}=1,5 \text{ МПа}$, $\lambda=0,18 \text{ Вт/(м·К)}$.

По результатам сравнения объема полученных пеномасс выявлено, что гипсовое вяжущее создает более стойкую пену для дальнейшего ввода компонентов. Рациональной является поэтапная загрузка компонентов бетонной смеси, с первоначальным вводом гипсового вяжущего. Предлагаемая технология получения теплоизоляционно-конструкционного пенобетона на основе КГВ оптимизирует структуру композита и улучшает строение межпоровых перегородок. Поры равномерно распределены, имеют размер от 0,05 до 0,6 мм и толщину межпоровой перегородки равной 0,25 от их радиуса.

Источник финансирования. РФФИ в соответствии с исследовательским проектом № 18-29-24113.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Серова Р. Ф., Касумов А. С., Величко Е. Г. Проблемы производства и применения ячеистого бетона // Фундаментальные исследования. 2016. № 7-2. С. 267–271.
2. Fatheali A Shilar, Mubarakali Shilar. Experimental study on partial replacement of cement with mineral admixtures and sand with quarry dust // International Journal of Advanced Science and Engineering. Vol. 5. No.4. 2019. 1169–1173.
3. Елистраткин М.Ю., Глаголев Е.С., Абси-метов М.В., Воронов В.В. Композиционное вяжущее для конструкционного ячеистого бетона // Materials Science Forum. 2019. Т. 945, С. 53–58. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.945.53
4. Поспелова Е.А., Елистраткин М.Ю., Нецвет Д.Д. Статистический анализ как инструмент повышения качества изделий из ячеистого бетона. Applied Mechanics and Materials. 2014. Т. 670-671. С. 1624-1628.
5. Алфимова Н.И., Пириева С.Ю., Гудов Д.В., Шураков И.М., Корбут Е.Е. Оптимизация рецептурно-технологических параметров изготовления ячеистобетонной смеси // Строительные материалы и изделия. 2018. Том 1. №2. С. 30–36.
6. Ramamurthy K., Nambiar E.K.K., Ranjani G.I.S. A classification of studies on properties of foam concrete // Cement and Concrete Composites. Vol. 31. No. 6. 2009. Pp. 388–396.
7. Tan X., Chen W., Hao Y., Wang X. Experimental study of ultralight ($<300 \text{ kg/m}^3$) foamed concrete // Advances in Materials Science and Engineering. Volume 2014, Article ID 514759, 7 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/514759>
8. Чернышева Н.В., Дребезгова М.Ю., Евсюкова А.С., Кузьмина Т.С., Бурьянов А.Ф. Композиционные гипсовые вяжущие для "зеленого" строительства // Научные технологии и инновации: сб. материалов международной научно-практической конференции. 2016. С. 443–449.
9. Chernysheva N.V., Lesovik V.S., Drebezgova M.Yu., Shatalova S.V., Alaskhanov A.H. Composite gypsum binders with silica-containing additives // International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2017, Material Science in Mechanical Engineering. (2018) 032015.
10. Чернышева Н.В., Шаталова С.В., Евсюкова А.С., Фишер Ханц-Бертрам. Особенности подбора рационального состава композиционного гипсового вяжущего // Строительные материалы и изделия. 2018. Том 1. №2. С. 45–52.
11. Farnaz B., Bindiganavile V. Air-void size distribution of cement based foam and its effect on thermal conductivity // Construction and Building Materials. Vol. 149. 2017. Pp. 17–28.
12. Кожухова Н.И., Данакин Д.Н., Кожухова М.И., Алфимова Н.И., Чепурных А.А. pH-показатель среды как фактор формирования поровой структуры пен // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №8. С. 101–108. DOI: 10.12737/article_5b6d586ca043d4.17885788
13. Аниканова Т.В., Погромский А.С. Применение полуводного сульфата кальция для интенсификации процессов твердения конструкционно-теплоизоляционного пенобетона // Строительные материалы и изделия. 2018. Том 1. №3. С. 25–32.
14. Патент 2266271 Российская федерация, МПК: 7С 04В 38/10 А, 7С 04В 40/00 В. Способ получения теплоизоляционного ячеистого бетона (варианты) / Шахова Л.Д., Хребтов А.Е., Черноситова Е.С.; заявитель и патентообладатель БГТУ им В.Г. Шухова № 2004112123/03, заявл. 20.04.2004, опубл. 2005 г.
15. Патент 2412136 Российская федерация, МПК: С 04 В 38 10, С 04 В 40 00, В 82 В 1 00. Смесь для пенобетона на основе наноструктурированного вяжущего (варианты), способ изготовления изделий из пенобетона (варианты) / Лесовик В.С., Строкова В.В., Череватова А.В., Павленко Н.В.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова № 2009134917/03, заявл. 21.09.2009, опубл. 2011 г.
16. Крылов Б.А., Кириченко В.В. Энергоэффективная технология производства пенобетонных изделий // Технологии бетонов. 2013. № 12 (89). С. 47–49.

Информация об авторах

Шаталова Светлана Вячеславовна, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: shatalova.sv@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Чернышева Наталья Васильевна, доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: chernysheva56@rambler.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Глаголев Евгений Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: bolotin@belregion.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Лесниченко Евгений Николаевич, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: lesnichenko.zhenia@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Дребезгова Мария Юрьевна, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры архитектуры и градостроительства. E-mail: mdrebezgova@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в июне 2019 г.

© Шаталова С.В., Чернышева Н.В., Глаголев Е.С., Лесниченко Е.Н., Дребезгова М.Ю., 2019

***Shatalova S.V., Chernysheva N.V., Glagolev E.S., Lesnichenko E.N., Drebezgova M.Yu.**
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46
*E-mail: shatalova.sv@yandex.ru

EFFECTIVE CELLULAR CONCRETE ON THE COMPOSITE GYPSUM BINDER

Abstract. The dynamically developing construction of the Russian Federation makes it necessary to expand the range of alternative types of binders and materials based on them. Such binders include a composite gypsum binder used for the production of materials for various functional purposes. The manufacture and use of products based on composite gypsum binders is made possible by studying the Portland cement – gypsum – water system, the stability of which is ensured by introducing of an appropriate amount of active mineral additives. Such additives reduce the concentration of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in the liquid phase of the hardening system and create the possibility of hardening under certain conditions without dangerous internal tensions. This article discusses the obtaining of effective cellular concrete on a composite gypsum binder. Cellular concrete surpasses some traditional materials in its structure, properties, methods of preparation, and they are universal in terms of operational properties. The possibility and expediency of using thin-ground concrete scrap as a mineral additive in the composition of composite gypsum binder for cellular concrete is established in the work. Thermal insulation and structural cellular concrete of D600 and D700 grades are obtained. It is revealed that the stepwise loading of the components of the concrete mixture with the initial introduction of a gypsum binder is rational.

Keywords: cellular concrete, composite gypsum binder (CGB), porisation, microstructure.

REFERENCES

1. Serova R.F., Kasumov A.S., Velichko E.G. Problems of production and application of aerated concrete [Problemy proizvodstva i primeneniya yacheistogo betona]. Fundamental research. 2016. №7(2). Pp. 267–271. (rus)
2. Fatheali A Shilar, Mubarakali Shilar. Experimental study on partial replacement of cement with mineral admixtures and sand with quarry dust. International Journal of Advanced Science and Engineering. Vol. 5. No. 4. 2019. 1169–1173.
3. Elistratkin M.Y., Glagolev E.S., Absimetov M.V., Voronov V.V. Composite Binder for Structural Cellular Concrete, Materials Science Forum. 2019. Vol. 945. Pp.53–58. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.945.53
4. Pospelova E.A., Elistratkin M.Yu., Netsvet D.D. Statistical Analysis as an Instrument for Improving the quality of Products from Cellular Concrete, Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 670–671. Pp. 1624–1628.
5. Alfimova N.A., Pirieva S.Yu., Gudov D.V., Shurakov M.I., Korbut E.E. Optimization of prescription-technological parameters of production of cellular concrete mixture [Optimizaciya recepturno-

tehnologicheskikh parametrov izgotovleniya yacheistobetonnoj smesi]. Construction materials and products. 2018. Vol. 1. No. 2. Pp. 30–36. (rus)

6. Ramamurthy K., Nambiar E.K.K., Ranjani G.I.S. A classification of studies on properties of foam concrete. Cement and Concrete Composites. Vol. 31. No. 6. 2009. Pp. 388–396.

7. Tan X., Chen W., Hao Y., Wang X. Experimental study of ultralight ($<300 \text{ kg/m}^3$) foamed concrete. Advances in Materials Science and Engineering. Volume 2014, Article ID 514759, 7 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/514759>

8. Chernysheva N.V., Drebezgova M.Yu., Evsyukova A.S., Kuzmina T.S., Buryanov A.F. Composite gypsum binders for "green" construction [Kompozicionnye gipsovye vyazhushchie dlya "zelenogo" stroitel'stva]. Naukoemkie tehnologii i innovacii: sb. materialov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii. 2016. Pp. 443–449. (rus)

9. Chernysheva N.V., Lesovik V.S., Drebezgova M.Yu., Shatalova S.V., Alaskhanov A.H. Composite gypsum binders with silica-containing additives. International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2017, Material Science in Mechanical Engineering. 2018. 032015.

10. Chernysheva N.V., Shatalova S.V., Evsyukova A.S., Fisher Hanc-Bertram. Features of selection of the rational composition of the composite gypsum binder [Osobennosti podbora racional'nogo sostava kompozicionnogo gipsovogo vyazhushchego]. Construction Materials and Products. 2018. Vol. 1. No. 2. Pp. 45–52. (rus)

11. Farnaz B., Bindiganavile V. Air-void size distribution of cement based foam and its effect on thermal conductivity. Construction and Building Materials. Vol. 149. 2017. Pp. 17–28.

12. Kozhukhova N.I., Danakin D.N., Kozhukhova M.I., Alfimova N.I. Chepurnykh A. A. pH-indicator of the medium as a factor in the formation of the pore structure of foam concrete [pH-pokazatel' sredy kak faktor formirovaniya porovoy struktury pen]. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov. 2018. Vol. 8. Pp. 101–108. (rus)

13. Anikanova T.V., Pogromsky A.S. The use of semi-aquatic calcium sulfate to intensify the processes of hardening of structural heat-insulating foamed concrete [Primenenie poluvodnogo sul'fata kal'ciya dlya intensivatsii processov tverdeniya konstrukcionno-teploizolyacionnogo penobetona]. Construction Materials and Products. 2018. Vol. 1. No. 3. Pp. 25–32. (rus)

14. Shakhova L.D., Khrebtov A.E., Chernositova E.S. A method of producing a heat-insulating cellular concrete (versions). Patent RF. №2004112123/03, 2005.

15. Lesovik V.S., Strokova V.V., Cherevatova A.V., Pavlenko N.V. Mix for foam concrete on the basis of the nanostructured knitting (options), a way of production of products from foam concrete (options). Patent RF, No. 2412136, 2011.

16. Krylov B.A., Kirichenko V.V. Energy-efficient production technology of foam concrete products [Energoeffektivnaya tehnologiya proizvodstva penobetonnykh izdeliy]. Concrete technology. 2013. Vol. 12 (89) Pp. 47–49. (rus)

Information about the authors

Shatalova, Svetlana V. Postgraduate student. E-mail: shatalova.sv@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Chernysheva, Natalya V. DSc, Professor. E-mail: chernysheva56@rambler.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Glagolev, Evgeny S. PhD, Assistant professor. E-mail: bolotin@belregion.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Lesnichenko, Evgeny N. Postgraduate student. E-mail: lesnichenko.zhenia@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Drebezgova, Maria Yu. PhD, Senior lecturer. E-mail: mdrebezgova@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in June 2019

Для цитирования:

Шаталова С.В., Чернышева Н.В., Глаголев Е.С., Лесниченко Е.Н., Дребезгова М.Ю. Эффективный ячеистый бетон на композиционном гипсовом вяжущем // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 10. С. 11–18. DOI: 10.34031/article_5db331a5c52049.41127542

For citation:

Shatalova S.V., Chernysheva N.V., Glagolev E.S., Lesnichenko E.N., Drebezgova M.Yu. Effective cellular concrete on the composite gypsum binder. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 10. Pp. 11–18. DOI: 10.34031/article_5db331a5c52049.41127542

DOI: 10.34031/article_5db3379ba2f9e5.82013353

Долженок А.В., Бакатович А.А.Полоцкий государственный университет**Республика Беларусь, 211446, г. Новополоцк, ул. Блохина, д. 29***E-mail: andrei92d@gmail.com*

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СТЕНОВЫХ БЛОКОВ НА РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДАХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЛАЖНОСТИ МАТЕРИАЛА

Аннотация. В статье рассмотрена перспектива использования растительных сельскохозяйственных отходов в качестве заполнителей при разработке новых строительных материалов в виде стеновых блоков. Приведены результаты исследований по влагонасыщению стеновых блоков при относительной влажности воздуха 97 %. Проанализирована кинетика изменения влажности и коэффициента теплопроводности блоков на крупном заполнителе из ржаной и гречишной соломы, и мелком – костре льна и измельченной гречихе. На основе экспериментальных данных получены эмпирические зависимости коэффициента теплопроводности от влажности стеновых блоков. После максимального влагонасыщения наилучшие показатели зафиксированы на образцах костросоломенных блоков. Влажность композита не превысила 10,9 % при увеличении коэффициента теплопроводности до 0,104 Вт/(м·°C).

В результате проведенных исследований предлагается решение по рациональному использованию растительных отходов для получения экологически чистых строительных стеновых блоков с возможным применением при возведении несущих и ненесущих стен в одноэтажных зданиях и в многоэтажном каркасном строительстве при заполнении наружных стеновых проемов.

Ключевые слова: ржаная солома, костра льна, гречишная солома, стеновой блок, теплопроводность, влажность, плотность.

Введение. Организация производства экологически чистых строительных материалов на растительном сырье является одной из актуальных задач в строительной отрасли, связанных с сокращением выбросов углекислого газа, оказывающего наибольшее негативное воздействие на климат планеты. В мире на производство строительных материалов приходится 10 % всех выбросов CO₂ [1]. По причине отсутствия эффективных технологий удаления углекислого газа, необходимо ограничивать суммарное количество выбросов CO₂ в атмосферу. Использование растительного сырья для замены существующих материалов является возможным решением по снижению выбросов CO₂ в окружающую среду. Производство строительных материалов на основе растительного сырья нейтрализует больше углекислого газа, чем выделяет в атмосферу, так как в процессе выращивания сельскохозяйственные культуры поглощают большие объемы углекислого газа [2]. Данная закономерность стимулирует научный интерес к исследованиям по рациональной утилизации отходов растениеводства, увеличивающихся в объемах с каждым годом. Значительных успехов удалось достичь в производстве строительных материалов, содержащих солому различных злаковых культур, относящуюся к естественным и постоянно возобновляемым источникам сырья, получаемым во многих регионах мира. К наибо-

лее простой технологии применения таких материалов относится возведение ограждающих стеновых конструкций зданий из соломенных тюков.

При строительстве домов из соломенных тюков существует два конструктивных решения. Наиболее распространенным является конструкция здания из несущего деревянного каркаса с заполнением соломенными тюками наружных стеновых проемов. Второй вариант предусматривает использование соломенных тюков в качестве сборных элементов несущих стен. Тюки укладываются с перевязкой швов как в кирпичной кладке, а для дополнительной жесткости и устойчивости стен в тюки вертикально вбивают деревянные колья. При устройстве стропильной системы по верху стены предварительно укладывают распределительные балки [3].

Первое упоминание об использовании соломенных тюков приходится на конец XIX века, когда в штате Небраска (США) возвели первых 70 жилых домов. Часть зданий сохранилась до сегодняшнего времени. Однако, использование соломенных тюков в качестве строительного материала вскоре существенно сократилось по причине строительства автомобильных и железных дорог и возможности транспортировать древесину, металл, камень [4].

Европейские страны в конце XX века вернулись к технологии возведения домов из соломенных тюков. Так в Дании первый соломенный дом

построен в 1998 году. Исследовательский институт Дании в 2001 году приступил к испытаниям физико – механических характеристик соломенных тюков. Ежегодно на территории страны из соломенных тюков возводится 10–20 домов. Началом строительства соломенных домов в Эстонии считается 2006 год и на сегодняшний день построено 8 зданий. В Литве и Латвии за период 1996–2000 годов также возведены первые здания из соломы [5].

Основными преимуществами конструкции из соломенных тюков являются высокие теплоизоляционные свойства, обеспечение здорового микроклимата в помещении и отсутствие негативного воздействия на окружающую среду, по причине использования возобновляемых, биоразлагаемых отходов в сочетании с глиняной штукатуркой [6].

Проведены исследования теплотехнических параметров стен из соломенных тюков с практической реализацией учеными из Румынии. Средние значения коэффициента теплопроводности равны 0,053–0,061 Вт/(м·°C). Данные показатели позволяют обеспечить тепловую защиту зданий в сельской местности [7]. На начало 2012 года в Румынии построен один соломенный дом с деревянным каркасом. По прошествии 2-х лет завершено строительство 11 домов на основе материалов из соломы [8]. Использование соломы на сегодняшний день является альтернативой современным строительным материалам. Стены из соломенных тюков, в отличие от традиционных материалов, улучшают качество воздуха в помещениях благодаря своей способности дышать, а также не выделяют вредных веществ в виде формальдегидов. Необходимо отметить, что использование соломы без минерального связующего не обеспечивает стойкость получаемых стеновых материалов (панелей, блоков и т.п.) к негативному воздействию мелких грызунов [9].

На основе соломенных тюков производят стеновые панели «Есососоп» (Литва) и «Экобуд» (Россия) толщиной 400 мм с коэффициентом теплопроводности 0,05–0,065 Вт/м·°C [10]. Панели состоят из тюков ржаной соломы плотно запрессованных в деревянный каркас с помощью гидравлического пресса, поэтому со временем соломенное заполнение не дает усадку. Конструкция имеет высокую пожаробезопасность по причине отсутствия необходимого объема воздуха для горения соломы в прессованных панелях. Для производства соломенных панелей «Есососоп» используют солому влажностью не более 15 %. Теплопроводность соломенной панели равна 0,054–0,059 Вт/(м·°C).

Также повышенное внимание в Беларуси уделяется утилизации костры льна, образующейся при переработке льняной тресты. Костра является источником повышенной пожарной опасности при хранении в отвалах на территории льнозаводов.

Льняную костру возможно использовать для изготовления композитной фанеры и древесностружечных плит, а при высоком давлении формования для плит без вяжущего компонента [11].

В 1985 году начали производить теплозвукоизоляционные плиты с низкой плотностью, так называемые плиты сухого формования, состоящие из костры льна с добавлением смолы (до 8 %) и парафина (до 1 %). Выпуск плит освоен в Таиланде, Великобритании и Канаде [12].

Костра льна используется для производства легких бетонов [13]. Содержание костры льна достигает до 20 % от массы цемента. Исследование показало, что увеличение количества льняных частиц замедляет гидратацию цемента. Химическая обработка заполнителя снижает воздействие сахаров, содержащихся в костре, на твердение вяжущего. Прочность бетона на сжатие при 20 % содержании льняных частиц достигает 4,8 МПа, а прочность на изгиб 1,2 МПа.

Важной характеристикой стеновых материалов наряду с прочностными показателями является теплоизолирующая способность. Во время эксплуатации на теплопроводность значительное влияние оказывает влажность материала, постоянно изменяющаяся с течением времени. В научных работах [14, 15] рассмотрено влияние влажности на коэффициент теплопроводности и получены эмпирические формулы, отражающие данное влияние для пеноизола, пенополистирола, силикатного кирпича. Для новых строительных материалов также требуется определение зависимостей коэффициентов теплопроводности от влажности.

Как известно, увеличение влажности материала приводит к повышению коэффициента теплопроводности [16], что ухудшает теплотехнические характеристики стеновых материалов. Для тепловлажностного расчета ограждающей конструкции необходимо определить влияние влажности на коэффициент теплопроводности, так как в процессе эксплуатации этот фактор может оказаться решающим в определении эффективной работы материала и его долговечности [17].

При разработке нового стенового материала нами ставилась задача получить конструкционные блоки на основе соломы и костры льна на цементном вяжущем с обеспечением прочности на сжатие не менее 2 МПа с повышенными тепло-

изоляционными свойствами. К основным требованиям также относилась экологическая безопасность блоков для здоровья человека и окружающей среды. По итогам исследований основных физико-механических характеристик получены стеновые блоки плотностью 500–600 кг/м³ и коэффициентом теплопроводности 0,075–0,085 Вт/(м·°С). Однако, как отмечается в работах [17, 18], для доказательства эффективности и долговечности стеновых блоков необходимо проводить исследования по установлению влияния влажности материала на показатель теплопроводности. В этой связи проведен комплекс исследований по установлению влияния показателя влажности материала на коэффициент теплопроводности стеновых блоков на основе отходов сельскохозяйственного производства и ниже приведены результаты выполненных исследований.

Методология. В связи с отсутствием в нормативных документах стандартной методики по определению зависимости коэффициента теплопроводности от влажности за основу взята методика, применяемая Давыденко Н.В. в исследованиях теплоизоляционных материалов на растительном сырье [19].

Для определения влияния влажности на коэффициент теплопроводности из стеновых блоков в возрасте 28 суток вырезали образцы в виде плит размером 250×250×30 мм. Плиты помещали в сушильный шкаф и высушивали при температуре +50 °С до постоянной массы. После остывания образца до температуры +20±2 °С определяли коэффициент теплопроводности с использованием прибора ИТП – МГ4. Затем образцы помещали в герметичную камеру с гидрозатвором на сетчатую подставку над водой. Относительная влажность воздуха в камере составляла 97 %. Плотность и коэффициент теплопроводности образцов во влажном состоянии измеряли через 2, 5, 10, 25, 60 (65) суток. Максимальное время выдержки в камере составило 60 (65) суток в зависимости от вида заполнителя, так как за этот период достигнуто наибольшее влагонасыщение образцов-плит. Под образцом подразумевается партия из 3 плит.

Основная часть. Для изготовления стеновых блоков в качестве крупных заполнителей использовалась дробленая солома ржи и гречихи фракцией 20–40 мм. Костру льна и измельченную гречишную солому размером до 10 мм использовали в виде мелкого заполнителя. Вяжущим компонентом являлся цемент. В качестве добавки, нейтрализующей действие сахаров, вводили известь. Расход материалов в экспериментальных составах на 1 м³ равен: цемент – 289 кг,

известь – 71 кг, заполнитель – 170 кг. Образцы материалов представлены на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид образцов на основе смеси соломы и костры льна

Для стеновых материалов в сухом состоянии на основе соломы и соломы с кострой коэффициенты теплопроводности равны 0,085 Вт/(м·°С) и 0,075 Вт/(м·°С) соответственно. В сухом состоянии коэффициент теплопроводности стеновых блоков на основе гречишной соломы составил 0,1 Вт/(м·°С), а блоков на основе гречишной смеси (дробленая и измельченная солома) – 0,092 Вт/(м·°С). Плотность всех образцов в сухом состоянии соответствует 530 кг/м³. Результаты лабораторных исследований приведены в таблице 1.

Проведенные исследования показали, что за первые 2 суток плотность соломенных плит возросла на 20 кг/м³, коэффициент теплопроводности на 0,005 Вт/(м·°С), а влажность образца достигла 3,8 %. Значение плотности костросоломенного образца 6 возросло на 10 кг/м³ при влажности 1,9 %. Показатель коэффициента теплопроводности незначительно увеличился на 0,004 Вт/(м·°С). Влажность образца 1 относительно величины показателя плит 6 увеличилась в 2 раза, а коэффициент теплопроводности соломенных плит возрос на 14 % в сравнении с композитом на основе костросоломенной смеси. Плотность плит на заполнителе из гречишной соломы (образец 11) в первые 2 суток выросла на 28 кг/м³, коэффициент теплопроводности на 0,01 Вт/(м·°С), а влажность образца составила 5,3 %. Влажность плит из гречишной смеси (образец 16) составила 4,5%, при увеличении коэффициента теплопроводности на 0,009 Вт/(м·°С) и плотности на 24 кг/м³. Влажность образца 11 на основе гречишной соломы повысилась на 39 % по отношению к значению образца 1 на заполнителе из ржаной соломы, а коэффициент теплопроводности возрос на 22 %. Аналогичная зависимость наблюдается для образцов на основе костросоломенной и гречишной

смеси. Так, показатель влажности образца на основе гречишной смеси увеличился в 2,4 раза, а коэффициент теплопроводности на 28 % относительно образца из смеси соломы с кострой. Тепло-

проводность образца 11 из гречишной соломы повысилась на 9 % относительно показателя образца 16 на основе гречишной смеси при возрастании влажности на 18 %.

Таблица 1

Показатели плотности, влажности и теплопроводности стеновых материалов

№ образца	Вид заполнителя	Время выдерживания образца в камере, сутки	Показатели влажного образца			Коэффициент изменения теплопроводности
			плотность, кг/м ³	влажность, %	коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	
1	солома ржи	2	550	3,8	0,09	1,059
2		5	562	6,1	0,098	1,153
3		10	570	7,5	0,106	1,247
4		25	594	12,1	0,112	1,318
5		60	608	14,8	0,119	1,4
6	солома ржи с кострой льна	2	540	1,9	0,079	1,053
7		5	548	3,4	0,086	1,147
8		10	557	6,0	0,092	1,227
9		25	577	8,9	0,097	1,293
10		60	588	10,9	0,104	1,387
11	гречишная солома	2	558	5,3	0,11	1,1
12		5	581	9,5	0,124	1,24
13		10	587	10,8	0,129	1,29
14		25	604	14	0,137	1,37
15		65	629	17,8	0,151	1,51
16	гречишная смесь (дробленая и измельченная солома)	2	554	4,5	0,101	1,1
17		5	574	8,3	0,109	1,19
18		10	578	9	0,115	1,25
19		25	590	11,3	0,122	1,33
20		65	604	13,8	0,13	1,41

По окончании эксперимента отмечено, что наиболее интенсивно влажность образцов увеличивалась за первые 10 суток и составила 51 % – 65 % от итоговых показателей в возрасте 60 суток. Для стенового материала (образец 3) влажность увеличилась в 2 раза относительно показателя образца 1 за первые 2 суток, а значение коэффициента теплопроводности возросло на 17 %. Влажность костросоломенных плит 8, в сравнении с показателем образца 6, повысилась в 3,2 раза. При этом произошло увеличение коэффициента теплопроводности на 17 %. Влажность образца 13 на заполнителе из гречишной соломы возросла в 2 раза относительно показателей образца 11 за первые 2 суток и составила 10,8 %, при увеличении на 17 % коэффициента теплопроводности. Для образца 18 из гречишной смеси показатель влажности повысился также в 2 раза в сравнении с образцом 16 и на 14 % возрос коэффициент теплопроводности.

Кроме того, установлено, что при испытаниях после 10 суток выдержки в камере, влажность образца 3 на 25 % выше относительно величины образца 8, а коэффициент теплопроводности возрос на 15 %. Образец 13 на основе гречишной соломы превышает показатель влажности образца 18 из гречишной смеси на 20 % при увеличении коэффициента теплопроводности на 12 %.

При достижении максимальной влажности экспериментальными составами через 60 суток показатель образца 5 вырос в 2 раза относительно показателя образца 3 при выдержке 10 суток. Коэффициент теплопроводности возрос на 12 % при увеличении плотности на 38 кг/м³. Для костросоломенных плит (образец 10) влажность повысилась в 1,8 раза относительно значения образца 8. В тоже время показатель плотности показал прирост на 31 кг/м³ и коэффициент теплопроводности на 13 %. Плиты на гречишной соломе при выдержке 65 суток имеют значение влажности в 1,7

раза выше при сравнении с образцом 13 (10 суток). При этом плотность возросла на 42 кг/м^3 , а коэффициент теплопроводности на 17 %. Показатель влажности для плит на заполнителе из гречишной смеси (образец 20) составил 13,8 %, что в 1,5 раза превышает влажность образца 18 при выдержке 10 суток. Повышение плотности составило 26 кг/м^3 при увеличении коэффициента теплопроводности на 13 %.

Показатель плотности стенового материала на заполнителе из соломы ржи при выдержке в камере 60 суток на 20 кг/м^3 превысил значение образца 10 при увеличении влажности на 36 %. Из анализа экспериментальных данных (таблица 1) следует, что по истечении 60 суток коэффициент теплопроводности образцов плит из смеси соломы с кострой составляет $0,104 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$, что меньше на 15 % показателя образца на основе ржаной соломы равного $0,119 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$.

По окончании эксперимента плотность образца 15 на гречишной соломе превысила показатель материала из гречишной смеси (образец 20) на 25 кг/м^3 . Влажность образца 15 возросла на 29 % при сравнении с показателем образца 20, а коэффициент теплопроводности увеличился на 16 %.

Более высокие показатели влажности образцов-плит на основе ржаной соломы объясняются большей сорбционной влажностью соломы по сравнению с костью льна. По этой же причине скорость насыщения влагой материала с заполнителем из ржаной соломы увеличивается, что ухудшает теплофизические характеристики соломенных блоков.

Дополнительно проведены исследования по определению влажности дробленой соломы ржи и гречихи, костры льна и измельченной соломы гречихи в насыпном состоянии в камере над водой при относительной влажности воздуха 97 %. Дробленая солома в основном представляет собой трубки-цилиндры длиной 20–40 мм. Исследования показали, что максимального значения равного 35 % показатель влажности ржаной соломы достигает через 15 суток, а предельная влажность костры льна составляет 12 % на 9 сутки при температуре $+20^\circ\text{С}$. Полученные результаты по сорбционной влажности костры льна подтверждаются исследовательскими данными, полученными сотрудниками Костромского университета [20]. Влажность дробленой измельченной гречихи и гречишной соломы составила 40 %. Выдерживание заполнителей в камере до набора максимальной влажности продолжалось в течение 12 и 15 суток соответственно. Показатель влажности соломенных трубок ржи ниже на 14 % значений измельченной гречихи и дробленой гречишной соломы. Влажность костры льна в 3 раза

ниже показателя дробленой соломы ржи и в 3,3 раза – дробленой измельченной соломы гречихи.

Кроме того, при формовке стеновых блоков на основе соломы ржи и гречихи происходит смятие и деформация всех соломенных трубок, что приводит к нарушению целостности внешней оболочки и микроструктуры заполнителя. Локальные разрушения внешнего защитного слоя и строения микроструктуры способствуют увеличению сорбции водяных паров деформированными трубками соломы.

Введение костры льна и измельченной гречихи в качестве мелкого заполнителя влечет за собой уменьшение объема костросоломенной и гречишной смеси в сравнении с объемом соломенного заполнителя в насыпном состоянии, что способствует при формировании блоков только смятию трубок соломы ржи и гречихи диаметром 3–5 мм, а трубки диаметром менее 3 мм не подвергаются деформациям и не имеют повреждений своей микроструктуры. Присутствие в каркасе заполнителя неповрежденных трубок соломы в количестве 40–50 % от массы крупного заполнителя, дополнительно способствует снижению сорбции водяных паров стеновыми блоками на основе костросоломенной и гречишной смеси.

По результатам обработки данных эксперимента, получены графики зависимостей (рис. 2) коэффициентов изменения теплопроводности от влажности стеновых материалов на основе соломы ржи и гречихи, а также костросоломенной и гречишной смеси.

При анализе построенных графиков полученных по данным таблицы 1 установлено, что зависимость коэффициента теплопроводности стенового материала от изменения влажности аппроксимируется линейной функцией с коэффициентом корреляции $R^2 = 0,9783$ для образца на основе дробленой ржаной соломы и $R^2 = 0,9861$ для материала с заполнителем из костросоломенной смеси. Для материалов, содержащих дробленую гречишную солому коэффициент корреляции составил $R^2 = 0,9879$, а для образцов из гречишной смеси – $R^2 = 0,9777$.

На основании лабораторных исследований и построенных графиков получены эмпирические зависимости 1–4 для стеновых материалов на заполнителях из ржаной и гречишной соломы, а также костросоломенной и гречишной смеси в виде выражений:

$$\lambda_w = \lambda \cdot (1 + 0,0279 \cdot W), \quad (1)$$

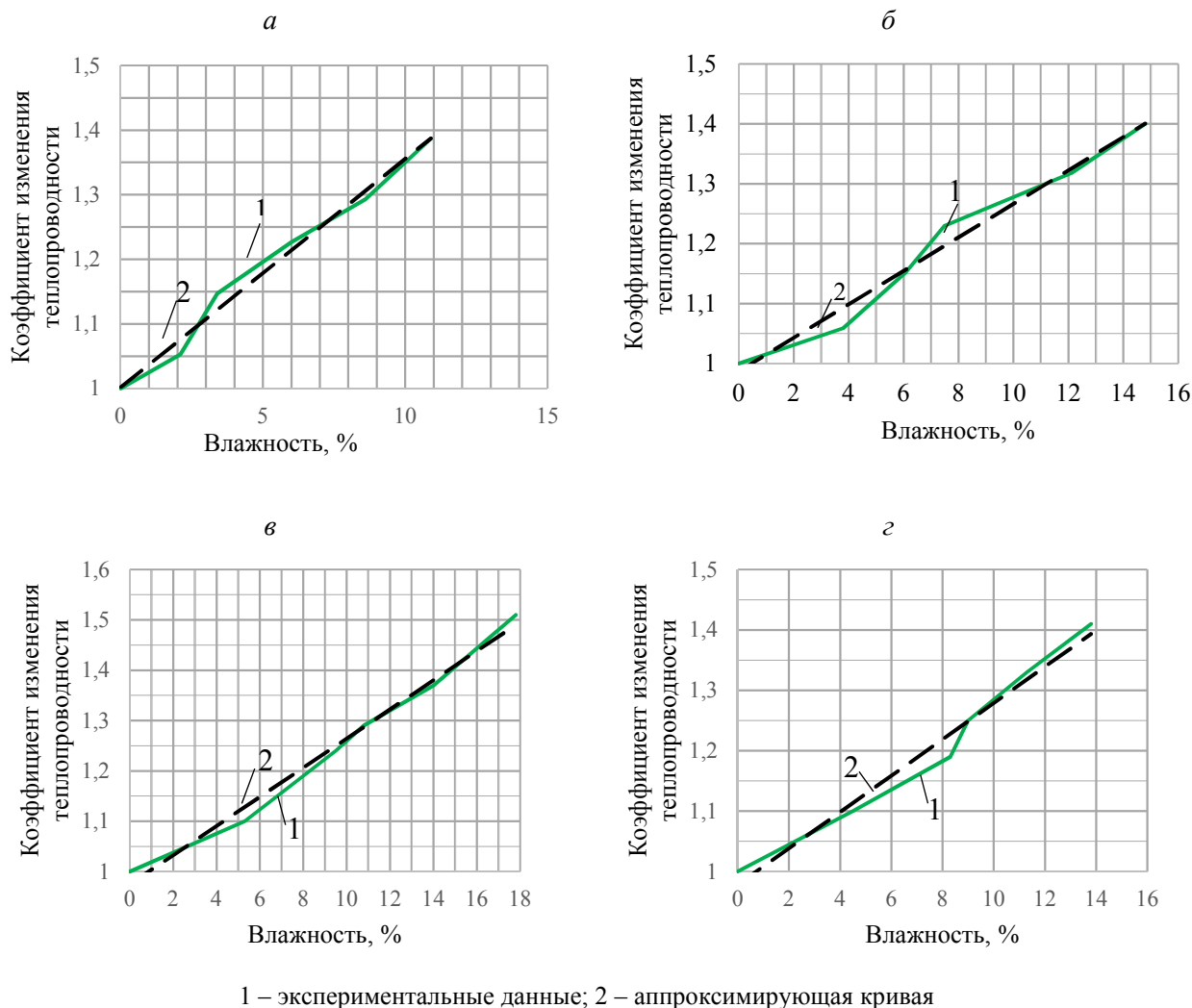
$$\lambda_w = \lambda \cdot (1 + 0,0354 \cdot W) \quad (2)$$

$$\lambda_w = \lambda \cdot (1 + 0,0291 \cdot W) \quad (3)$$

$$\lambda_w = \lambda \cdot (1 + 0,0301 \cdot W) \quad (4)$$

где λ – теплопроводность сухого стенового материала, Вт/(м·°C); W – влажность стенового мате-

риала, %; 0,0279; 0,0354; 0,0291; 0,0301 – коэффициенты переменной, которые определяются для каждого материала экспериментальным путем; λ_w – теплопроводность материала при заданной влажности, Вт/(м·°C).



1 – экспериментальные данные; 2 – аппроксимирующая кривая

Рис. 2. Зависимость коэффициента изменения теплопроводности от влажности стенового материала на основе
а – дробленой ржаной соломы; б – из смеси дробленой ржаной соломы и костры льна;
в – дробленой гречишной соломы; г – гречишной смеси

Используя выражения (1) – (4), построены зависимости коэффициента теплопроводности материала на основе ржаной соломы (прямая 1) и материала из смеси соломы с кострой (прямая 2) от заданных значений влажности (рис. 3). Также представлены зависимости для стенового материала с применением гречишной соломы (прямая 1) и гречишной смеси (прямая 2) на рис. 4.

Полученные эмпирические зависимости для стеновых материалов обеспечивают возможность прогнозировать увеличение или понижение коэффициента теплопроводности в зависимости от влажностного режима эксплуатации стеновых ограждений зданий. Определенный расчетами влажностный режим работы стенового материала является необходимым условием

для обоснования долговечности и оценки эффективности разработанных стеновых блоков. Зависимости 1 – 4 предназначены для использования при тепловлажностном расчете проектируемых стеновых ограждений из материалов на основе соломы ржи и гречихи, а также костросоломенной и гречишной смеси.

Выводы. По результатам исследований установлено, что при нахождении стеновых материалов, содержащих заполнители из ржаной, гречишной соломы и костры льна в условиях 97 % относительной влажности воздуха происходит влагонасыщение композитов и возрастание коэффициента теплопроводности. При этом максимальное влагонасыщение образцов наступает на 60 (65) сутки.

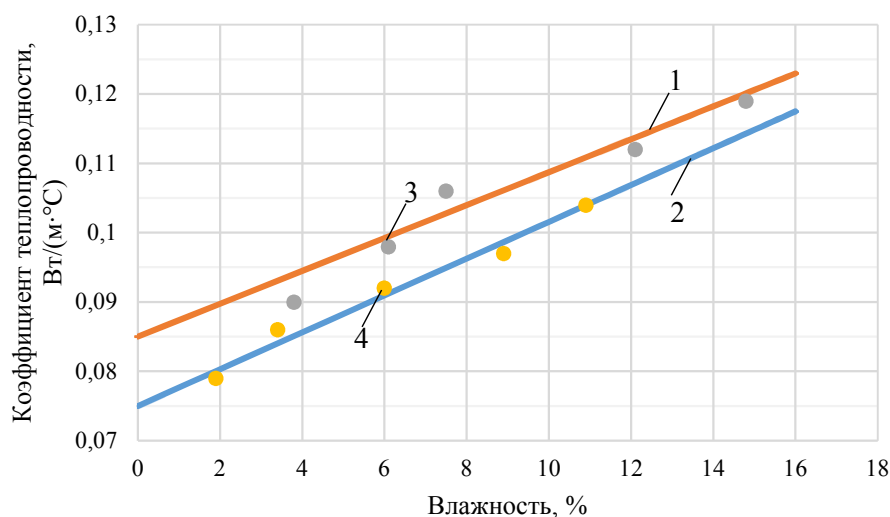


Рис. 3. Зависимость коэффициента теплопроводности от влажности

- 1 – эмпирическая зависимость для стенового материала из дробленой ржаной соломы;
 2 – эмпирическая зависимость для стенового материала из смеси дробленой ржаной соломы и костры льна;
 3 – экспериментальные данные для стенового материала из дробленой ржаной соломы;
 4 – экспериментальные данные для стенового материала из смеси дробленой ржаной соломы и костры льна

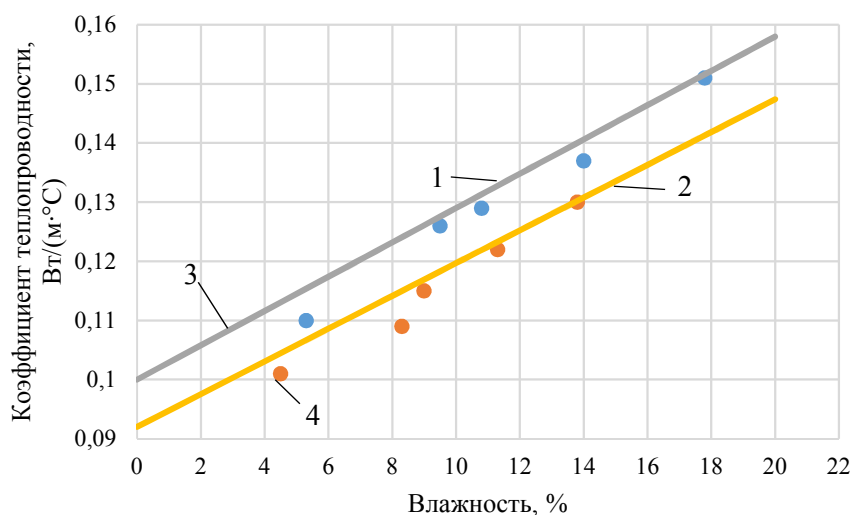


Рис. 4. Зависимость коэффициента теплопроводности от влажности

- 1 – эмпирическая зависимость для стенового материала из дробленой гречишной соломы;
 2 – эмпирическая зависимость для стенового материала из гречишной смеси;
 3 – экспериментальные данные для стенового материала из дробленой гречишной соломы;
 4 – экспериментальные данные для стенового материала из гречишной смеси

Плотность образцов по окончании эксперимента возрастает на 58–99 кг/м³ относительно начального показателя в сухом состоянии, а влажность составляет 10,9–17,8 %. Коэффициенты теплопроводности стеновых блоков увеличиваются на 39–51 %.

Наилучшие характеристики зафиксированы для стеновых материалов на основе костросоломенной смеси. После максимального влагонасыщения, влажность блоков на основе соломы и костры льна не превышала 10,9 %. Плотность композита увеличилась на 58 кг/м³ и равна 588

кг/м³. Прирост коэффициента теплопроводности составил 39 %, а показатель достиг значения 0,104 Вт/(м·°C).

Полученные эмпирические зависимости коэффициента теплопроводности от влажности для стеновых блоков на основе соломы ржи, гречи и костры льна позволяют на стадии проектирования объектов определить теплотехнические характеристики ограждающих конструкций в заданных условиях эксплуатации и оценить работу стенового материала с позиции

обеспечения эффективной теплоизолирующей способности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Tracking Industrial Energy Efficiency and CO₂ Emissions. France: IEA, 2007.
2. Wall K., Walker P., Gross C, Mander. Development and testing of a prototype straw bale house // Proceeding of the institution of Civil Engineers: Construction Materials. 2012. Vol. 165. Issue 6. Pp. 377–384. <https://doi.org/10.1680/coma.11.00003>
3. Широков Е.И. Экотехнология биопозитивных ограждающих конструкций из соломенных блоков в Беларуси. В 2 ч. Ч. 1. Экодома из соломы: технология строительства. Минск: Изд-во Адукацыя і выхаванне, 2007. 40 с.
4. Raamets J., Ruus, A., Ivask M. Assessment of Indoor Air Quality and Hygrothermal Conditions of Boarders During Autumn, Winter and Spring in Two of Estonian Straw-Bale Houses. In Cold Climate HVAC Conference; Johansson, D., Bagge, H., Wahlström, A., Eds.; Springer: Cham, Germany, 2019. Pp. 815–823.
5. Milutienė E., Jurmann K., Keller L. Straw Bale Building – Reaching Energy Efficiency and Sustainability in Northern Latitudes. Abstract Book of 11th International conference on Solar Energy at High Latitudes “North Sun 2007”, Riga, 30 th May–1st June, 2007. Pp. 38–39.
6. Milutienė E. House Embodied Energy and Zero Energy Building Concept // Environmental Research, Engineering and Management. 2010. No.4 (54), Pp. 62–71
7. Pruteanu M. Investigations regarding the thermal conductivity of straw // Bul. Inst. Politehnic Jassy. 2010. Vol. 56(60). Pp. 9–16.
8. Cantor D.M., Manea D.L. Using Wheat Straw in Construction, Pro Environment. 2015. Vol. 8. Pp.17–23.
9. Lawrence, M., Heath, A., Walker, P. The impact of external finishes on the weather resistance of straw bale walls. In: 11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies, NOCMAT 2009, 6-9 September 2009, University of Bath, UK.
10. Долгонож А., Давыденко Н., Бакатович А. Растительные отходы для производства эффективных стеновых материалов // Материалы международной научно – технической конференции: Геодезия, картография, кадастр, ГИС – проблемы и перспективы развития, Новополоцк, 9 – 10 июня 2016 г.: в 2 частях / Полоцкий гос. ун – т, 2016. часть 2. С. 132–137.
11. Ермачкова В.В., Куликова М.Г. Сравнительная характеристика энергоэффективности биокompозитных материалов // Эволюция современной науки. Сборник статей международной научно–практической конференции. 2017. С. 25–28.
12. Живетин В.В., Гинзбург Л.Н., Ольшанская О.М. Лен и его комплексное использование. М.: Информ-Знание, 2002. 400 с.
13. Langlet T., Aamr-Day A., Benazzouk A., Dheilly R.M., Queneudec M. The suitability of utilising flax by-product material for lightweight cement composites, Construction and Building Materials. 2007.
14. Шильд Е., Кассельман Х.-Ф., Дамен Г., Поленц Р. Строительная физика. М.: Стройиздат. 1982. 296 с.
15. Франчук А.У. Таблицы теплотехнических показателей строительных материалов М: НИИСФ Госстроя СССР, 1965.
16. Давыденко, Н.В., Бакатович А.А. Влияние показателя влажности на коэффициент теплопроводности соломенных и костросоломенных теплоизоляционных материалов // Вестн. Полоцк. гос. ун-та. Сер. Ф, Строительство. Прикладные науки. 2013. № 8. С. 73–78.
17. Lawrence M., Heath A., Walker P. Determining moisture levels in straw bale construction. Construction and Building Materials. 2009. Vol. 23. Is. 8. Pp. 2763–2768. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.03.011>
18. Романовский С.А., Бакатович А.А. Особенности влияния влажности на теплопроводность волокнистого теплоизоляционного материала из очёсов льна // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство: материалы II нац. научно-практич. конф., Омск, 18–19 апреля 2019г. / Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет; ред. кол. А.П. Жигадло [и др.]. Омск, 2019. С. 432–439.
19. Bakatovich A., Davydenko N., Gaspar F. Thermal insulating plates produced on the basis of vegetable agricultural waste // Energy and Buildings. 2018. Vol. 180. Pp. 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.09.032>
20. Угрюмов С.А. Совершенствование технологии производства композиционных материалов на основе древесных наполнителей и костры льна : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.21.05 / С.А. Угрюмов. Кострома, 2009. 295 с.

Информация об авторах

Долгонож Андрей Валентинович, аспирант кафедры строительного производства. E-mail: andrei92d@gmail.com. Полоцкий государственный университет. Республика Беларусь, 211446, Новополоцк, ул. Блохина, д. 29.

Бакатович Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного производства. E-mail: a.bakatovich@psu.by. Полоцкий государственный университет. Республика Беларусь, 211446, Новополоцк, ул. Блохина, д. 29.

Поступила в августе 2019 г.

© Долгонож А.В., Бакатович А.А., 2019

***Dalzhonak A.V., Bakatovich A.A.**

Polotsk State University

Republic of Belarus, 211446, Novopolotsk, st. Blokhin, 29

*E-mail: andrei92d@gmail.com

PECULIARITIES OF KINETICS OF THE COEFFICIENT OF THERMAL CONDUCTIVITY DEPENDING ON THE HUMIDITY RATE OF WALL BLOCKS MADE OF AGRICULTURAL WASTES

Abstract. The article considers the prospect of plant wastes usage as aggregates while constructing new building materials in the form of wall blocks. The results of the research on water absorption of the wall blocks at the relative air humidity of 97 % are presented. The kinetics of change in humidity and the coefficient of thermal conductivity of the blocks with the rye and buckwheat straw coarse aggregate, and also the blocks with fine coarse aggregate of flax boon and atomized buckwheat are analyzed. Empirical dependences of the coefficient of thermal conductivity on the rate of humidity of wall blocks are obtained from experimental observations. After the maximum rate of hygroscopic moisture absorption, the best indexes are recorded on the blocks made of flax and straw. The humidity rate of the composite does not exceed 10,9 % with the increase of thermal conductivity up to 0.104 W/(m·°C).

In the result of the research, the solution to the sustainable use of agricultural wastes to get environmental responsible building materials is proposed. Blocks can be used in the erection of supporting and filler walls in one-story buildings and multistoried frame housing construction when filling exterior wall openings.

Keywords: rye straw, flax boon, buckwheat straw, wall block, thermal conductivity, humidity, density.

REFERENCES

1. Tracking Industrial Energy Efficiency and CO₂ Emissions. France: IEA, 2007.
2. Wall K., Walker P., Gross C, Mander. Development and testing of a prototype straw bale house. Proceeding of the institution of Civil Engineers: Construction Materials. 2012. Vol. 165. Issue 6. Pp. 377–384. <https://doi.org/10.1680/coma.11.00003>
3. Shirokov E.I. Eco-technology of environmentally friendly cladding structures made from straw blocks in Belarus. P1. Green building from straw: construction techniques [Ekotekhnologiya biopozitivnyh ograbdayushchih konstrukcij iz solomennyyh blokov v Belarusi. V 2 ch. CH. 1. Ekodoma iz solomy: tekhnologiya stroitel'stva]. Minsk: Publishing Education and upbringing, 2007. 40 p. (rus)
4. Raamets J., Ruus A., Ivask M. Assessment of Indoor Air Quality and Hygrothermal Conditions of Boarders During Autumn, Winter and Spring in Two of Estonian Straw-Bale Houses. In Cold Climate HVAC Conference; Johansson, D., Bagge, H., Wahlström, A., Eds.; Springer: Cham, Germany, 2019. Pp. 815–823.
5. Milutienė E., Jurmann K., Keller L. Straw Bale Building – Reaching Energy Efficiency and Sustainability in Northern Latitudes. Abstract Book of 11th International conference on Solar Energy at High Latitudes “North Sun 2007”, Riga, 30 th May–1st June, 2007. Pp. 38–39.
6. Milutienė E. House Embodied Energy and Zero Energy Building Concept. Environmental Research, Engineering and Management. 2010. No. 4 (54). Pp. 62–71.
7. Pruteanu M. Investigations regarding the thermal conductivity of straw. Bul. Inst. Politehnic Jassy. 2010. Vol. 56(60). Pp. 9–16.
8. Cantor D.M., Manea D.L. Using Wheat Straw in Construction, Pro Environment. 2015. Vol. 8. Pp. 17–23.
9. Lawrence M., Heath A., Walker P. The impact of external finishes on the weather resistance of straw bale walls. In: 11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies, NOCMAT 2009, 6-9 September 2009, University of Bath, UK.
10. Dalzhonak A., Davydenko N., Bakatovich A. Plant wastes for manufacturing effective wall materials [Rastitel'nye othody dlya proizvodstva effektivnyh stenovykh materialov]. Materials of the international scientific and technical conference: Geodesy, cartography, cadastre, GIS - problems and development prospects, Novopolotsk, 9 – 10 June 2016. In 2 part / Polotsk State University, 2016. Part 2. Pp. 132–137. (rus)

11. Ermachkova V.V., Kulikova M.G. Comparative analysis of biocomposite materials energy efficiency. Evolution of modern science [Sravnitel'naya harakteristika energoeffektivnosti biokompozitnykh materialov]. The evolution of modern science. Collection of articles of the international scientific and practical conference. 2017. Pp. 25–28. (rus)
12. Zhivetin V.V., Ginzburg L.N., Ol'shanskaya O.M. Flax and its multiple use [Len i ego kompleksnoe ispol'zovanie]. M.: Inform Knowledge, 2002. 400 p. (rus)
13. Langlet T., Aamr-Daya E., Benazzouk A., Dheilly R.M., Queneudec M. The suitability of utilising flax by-product material for lightweight cement composites, Construction and Building Materials. 2007.
14. Shil'd E., Kassel'man H.-F., Damen G., Polenc R. Construction Physics [Stroitel'naya fizika]. M.: Construction Publisher. 1982. 296 p. (rus)
15. Franchuk A.U. The tables of thermal characteristics of building materials [Tablicy teploekhnicheskikh pokazatelej stroitel'nykh materialov]. M: NIISF Gosstroy of the USSR, 1965. (rus)
16. Davydenko N.V., Bakatovich A.A. The influence of humidity rate on the coefficient of thermal conductivity of straw and flax-straw thermal insulating materials [Vliyanie pokazatelya vlazhnosti na koefficient teploprovodnosti solomennykh i kostro-solomennykh teploizolyatsionnykh materialov]. Herald of Polotsk State University. Ser. F, Civil engineering. Applied sciences. 2013. No 8. Pp. 73–78. (rus)
17. Lawrence M., Heath A., Walker P. Determining moisture levels in straw bale construction. Construction and Building Materials. 2009. Vol. 23. Issue 8. Pp. 2763–2768. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.03.011>
18. Romanovskij S.A., Bakatovich A.A. Peculiarities of the influence of humidity on the thermal conductivity of fibrous heat-insulating material from combing of flax [Osobennosti vliyaniya vlazhnosti na teploprovodnost' voloknistogo teploizolyatsionnogo materiala iz ochyosov l'na]. Education. Transport. Innovation Construction: materials II nat. scientific and practical Conf., Omsk, April 18-19, 2019. The Siberian State Automobile and Highway University; ed. count A.P. Gigadlo [et al.]. Omsk. 2019. Pp. 432–439. (rus)
19. Bakatovich A., Davydenko N., Gaspar F. Thermal insulating plates produced on the basis of vegetable agricultural waste. Energy and Buildings. 2018. Vol. 180. Pp. 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.09.032>
20. Ugryumov S.A. Improving of production technology of composite materials on the base of wood filler and flax boon [Sovershenstvovanie tekhnologii proizvodstva kompozitsionnykh materialov na osnove drevesnykh napolnitelej i kostry l'na]: dis. ... dr. tech. Sciences: 05.21.05 / S.A. Ugryumov. Kostroma, 2009. 295 p. (rus)

Information about the authors

Dalzhonak, Andrei V. Postgraduate student. E-mail: andrei92d@gmail.com. Polotsk State University. Republic of Belarus, 211446, Novopolotsk, st. Blokhin, 29.

Bakatovich, Alexander A. PhD, Assistant professor. E-mail: a.bakatovich@psu.by. Polotsk State University. Republic of Belarus, 211446, Novopolotsk, st. Blokhin, 29.

Received in August 2019

Для цитирования:

Должонок А.В., Бакатович А.А. Особенности изменения коэффициента теплопроводности стеновых блоков на растительных отходах в зависимости от влажности материала // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 10. С. 19–28. DOI: 10.34031/article_5db3379ba2f9e5.82013353

For citation:

Dalzhonak A.V., Bakatovich A.A. Peculiarities of kinetics of the coefficient of thermal conductivity depending on the humidity rate of wall blocks made of agricultural wastes. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 10. Pp. 19–28. DOI: 10.34031/article_5db3379ba2f9e5.82013353

DOI: 10.34031/article_5db33945315bb4.76965991

Радайкин О.В.

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Россия, 420043, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

E-mail: olegxxii@mail.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ДИАГРАММ ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНА ПО КРИТЕРИЮ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ДЕФОРМИРОВАНИЕ И РАЗРУШЕНИЕ

Аннотация. С точки зрения прочностных расчётов работу бетона под нагрузкой удобно описывать диаграммами деформирования « σ - ϵ » при одноосных растяжении и сжатии. При этом конечный результат расчёта зависит от формы соответствующей диаграммы, математического выражения, на основе которого она строится и других факторов. Наиболее универсальным критерием оценки сопротивляемости бетона силовому воздействию, по мнению автора, являются энергозатраты на деформирование и разрушение материала. Данный критерий вычисляется через определённый интеграл функции $\sigma=f(\epsilon)$. С его использованием в статье были рассмотрены 10 диаграмм деформирования бетона при сжатии и 4 при растяжении из доступных литературных источников, включая авторские. Установлены некоторые качественные и количественные закономерности, что позволило сделать вывод: для дальнейшего совершенствования нелинейной деформационной модели можно рекомендовать диаграммы сжатия: трёхлинейную, криволинейные, а при использовании рассматриваемой модели в современном её виде для инженерных расчётов наиболее подходящими является диаграммы растяжения.

Ключевые слова: бетон, диаграмма деформирования, энергия деформирования, разрушение.

Введение. К настоящему моменту нелинейная деформационная модель железобетонного сечения прочно вошла в обиход инженеров-проектировщиков благодаря своей простоте, универсальности и возможности самостоятельно автоматизировать расчёты с её использованием. Главным параметром данной модели, влияющим на результаты, является зависимость между напряжениями и деформациями « σ - ϵ », чаще всего задаваемая в виде диаграммы с ниспадающей ветвью. В ходе изучения отечественной и зарубежной литературы автором обнаружено порядка 30 различных видов диаграмм и это – не предел. Систематизация наиболее распространённых диаграмм выполнена в работах [1–2] и др. Возникает вопрос: в каких случаях можно применять тот или иной вид? Ответить на него можно двояко:

а) сравнить конечный результат расчёта конструкции на основе принятой теоретической диаграммы с экспериментом либо с надёжной расчётной методикой, ранее приведённой в соответствие с опытом; этому посвящены, например, работы [3–4];

б) сравнить самые распространённые и общепризнанные теоретические диаграммы между собой, отобрать из их числа на основе неких общих признаков (критериев) наиболее соответствующие друг другу, а затем сопоставить отобранные диаграммы с опытными зависимостями.

Второй вариант ответа более перспективен, поскольку подталкивает исследователя после выполнения этой процедуры совершенствовать

остальные параметры модели: геометрическую схему, схему усилий и напряжений, условия равновесия и др. Иначе получается, что при трансформации опытных диаграмм и переходе от них к нормативным и расчётным не учитываются важные параметры модели, более полно раскрывающие физическую суть работы конструкции под нагрузкой – они теряются в формуле, аппроксимирующей зависимость « σ - ϵ », а также в структуре принятых в нормах различных коэффициентов запаса (коэффициентов надёжности). К таким не учитываемым пока в нормах параметрам можно отнести: сцепление арматуры с бетоном и возможность его частичного либо полного нарушения, концентрация напряжений в вершине нормальных и наклонных трещин, возникновение горизонтальных трещин в сжатой зоне балки, градиенты деформаций и др.

Методология. В данной статье сделано первое приближение для ответа на поставленный вопрос по второму варианту. Для этого проведён сравнительный анализ различных диаграмм деформирования бетона при кратковременном нагружении по критерию энергозатрат на деформирование и разрушение материала. Данный критерий вычисляется через определённый интеграл функции $\sigma=f(\epsilon)$. При этом выделены следующие его составляющие:

$$U_{tot} = U_d + U_f, \quad U_d = U_e + U_{pl}, \quad (1)$$

где U_{tot} – полные энергозатраты на сопротивление бетона внешней нагрузке; U_d – энергозатраты на деформирование материала; U_f – энергозатраты на разрушение материала с образованием новых поверхностей (в следствии появления и развития макротрещин); U_e – энергия упругого деформирования; U_{pl} – энергия пластического деформирования.

Отметим, что один из вариантов энергетического подхода к оценке сопротивляемости бетона растяжению и сжатию представлен в работах проф. В.М. Митасова, например, в [5]. В них энергия деформирования и энергия разрушения материала тождественны друг другу. В данной статье эти два вида энергозатрат разделены по соответствующим стадиям работы бетона: а) от начала нагружения до момента появления видимых макротрещин в материале, что соответствует восходящей ветви диаграммы деформирования (эта стадия включает в себя работу вначале упругих, а потом совместно и пластических, точнее псевдопластических, деформаций), б) дальнейшее нагружение вплоть до полного разрушения с разделением бетонного образца на части, что соответствует ниспадающей ветви. При этом отчасти бетон начинает разрушаться уже на первой стадии в виде образования и развития невидимых микротрещин, что, однако, можно обобщить работай псевдопластических деформаций. Кроме того, на ниспадающей ветви диаграммы о деформациях материала можно говорить лишь

условно, так как удлинение либо укорочение бетонного образца под нагрузкой происходит главным образом за счёт образования и раскрытия макротрещин соответствующего направления: при растяжении – поперечных макротрещин отрыва; при сжатии – продольных отрыва и наклонных сдвига. В связи с этим, для удобства описания процессов деформирования и разрушения бетона и было принято выражение (1). Отметим, что похожий подход используется в зарубежных работах по механике разрушения. В частности, известна модель фиктивной трещины А. Хилерборга [6], в которой тем не менее работа псевдопластических деформаций на первой стадии не учитывается.

Основная часть. Входящие в формулу (1) величины можно представить в виде соответствующих площадей под кривой « σ - ϵ », показанных на рис. 1. Эти площади математически определяются через следующие интегралы:

$$U_{b,tot} = \int_0^{\epsilon_{b2}} \sigma_b(\epsilon) d\epsilon, U_{bt,tot} = \int_0^{\epsilon_{bt2}} \sigma_{bt}(\epsilon) d\epsilon, \quad (2)$$

$$U_{b,d} = \int_0^{\epsilon_{b0}} \sigma_b(\epsilon) d\epsilon, U_{bt,d} = \int_0^{\epsilon_{bt0}} \sigma_{bt}(\epsilon) d\epsilon, \quad (3)$$

$$U_{b,f} = \int_{\epsilon_{b0}}^{\epsilon_{b2}} \sigma_b(\epsilon) d\epsilon, U_{bt,f} = \int_{\epsilon_{bt0}}^{\epsilon_{bt2}} \sigma_{bt}(\epsilon) d\epsilon, \quad (4)$$

$$U_{b,e} = \frac{1}{2} R_{bn} \epsilon_{b0}, U_{bt,e} = \frac{1}{2} R_{bntn} \epsilon_{bt0}, \quad (5)$$

$$U_{b,pl} = U_{b,d} - U_{b,e}, U_{bt,pl} = U_{bt,d} - U_{bt,e}. \quad (6)$$

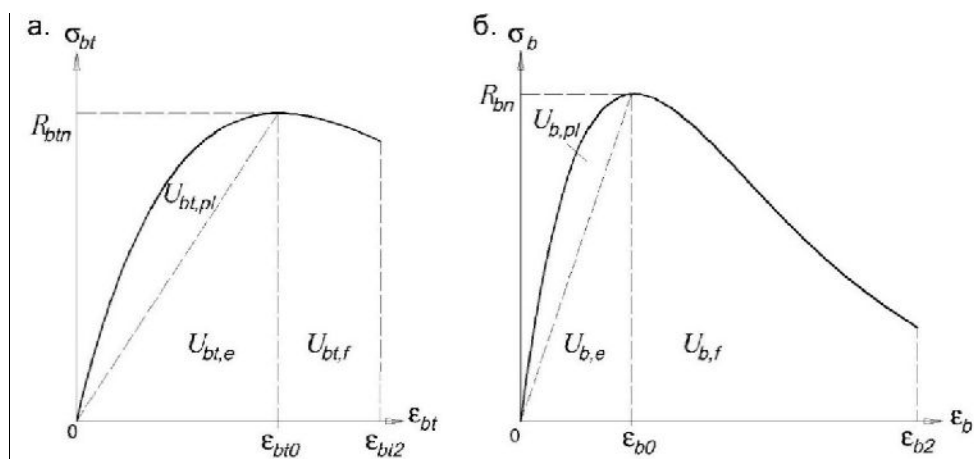


Рис. 1. К определению энергозатрат на нагружение бетона при растяжении (а) и при сжатии (б)

Данные расчётные выражения были применены для анализа диаграмм деформирования бетона при кратковременном нагружении, которые на примере сжатия представлены в табл. 1. Всего рассмотрено 10 диаграмм [2–4, 7–13].

В формулах табл. 1 недостающие в первоисточнике параметрические точки диаграмм, такие как ϵ_{b0} , ϵ_{b2} , приняты по СП 63.13330.2012 [7].

В табл. 2 и 3 приведены данные расчёты по формулам (2)–(6) для 10 представленных диаграмм.

Таблица 1

**Расчётные выражения для анализа диаграмм деформирования бетона
при кратковременном нагружении**

[Ист.]	Расчётное выражение (аппроксимация)	Вид диаграммы деформирования бетона (на примере кл. В10)
1	2	3
Трёхлинейная СП 63.1330.2012 [7]	$\sigma_b = \begin{cases} E_b \varepsilon_b; & 0 \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b1} \\ \left[\left(1 - \frac{\sigma_{b1}}{R_b} \right) \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_{b1}}{\varepsilon_{b0} - \varepsilon_{b1}} + \frac{\sigma_{b1}}{R_b} \right] R_b; & \varepsilon_{b1} < \varepsilon_b < \varepsilon_{b0} \\ R_b; & \varepsilon_{b0} < \varepsilon_b < \varepsilon_{b2} \end{cases}$ $\sigma_{b1} = 0,6 R_b$	
Двухлинейная СП 63.1330.2012 [7]	$\sigma_b = \begin{cases} E_{bred} \varepsilon_b; & 0 \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b1red} \\ R_b; & \varepsilon_{b1red} < \varepsilon_b < \varepsilon_{b2} \end{cases}$	
Криволинейная Еврокод 2 [8]	$\frac{\sigma_c}{R_b} = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta}, \quad \eta = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1}}, \quad k = 1,1 E_{cm} \cdot \frac{ \varepsilon_{c1} }{R_b}$	
Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радайкин О.В. [3], [4]	$\sigma_b = \nu_b E_b \varepsilon_b,$ $\nu_b = \bar{\nu}_b \pm (\eta_b - \bar{\nu}_b) \sqrt{(1 - \omega \eta_b) - \omega \eta_b^2}, \quad \eta_b = \sigma_b / R_b$	
Радайкин О.В. [9]	$\sigma_b = a_c \left(1 - b_c D_b \right)^{c_c} E_b \varepsilon_b, \quad D_b = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_{b2}}, \quad a_c = \frac{2,7 R_b}{E_b \varepsilon_{b0}}$ $, \quad b_c = \frac{1}{50 R_b}, \quad c_c = 50 R_b \frac{\varepsilon_{b2}}{\varepsilon_{b0}} - 1$	

продолжение таблицы 1

1	2	3
Мурашкин Г.В. [2]	$\sigma_b = a_c \varepsilon_b^{b_c} \exp\left(\frac{-b_c \varepsilon_b}{p}\right)$	
Поповикс [10]	$\sigma_b(\varepsilon_b) = R_{bn} \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_{b0}} \frac{n}{n-1 + \left(\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_{b0}}\right)^n}, \quad n = 0,58R_{bn} + 1$	
Томашевич [11] с учётом [12]	$\sigma_b(\varepsilon_b) = R_{bn} \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_{b0}} \frac{n}{n-1 + \left(\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_{b0}}\right)^{kn}}, \quad n = \frac{8,32}{8,32 - R_{bn}^{0,475}},$ $\varepsilon_{b0} = 0,7 \left(\frac{R_{bn}}{10^9}\right)^{0,31}, \quad k = \begin{cases} 1 \text{ при } \varepsilon_b < \varepsilon_{b0} \\ \frac{R_{bn}}{20} \text{ при } \varepsilon_b \geq \varepsilon_{b0} \end{cases}$	
Карейра и Чу [13]	$\sigma_b(\varepsilon_b) = R_{bn} \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_{b0}} \frac{n}{n-1 + \left(\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_{b0}}\right)^n}, \quad n = \frac{2}{1 - \frac{R_{bn}}{\varepsilon_{b0} E_b}}$	
Хогнестад [14]	$\sigma_b = R_{bn} \left[\frac{2\varepsilon_b}{\varepsilon_{b0}} - \left(\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_{b0}}\right)^2 \right]$	

Таблица 2

Энергозатраты¹ на деформирование и разрушения бетона при сжатии

№ п/п	Автор, ист.	$U_{b,tot}$	$U_{b,d}$	$U_{b,f}$	$U_{b,e}$	$U_{b,pl}$	$\frac{U_{b,d}}{U_{b,tot}}$	$\frac{U_{b,f}}{U_{b,tot}}$	$\frac{U_{b,e}}{U_{b,d}}$	$\frac{U_{b,pl}}{U_{b,d}}$
Класс бетона В10										
1.	Трехлин. [7]	2,221	1,096	1,125	0,75	0,346	0,493	0,507	0,685	0,315
2.	Двухлин. [7]	2,063	0,938	1,125	0,75	0,188	0,455	0,545	0,8	0,2
3.	Еврокод-2 [8]	2,059	0,895	1,164	0,62	0,275	0,435	0,565	0,693	0,307
4.	Карпенко [3]	2,345	1,167	1,178	0,73	0,437	0,498	0,502	0,626	0,374
5.	Радайкин [9]	2,116	1,071	1,045	0,75	0,321	0,506	0,494	0,7	0,3
6.	Мурашкин [2]	2,215	1,154	1,061	0,75	0,404	0,521	0,479	0,65	0,35
7.	Поповикс [10]	1,694	0,871	0,823	0,75	0,121	0,514	0,486	0,861	0,139
8.	Томашевич [11]	1,674	1,214	0,459	0,795	0,419	0,726	0,274	0,655	0,345
9.	Карейра [13]	2,018	0,988	1,03	0,75	0,238	0,49	0,51	0,759	0,241
10.	Хогнестад [14,15]	1,914	1	0,914	0,75	0,25	0,522	0,478	0,75	0,25
Класс бетона В25										
1.	Трехлин. [7]	5,332	2,557	2,775	1,85	0,707	0,48	0,52	0,723	0,277
2.	Двухлин [7]	5,088	2,313	2,775	1,85	0,463	0,455	0,545	0,8	0,2
3.	Еврокод-2 [8]	4,963	2,511	2,453	1,819	0,691	0,506	0,494	0,725	0,275
4.	Карпенко [3]	5,557	2,772	2,785	1,85	0,922	0,499	0,501	0,668	0,322
5.	Радайкин [9]	5,217	2,64	2,577	1,85	0,79	0,506	0,494	0,701	0,299
6.	Мурашкин [2]	5,297	2,693	2,604	1,85	0,843	0,508	0,492	0,687	0,313
7.	Поповикс [10]	3,162	1,996	1,166	1,85	0,146	0,631	0,369	0,927	0,073
8.	Томашевич [11]	4,071	3,633	0,438	2,595	1,038	0,892	0,108	0,714	0,286
9.	Карейра [13]	4,837	2,634	2,472	1,85	0,514	0,489	0,511	0,782	0,218
10.	Хогнестад [14,15]	4,721	2,467	2,255	1,85	0,617	0,522	0,478	0,75	0,25
Класс бетона В40										
1.	Трехлин. [7]	8,165	3,818	4,35	2,9	0,915	0,467	0,533	0,76	0,24
2.	Двухлин [7]	7,975	3,625	4,35	2,9	0,725	0,455	0,545	0,8	0,2
3.	Еврокод-2 [8]	7,599	4,254	3,345	3,185	1,069	0,56	0,44	0,749	0,251
4.	Карпенко [3]	8,356	4,333	4,023	3,022	1,311	0,519	0,481	0,697	0,303
5.	Радайкин [9]	8,178	4,139	4,039	2,9	1,239	0,506	0,494	0,701	0,299
6.	Мурашкин [2]	8,1	4	4,1	2,9	1,1	0,494	0,506	0,725	0,275
7.	Поповикс [10]	4,305	3,055	1,251	2,9	0,155	0,709	0,291	0,949	0,051
8.	Томашевич [11]	6,554	6,169	0,385	4,675	1,494	0,941	0,059	0,758	0,242
9.	Карейра [13]	7,359	3,609	3,75	2,9	0,709	0,49	0,51	0,804	0,196
10.	Хогнестад [14,15]	7,401	3,867	3,534	2,9	0,967	0,522	0,478	0,75	0,25

Примечания: 1 – единицы измерения величин, входящих в таблицу: МПа×10⁻².

Таблица 3

Энергозатраты¹ на деформирование и разрушения бетона при растяжении

№ п/п	Автор, ист.	$U_{bt,tot}$	$U_{bt,d}$	$U_{bt,f}$	$U_{bt,e}$	$U_{bt,pl}$	$\frac{U_{bt,d}}{U_{bt,tot}}$	$\frac{U_{bt,f}}{U_{bt,tot}}$	$\frac{U_{bt,e}}{U_{bt,d}}$	$\frac{U_{bt,pl}}{U_{bt,d}}$
B10										
1.	Трехлин. [7]	9,708	5,456	4,25	4,25	1,206	0,562	0,438	0,779	0,221
2.	Двухлин. [7]	9,35	5,1	4,25	4,25	0,85	0,545	0,455	0,833	0,167
3.	Карпенко [3]	8,045	3,63	4,415	2,921	0,709	0,451	0,549	0,805	0,195
4.	Радайкин [9]	10,22	6,102	4,113	4,25	1,852	0,597	0,403	0,697	0,303
B25										
1.	Трехлин. [7]	17,324	9,573	7,75	7,75	1,823	0,553	0,447	0,81	0,19
2.	Двухлин. [7]	17,05	9,3	7,75	7,75	1,55	0,545	0,455	0,833	0,167
3.	Карпенко [3]	15,636	7,015	8,621	5,778	1,237	0,449	0,551	0,824	0,176
4.	Радайкин [9]	18,572	11,096	7,476	7,75	3,346	0,597	0,403	0,698	0,302
B40										
1.	Трехлин. [7]	22,976	12,476	10,5	10,5	1,976	0,543	0,457	0,842	0,158
2.	Двухлин. [7]	23,1	12,6	10,5	10,5	2,1	0,545	0,455	0,833	0,167
3.	Карпенко [3]	22,51	10,051	12,458	8,437	1,615	0,447	0,553	0,839	0,161
4.	Радайкин [9]	25,138	15,02	10,118	10,5	4,52	0,597	0,403	0,699	0,301

Примечания: 1 – единицы измерения величин, входящих в таблицу: МПа×10⁻⁵.

Приведённые в табл. 2, 3 числовые данные ниже представлены графически. Нумерация диаграмм на рис. 2 и 3 по оси абсцисс принята, как в этих таблицах. Отдельно для данного класса бетона приведена столбчатая диаграмма, показывающая структуру полных энергозатрат и затрат энергии на деформирование материала на восходящей ветви диаграммы деформирования.

Из табл. 2 и рис. 2 следует, что близкие значения по энергозатратам дают диаграммы 1-6 и 9, которые могут быть приняты для дальнейшего изучения и использования в расчётах. Максимальная разница в значениях $U_{b,tot}$ между ними для бетона B10 не превышает 16,2 % и она снижается до 13,5 % с увеличением класса до B40. Остальные диаграммы – 7, 8 и 10, – могут быть использованы с большой осторожностью после тщательной проверки и возможной корректировки. Так, разница полных энергозатрат между диаграммой 4 и 8 достигает 40 %. Возможно, что такое отличие обусловлено не вполне правомерной заменой в формулах цилиндрической прочности бетона при сжатии, f_{ck} , принятой в иностранных нормах, на призменную, R_{bn} , принятой в отечественном СП [7]. Сделано это было в данной статье для обеспечения одинаковых исходных данных расчёта по различным методикам.

Тем не менее результаты Еврокод-2 [8] после такой замены оказались близкими к данным, полученным по отечественным нормам.

Отметим, что диаграммы 1, 2 и 4 включены в один и тот же норматив [7] и рекомендованы к использованию в качестве альтернативы. При этом отличие в $U_{b,tot}$ между 1 и 2 хотя и достигает всего 7,6 %, а между 4 и 2 – 13,7 %, однако двухлинейная диаграмма 2 имеет наименьшие энергозатраты на псевдопластические деформации: в 2,32 раза меньше, чем для криволинейной диаграммы 4, и в 1,84 раза, чем для трёхлинейной 1. При этом энергозатраты на упругое деформирование у всех диаграмм практически совпадают. Это свидетельствует о том, что при расчётах конструкций, работающих в эксплуатационной стадии, использование двухлинейной диаграммы 2 может привести к заметным запасам по прогибам и трещиностойкости. Приблизительно об этом говорится в положениях п.п. 6.1.23-6.1.26 СП 63.13330.2012 [7]: для расчёта по прочности и по прогибам после образования трещин, а также при расчёте по раскрытию трещин для сжатой зоны бетона рекомендована двухлинейная диаграмма; для расчёта по образованию трещин, а также для расчёта по прогибам без трещин для сжатого и растянутого бетона – трёхлинейная диаграмма. Однако в свете полученных данных сравнения

энергозатрат на псевдопластическое деформирование применять двухлинейную диаграмму для расчётов по второй группе предельных состояний после образования трещин, как это рекомендует СП [7], следует с опаской получить некорректные результаты.

Важно отметить, что особенностью диаграмм 1, 4, 5, 6, 7, 9 и 10 является равенство энергозатрат на деформирование и разрушение: $U_{b,d} = U_{b,f}$. Для остальных диаграмм это условие не соблюдается. Однозначно сказать без экспериментальной проверки, является ли оно критерием правильности построения диаграмм пока не

представляется возможным, но определённо, что условие $U_{b,d} = U_{b,f}$ выполняется для большинства диаграмм (7 из 10), а при сравнении с результатами, полученными с использованием оставшихся диаграмм (2, 3 и 8), разница будет тем больше, чем больше будут отличаться для них $U_{b,d}$ и $U_{b,f}$.

Кроме того, из выявленной закономерности $U_{b,d} = U_{b,f}$ следует, что нельзя пренебрегать ниспадающей ветвью диаграмм в расчётах, так это приводит к неоправданным почти двукратным запасам.

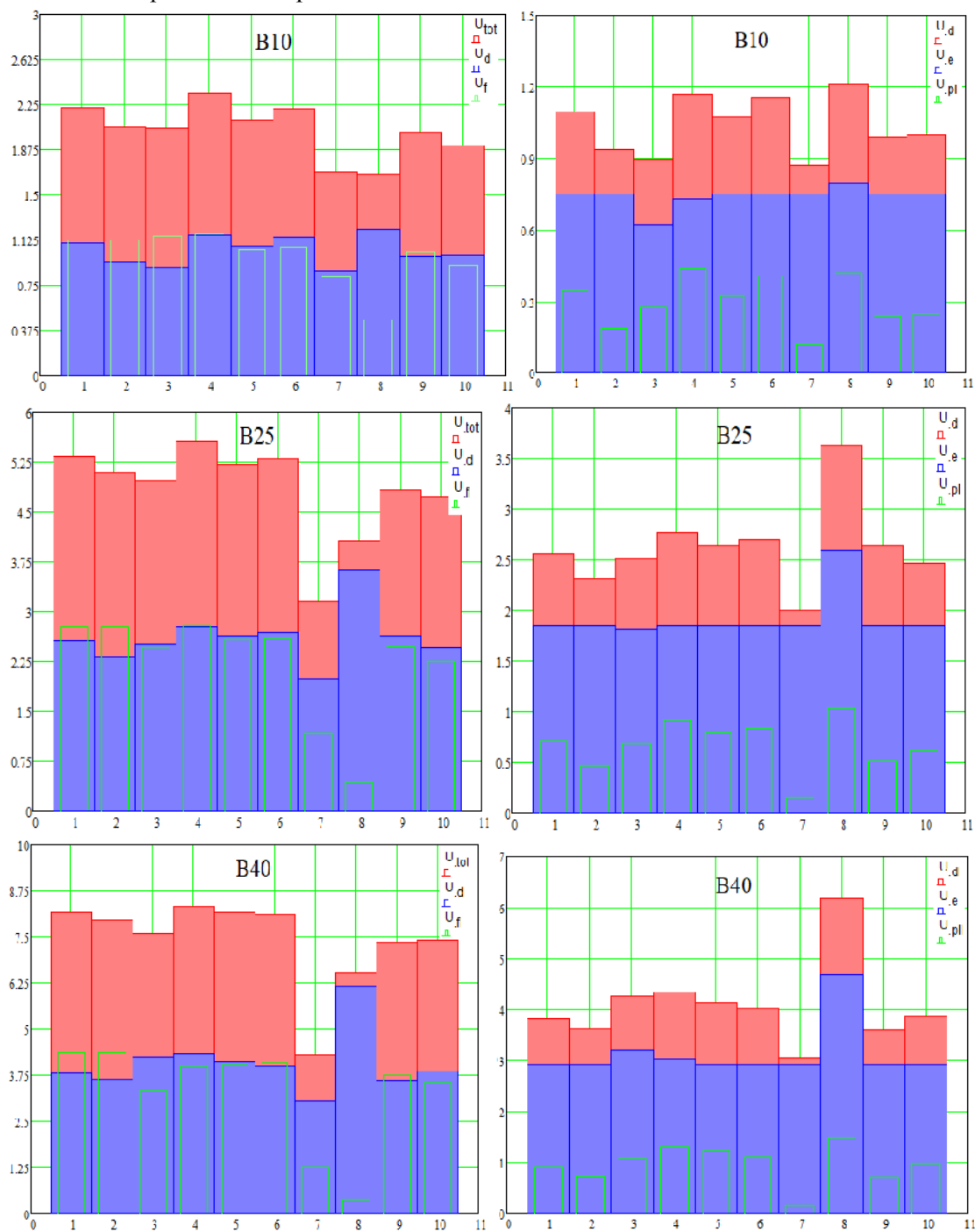


Рис. 2. Структура энергозатрат на деформирование и разрушение бетона различных классов при сжатии, $\text{МПа} \times 10^{-2}$

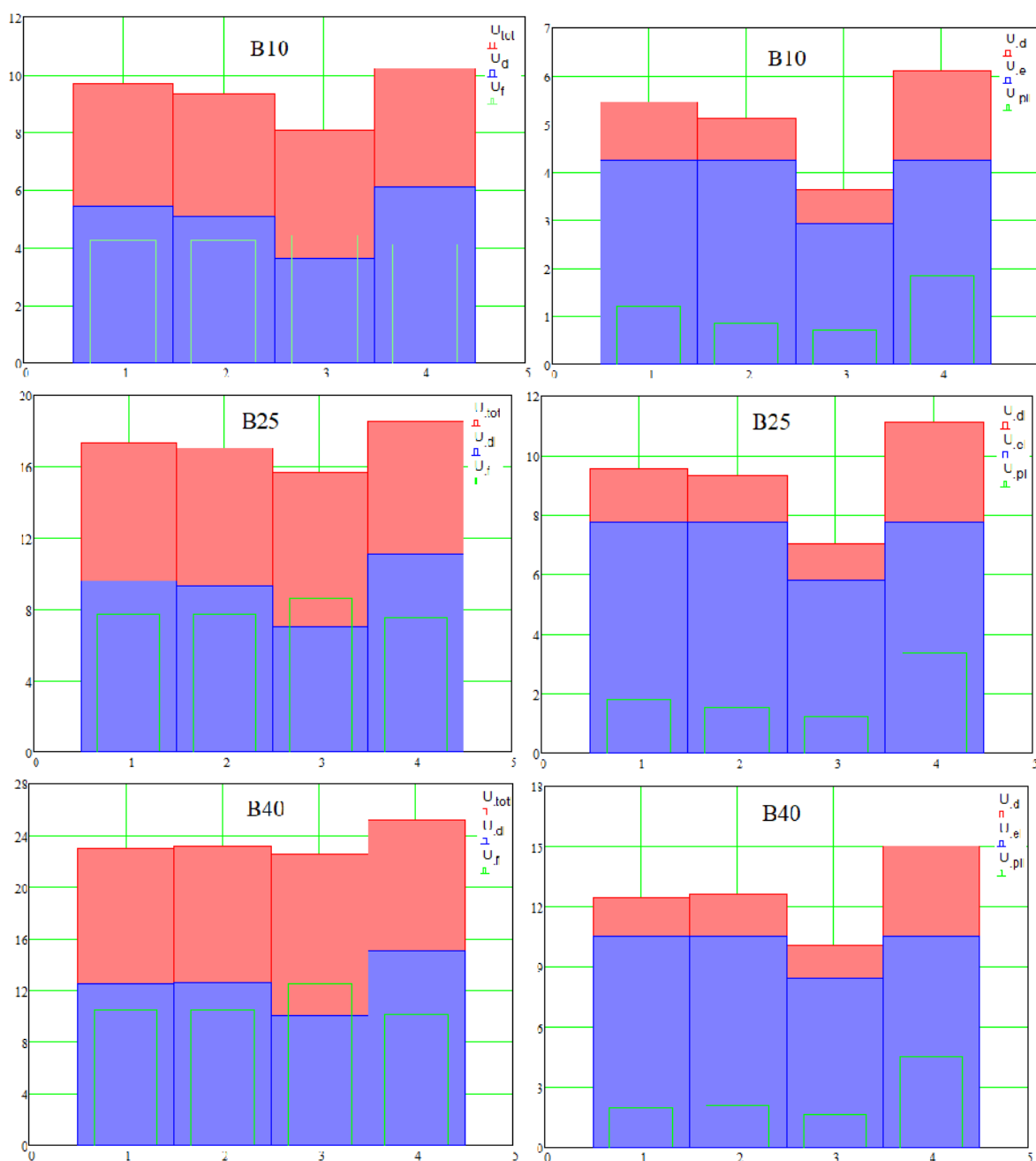


Рис. 3. Структура энергозатрат на деформирование и разрушение бетона различных классов при растяжении, $\text{МПа} \times 10^{-5}$

Итогом всех рассуждений является то, что при сжатии без особых опасений в расчётах железобетонных конструкций по обеим группам предельных состояний можно использовать диаграммы 1, 4, 5 и 6. Их так же можно принять за основу для дальнейшего совершенствования нелинейной деформационной модели. Для остальных же диаграмм требуется тщательная проверка и возможная корректировка. При этом в диаграммах из иностранных литературных источников следует обращать внимание на правомерность замены f_{ck} на R_{bn} , если таковая требуется.

Диаграммам деформирования бетона при растяжении исследователями уделяется меньше внимания, поэтому среди сравниваемых их всего

4. Тем не менее из рис. 3 и табл. 3 можно сделать следующие выводы: отличие в полных энергозатратах максимально между диаграммами 3 и 4 и составляет 27,0 % для бетона B10 и 11,7 – для B40. Близкие данные по всем энергозатратам получились для двух- и трёхлинейной диаграммам (1 и 2) – расхождение в пределах 3,8 %, поэтому для моделирования растянутой зоны бетона достаточно применить упрощённую двухлинейную. Диаграмма 3 несколько выпадает из общей логики описания диаграмм: во-первых энергия деформирования $U_{bt, tot}$ для неё получилась самая низкая, а во-вторых, установлено

$U_{bt,d} < U_{bt,f}$, в то время как для остальных диаграмм $U_{bt,d} > U_{bt,f}$. Причиной этому, скорее всего, является трансформация диаграмм, выполненная в работах [3, 4] для сближения расчётных данных по M_{cr} и M_{ult} со СНиП 2.03.01-84*. С одной стороны, это позволило получить достоверные конечные результаты расчёта железобетонных балок по прочности и трещинообразованию, а с другой стороны, несколько отдалило описание диаграммы от общеизвестного представления о том, что сопротивление растянутого бетона на ниспадающей ветви должна быть меньше по сравнению с восходящей ветвью.

Отметим также, что в целом для всех рассматриваемых диаграмм растяжения условие $U_{bt,d} = U_{bt,f}$ не выполняется, как это было выше для случая со сжатием.

Таким образом, пока не ясно, какую именно диаграмму растянутого бетона следует рекомендовать для дальнейшего совершенствования нелинейной деформационной модели. Тем не менее при использовании этой модели в современном её виде [7], наиболее подходящими является диаграммы 3 и 4, что подтверждают результаты исследований [3, 4, 9].

Выводы:

1. Проведено сравнение 10-и наиболее распространённых, общепризнанных в нормативной и научной литературе диаграмм деформирования бетона при кратковременном сжатии и 4-х – при кратковременном растяжении – по критерию затрат энергии на деформирование и разрушение.

2. Установлено, что близкие значения по энергозатратам дают диаграммы сжатия под номерами 1–6 и 9 [2, 3, 7–9, 13]. Максимальная разница в значениях $U_{b,tot}$ между ними для бетона В10 не превышает 16,2 % и она снижается до 13,5 % с увеличением класса до В40. Остальные диаграммы – 7, 8 и 10, – могут быть использованы с большой осторожностью после тщательной проверки и возможной корректировки. Так, разница полных энергозатрат между диаграммой 4 и 8 достигает 40 %.

3. Отличие в $U_{b,tot}$ между трёх- и двухлинейной диаграммой [7] (под номером 1 и 2) хотя и достигает всего 7,6 %, а между диаграммой [3] (под номером 4) и двухлинейной – 13,7 %, однако последняя имеет наименьшие энергозатраты на псевдопластические деформации: в 2,32 раза меньше, чем для криволинейной диаграммы 4, и в 1,84 раза, чем для трёхлинейной 1.

4. Для 7 из 10 рассмотренных диаграмм при сжатии выявлена закономерность, что энергозатраты на деформирование и разрушение материала количественно равны друг другу, $U_{b,d} = U_{b,f}$

(соответственно равны площади фигур под восходящей ветвью диаграммы и ниспадающей).

5. При растяжении отличие в полных энергозатратах максимально между диаграммами [3, 9] и составляет 27,0 % для бетона В10 и 11,7 – для В40. Близкие данные по всем энергозатратам получились для двух- и трёхлинейной диаграммам [7] – расхождение в пределах 3,8 %, поэтому для моделирования растянутой зоны бетона достаточно применить упрощённую двухлинейную.

6. Для дальнейшего совершенствования нелинейной деформационной модели рекомендованы диаграммы сжатия: трёхлинейная [7], криволинейные [2, 3, 9]. При растяжении пока не ясно, какую именно диаграмму следует рекомендовать для этих целей. Тем не менее при использовании рассматриваемой модели в современном её виде [7] для инженерных расчётов наиболее подходящими является диаграммы [3, 9].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тур В.В., Рак Н.А. Прочность и деформации бетона в расчетах конструкций. Брест: Изд-во БГТУ, 2003. 252 с.
2. Мурашкин Г.В., Мурашкин В.Г., Панфилов Д.А. Описание диаграмм деформирования бетона в отечественных и зарубежных нормах // Вестник волжского регионального отделения российской академии архитектуры и строительных наук. 2011. №14. С. 144–150.
3. Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радайкин О.В. К определению деформаций изгибаемых железобетонных элементов с использованием диаграмм деформирования бетона и арматуры // Строительство и реконструкция. 2012. № 2(40). С. 11–20.
4. Карпенко Н.И., Радайкин О.В. К совершенствованию диаграмм деформирования бетона для определения момента трещинообразования и разрушающего момента в изгибаемых железобетонных элементах // Строительство и реконструкция. 2012. №3(41). С. 10–17.
5. Митасов В.М., Адищев В.В. Основные положения энергетической теории сопротивления железобетона // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2010. № 6 (618). С. 3–8.
6. Hillerborg A., Modeer M. Petersson, P.E. Analysis of crack formation and crack growth in concrete by means of fracture mechanics and finite elements // Cement and Concrete Research. 1976. No. 6. Pp. 773–782.
7. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. 2012. 128 с.

8. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1: General rules and rules for buildings. European Committee for Standardization. 2002. 226 p.

9. Радайкин О.В. К построению диаграмм деформирования бетона при одноосном кратковременном растяжении/сжатии с применением деформационного критерия повреждаемости // Вестник гражданских инженеров. 2017. №6. С. 71–78.

10. Popovics S. A numerical approach to the complete stress-strain curve of concrete // Cement and Concrete Research. 1973. No. 3. Pp. 583–599.

11. Tomaszewicz A. Betongens Arbeidsdiagram // SINTEF Report no. STF 65A84065. Trondheim. 1984. Pp. 85–92.

12. A. Van Gysel L. Taerwe Analytical formulation of the complete stress-strain curve for high strength concrete // Materials and Structures. 1996. No. 29(9). Pp. 529–533.

13. Carreira D.J., Chu K.H. Stress-strain relationship for plain concrete in compression // ACI Journal Proceedings, ACI. 1985. Pp. 797–804.

14. Hognestad E. Study of combined bending and axial load in reinforced concrete members // Bull. Ser. no. 399, Univ. Illinois Engineering Experimental Station, Champaign, IL. 1951. 128 p.

15. Ertekin Oztekin, Selim Pul, Metin Husem Determination of rectangular stress block parameters for high performance concrete // Engineering Structures. 2003. No. 25. Pp. 371–376.

Информация об авторах

Радайкин Олег Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций. E-mail: olegxxii@mail.ru. Казанский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 420043, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1.

Поступила в сентябре 2019 г.

© Радайкин О.В., 2019

Radaikin O.V.

Kazan State University of Architecture and Engineering

Russia, 420043, Kazan, Green str., 1

*E-mail: olegxxii@mail.ru

COMPARATIVE ANALYSIS OF VARIOUS DIAGRAMS OF CONCRETE DEFORMATION ACCORDING TO THE CRITERION OF ENERGY CONSUMPTION FOR DEFORMATION AND DESTRUCTION

Abstract. From the point of view of strength calculations, it is convenient to describe concrete work under load by deformation diagrams " σ - ϵ " under uniaxial tension and compression. The result of the calculation depends on the shape of the corresponding diagram, the mathematical expression on which it is based and other factors. According to the author, the universal criterion for assessing the resistance of concrete to force impact is the energy consumption for deformation and destruction of the material. This criterion is calculated through a definite integral of the function $\sigma=f(\epsilon)$. Ten diagrams of concrete deformation under compression and four under tension from available and original literature sources are considered using this integral. Some qualitative and quantitative regularities are established. The following conclusion is made: compression diagrams can be recommended for further improvement of the nonlinear deformation mode: three-line, curvilinear; the stretching diagrams and are the most suitable for engineering calculations when using the considered model in its modern form.

Keywords: the concrete deformation diagram, the energy of deformation, destruction.

REFERENCES

1. Tur V.V., Rak N.A. Strength and deformation of concrete in structural calculations [Prochnost' i deformacii betona v raschetah konstrukcij]. Brest: BGUTU. 2003. 252 p. (rus)

2. Murashkin G.V., Murashkin V.G., Panfilov D.A. Description of concrete deformation diagrams in domestic and foreign norms [Opisanie diagramm deformirovaniya betona v otechestvennyh i zarubezhnyh normah]. Bulletin of the Volga regional branch of the Russian Academy of architecture and

construction Sciences. 2011. No. 14. Pp. 144–150. (rus)

3. Karpenko N.I., Sokolov B.S., Radaikin O.V. To definition of deformations of the bent reinforced concrete elements with use of diagrams of deformation of concrete and reinforcement [K opredele-niyu deformacij izgibaemyh zhelezobetonnyh elementov s ispol'zovaniem diagramm deformirovaniya betona i armatury]. Construction and reconstruction. 2012. No. 2(40). Pp. 11–20. (rus)

4. Karpenko N.I., Radaikin O.V. To improve the deformation diagrams of the concrete to determine the moment of cracking and damaging moment in bendable reinforced concrete elements [K sovershenstvovaniyu diagramm deformirovaniya betona dlya opredeleniya momenta treshchinoobrazovaniya i razrushayushchego momenta v izgibayemykh zhelezobetonnykh elementakh]. Construction and reconstruction. 2012. No. 3(41). Pp. 10–17. (rus)

5. Mitasov V.M., Agishev V.V. The Main provisions of the energy theory of resistance of reinforced concrete [Osnovnye polozheniya energeticheskoy teorii soprotivleniya zhelezobetona]. Proceedings of higher educational institutions. Construction. 2010. No. 6(618). Pp. 3–8. (rus)

6. Hillerborg A., Modeer M., Petersson P.E. Analysis of crack formation and crack growth in concrete by means of fracture mechanics and finite elements. Cement and Concrete Research. 1976. No. 6. Pp. 773–782.

7. SP 63.13330.2012 Concrete and reinforced concrete structures. Fundamentals. Updated version of SNiP 52-01-2003 [SP 63.13330.2012 Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. Osnovnye polozheniya. Aktualizirovannaya redakciya SNiP 52-01-2003]. 2012. 128 p. (rus)

8. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1: General rules and rules for buildings. European Committee for Standardization. 2002. 226 p.

9. Radaikin O.V. To the construction of diagrams of concrete deformation under uniaxial short-term tension/compression using the deformation criterion of damage [K postroeniyu diagramm deformirovaniya betona pri odnoosnom kratkovremennom rastyazhenii/szhatii s primeneniem deformacionnogo kriteriya povrezhdaemosti]. Bulletin of civil engineers. 2017. No. 6. Pp. 71–78. (rus)

10. Popovics S. A numerical approach to the complete stress-strain curve of concrete. Cement and Concrete Research. 1973. No. 3. Pp. 583–599.

11. Tomaszewicz A. Betongens Arbeidsdiagram. SINTEF Report no. STF 65A84065. Trondheim. 1984. Pp. 85–92.

12. A. Van Gysel L. Taerwe Analytical formulation of the complete stress-strain curve for high strength concrete. Materials and Structures. 1996. No. 29(9). Pp. 529–533.

13. Carreira D.J., Chu K.H. Stress-strain relationship for plain concrete in compression. ACI Journal Proceedings, ACI. 1985. Pp. 797–804.

14. Hognestad E. Study of combined bending and axial load in reinforced concrete members. Bull. Ser. no. 399, Univ. Illinois Engineering Experimental Station, Champaign, IL. 1951. 128 p.

15. Ertekin Oztekin, Selim Pul, Metin Husem Determination of rectangular stress block parameters for high performance concrete. Engineering Structures. 2003. No. 25. Pp. 371–376.

Information about the authors

Radaikin, Oleg V. PhD, Assistant professor of the Department Reinforced concrete and stone structures. E-mail: olegxxii@mail.ru. Kazan State University of Architecture and Engineering. Russia, 420043, Kazan, Green str. 1.

Received in September 2019

Для цитирования:

Радайкин О.В. Сравнительный анализ различных диаграмм деформирования бетона по критерию энергос затрат на деформирование и разрушение // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 10. С. 29–39. DOI: 10.34031/article_5db33945315bb4.76965991

For citation:

Radaikin O.V. Comparative analysis of various diagrams of concrete deformation according to the criterion of energy consumption for deformation and destruction. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 10. Pp. 29–39. DOI: 10.34031/article_5db33945315bb4.76965991

DOI: 10.34031/article_5db33b395b0bb8.51040783

^{1,*}Абакумов Р.Г., ¹Авилова И.П., ²Абакумова М.М., ¹Анисимов С.А.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

²Белгородский университет кооперации, экономики и права

Россия, 308000, г. Белгород, ул. Садовая, д. 118

*E-mail: Abakumov.RG@bstu.ru

ОНТОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВ КРУПНОПАНЕЛЬНОГО И МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ЖИЛЫХ ОБЪЕКТОВ

Аннотация. Статья посвящена вопросам онтологии исследования эффективности и перспектив крупнопанельного и монолитного железобетонного строительства жилых объектов. Актуальность данного исследования определяется возрастающими требованиями к эффективности многоэтажного жилищного строительства. Рассматривается применение методических основ обоснования и сравнительного анализа эффективности монолитного и крупнопанельного железобетонного многоэтажного строительства, обосновываются перспективы развития данных технологий жилищного строительства. В статье представлен анализ минусов и плюсов монолитного и крупнопанельного железобетонного многоэтажного строительства жилых зданий, проведен сравнительный анализ процессов организации и технологии строительных работ. Проведено ранжирование проблем крупнопанельного и монолитного строительства по уровню их существенности, предложены мероприятия по совершенствованию технологий строительства. Представлен сравнительный анализ стоимостных показателей монолитного и панельного строительства на основе данных представленных в сборниках нормативов цены строительства. Обоснована необходимость введения и актуализации нормативной документации, имеющей юридическую силу, для регулирования основных положений современного улучшенного крупнопанельного строительства. Акцентируется внимание на расчетных условиях изготовления и монтажа применяемые при методическом подходе сравнения монолитного и крупнопанельного многоэтажного строительства жилых зданий. Проанализированы случаи целесообразности сравнения по критерию «продолжительность строительства». В статье предложен оригинальный методический подход для оценки эффективности монолитного и крупнопанельного строительства с учетом условий и характера неопределенности исходных данных, что позволит обосновать выбор наиболее эффективных вариантов строительства многоэтажного жилищного строительства.

Ключевые слова: онтология исследования, крупнопанельное строительство, монолитное строительство, эффективность технологий, перспективы развития, жилищное.

Введение. Возрастающее осознание значения увеличения темпов жилищного строительства для роста качества жизни и благосостояния населения сопровождается повышением внимания к развитию традиционных технологий и методов строительства жилищного фонда. Поставленные перед строительной отраслью стратегические задачи в области жилищного строительства невозможно решить без снижения уровня затрат и применения эффективных технологий и методов строительства многоэтажных жилых домов. Возрастающее осознание значения эффективности применяемых технологий, методов и видов строительства для роста конкурентоспособности сопровождается повышением внимания к методикам анализа эффективности применяемых методов и технологий строительства.

Наиболее распространенными методами строительства многоквартирных жилых домов на территории России являются монолитное и крупнопанельное железобетонное строительство. Для

оценки эффективности данных методов строительства исследователи используют различные методики, однако изучение существующих подходов выявило сопоставимость различных подходов к оценке эффективности и отсутствие единой методологии, позволяющей провести всесторонний анализ эффективности методов строительства. Несмотря на обширную научную базу, разработанную за последний период, немногие работы можно использовать в качестве основы для разработки методики анализа эффективности монолитного и крупнопанельного железобетонного многоэтажного строительства жилых зданий. Актуальной является проблематика разработки единых методических основ исследования включающих модель обработки информации, реализующих последовательное сопоставление характеристик методов строительства, оценку эффективности, отражение связей и особенностей [1].

Онтология исследования эффективности монолитного и крупнопанельного железобетонного многоэтажного строительства жилых зданий в современных условиях является основой принятия управленческих решений в строительстве и основой четкой и грамотной инженеринговой деятельности, от которой зависит эффективность функционирования всей строительной индустрии.

Методология. Цель исследования заключается в анализе крупнопанельного строительства, сравнения его с монолитным железобетонным строительством, определением его недостатков и конструктивных предложений по улучшению. Поставленная цель предполагает решение следующей задачи: проведение анализа сравнительных характеристик, составляющих крупнопанельное и монолитное строительство. Методологические задачи анализа эффективности монолитного и крупнопанельного железобетонного многоэтажного строительства жилых зданий, в настоящее время, в основном решаются на уровне вербального описания проблем и подходов к решению, обобщенных экспертных оценок, а также с использованием индикативных методов. Все существующие методы дают лишь поверхностную оценку, поскольку, реализуют подход эклектичного и поверхностно рассмотрения, не учитывается взаимосвязь между техническими характеристиками, влияние индикаторов на интересы застройщиков. Методология анализа эффективности монолитного и крупнопанельного железобетонного многоэтажного строительства жилых зданий позволит осуществлять контроль за качеством строительства, проводить анализ на соответствие принципу рациональности.

Все выше перечисленное свидетельствует о необходимости развития методологических и методических основ анализа эффективности монолитного и крупнопанельного железобетонного многоэтажного строительства жилых зданий в современных условиях. При разработке методического инструментария по анализу эффективности монолитного и крупнопанельного железобетонного многоэтажного строительства жилых зданий могут быть использованы: перечень специализированных индикаторов; методы оценки эффективности строительства; аналитическая система сбора и анализа данных. При этом индикаторы, отражающие эффективность должны быть сопоставимы, методические инструменты должны учитывать особенности применяемых технологий строительства, позволяющей проводить оценку трудоемкости применяемых технологий строительства [2].

Для реализации механизма сравнения и анализа необходимо понимание онтологии исследования и правильная идентификация причин, за счет которых одна технология или метод строительства преобладает над другой, то есть обладает оптимизационными преимуществами. В настоящее время используется несколько технологий оценки эффективности применяемых технологий строительного производства: методы сопоставления параметров и технологии; методы удельной стоимости и продолжительности; методы, основанные на принципе исключения недостатков; модели, основанные на минимизации стоимости и продолжительности строительства.

Основная часть. Монолитное строительство – это метод возведения многоэтажного жилого здания, при котором основным материалом конструкций является монолитный железобетон, произведенный на строительной площадке. На данный момент монолитное домостроение является доминирующей технологией строительства практически во всех регионах России, а железобетон, как строительный материал является основным при строительстве жилых, общественных и промышленных зданий, разной сложности и конфигурации, в том числе высотных зданий, подземных и транспортных сооружений. Подобной популярности способствует развитие и освоение новых технологий производства строительного-монтажных работ, использование новейшей инструментальной базы, повышение комплексной механизации и индустриализации процессов приготовления, подачи и укладки бетонных растворов и смесей, применение вспомогательных добавок, улучшающие основные характеристики материала и повышение коэффициента полезного действия строительных процессов в любое время года.

Крупнопанельное строительство – это метод возведения многоэтажного жилого здания, при котором основным материалом конструкций является заранее изготовленные в заводских условиях и доставленные на строительную площадку железобетонные элементы строительных конструкций, сборка которых позволяет собирать жилые дома в короткие сроки. Крупнопанельное строительство являлось наиболее распространённым в период индустриального домостроения в советский период [3].

В табл. 1 представлен анализ минусов и плюсов монолитного и крупнопанельного железобетонного многоэтажного строительства жилых зданий.

Проведем сравнительный анализ организации и технологии строительных работ монолитного и крупнопанельного железобетонного многоэтажного строительства жилых зданий. В

табл. 2 представлен сравнительный анализ процессов организации и технологии строительных

работ при монолитном и крупнопанельном строительстве.

Таблица 1

Минусы и плюсы монолитного и крупнопанельного железобетонного многоэтажного строительства жилых зданий

Монолитное строительство	
Минусы	Плюсы
Нестабильность величины затраты рабочей силы (возможно изменение на 10 %). Необходимость соблюдения температурного режима застывания смеси. Соблюдение требования непрерывности заливки бетона по всему периметру. Необходимость соблюдения технологии применения уплотнительных операций специальной техникой. Требуется дополнительное утепление стен. Плохая звукоизоляция стен. Необходимо обеспечение принудительной вентиляции помещений. Предварительно подготовленные инженерные коммуникации.	Возможность внутренней отделки сразу после завершения основного цикла. Единичные строительные швы здания и отсюда повышенную прочность. Возможность возводить здания на проблемных почвах. Равномерное распределение нагрузки несущих конструкций на фундамент. Возможность создания любой конструкции по этажности, архитектурному стилю, внутренней планировки. Возможность перепланирования помещения без риска нарушить прочность строения. Увеличение внутренней площади. Долговечность эксплуатации здания до 100 и более лет. Устойчивость к сейсмическим нагрузкам.
Крупнопанельный метод строительства	
Минусы	Плюсы
Невысокие теплотехнические показатели в сравнении с другими материалами. Недостаточная звукоизоляция. Малейшие отступления в технологии соединения стыков приведут к образованию щелей. Сниженная сейсмостойкость многоэтажек панельного типа. Зависимость планировки от производимых панельных элементов (это касается только крупнопанельных домов).	Повышенная скорость сборки здания. Возможность снижения размеров строительной площадки за счет работы «с колес», то есть материал подвозится от производителя и сразу монтируется на объект, не загромождая стройплощадку. Минимальный набор приборов и оборудования для монтажа сборных конструкций.

Панельное строительство предполагает применение панелей, являющихся единовременно несущей и ограждающей конструкцией, которая обеспечивает жесткость здания. Монолитное строительство предполагает применение меньшего количества конструктивных элементов, и отличаются простотой монтажа [4].

Проведем анализ и ранжирование проблем монолитного и крупнопанельного строительства для четкого понимания возможностей применения методики сравнительного анализа.

Ранжирование проблем крупнопанельного строительства и уровень их существенности представлено на рис. 1, а монолитного строительства на рис. 2.

У монолитного домостроения присутствует основной недостаток – в случае если при строи-

тельстве монолитного дома не следить за качеством соблюдения технологических процессов, здание не будет отвечать предъявляемым к нему нормативным требованиям конструктивного характера и минимальным сроком эксплуатации.

Исследование факторов, с точки зрения технологии производства строительно-монтажных работ, влияющих на монолитное строительство – это одно из актуальных направлений развития данной отрасли. Современное монолитное строительство имеет специфику, отличную от производства работ по возведению кирпичных и панельных зданий, требующую повышенную квалификацию рабочих кадров, как непосредственных исполнителей, так и инженерно-технологических работников. Данный вид строительства направлен на повышение скорости производства строительно-монтажных работ - сокращение его

до темпов оборачиваемости опалубки (монтаж/демонтаж), использование несъемных опалубочных элементов. С целью увеличения оборачиваемости опалубки и интенсификации строительства, рабочие часто сокращают продолжительность выдерживания бетона и производят более раннюю распалубку конструкций, чем это предусмотрено нормативными документами. Следующим немаловажным фактором, влияющим на качество монолитного строительства, является низкий уровень профобразования рабочих

кадров и формальное отношение к повышению их квалификации, что зачастую приводит к непониманию важности производимой работы и ее небрежному выполнению. Вопросы контроля качества бетона, повышение квалификации рабочих кадров являются основными и принципиальными, так как качество производства строительного процесса зависит не только от качества используемых материалов и конструкций, но и от квалификации инженерно-технического персонала [5].



Рис. 1. Ранжирование проблем крупнопанельного строительства

На протяжении всего срока исполнения работ по строительству монолитных зданий и сооружений должен непрерывно осуществляться контроль качества производимых работ, квалифицированными кадрами, имеющими нужные знания и инструментально-техническое оснащение. При этом данные лица должны осуществлять наблюдения и фиксировать не только возникающие отклонения и нарушения, в соответствии с нормативной документацией, но давать рекомендации по устранению и дальнейшему развитию проявившихся дефектов. В условиях строительной площадки это практически невозможно, поэтому на передний план вновь встает вопрос о лабораторном контроле, необходимости создания региональных центральных строительных лабораторий и лабораторий крупных строительных организаций, а также обучение сотрудников современным методам оперативного контроля и обработке данных.

Следует также отметить необходимость совершенствования технологического проектирования с моделированием температурно-прочностного поведения бетона, с учетом новейших достижений и нормативных требований. Особое значение это имеет при проектировании способа и режима тепловой обработки монолитного бетона, так как процесс ускоренного твердения и выдерживания бетона во многом определяет качество несущих конструкций и как следствие надежность и долговечность здания в целом. В большинстве случаев рекомендуемые регламенты тепловой обработки бетона просто перепечатаны и не учитывают индивидуальных особенностей, требующих конкретного обоснования принятых режимов теплотехническими и электротехническими расчетами. Проблема повышения качества и снижения дефектности монолитных железобетонных конструкций может решаться разными способами. Предупреждение

проявления дефектов в монолитном строительстве лучше производить на начальной стадии производства работ по изготовлению бетонных смесей и укладке их в опалубку. Предложения по

снижению дефектности монолитного строительства, отраженные на рис. 3 можно применить, при этом приложив минимум усилий и относительно небольшие финансовые инвестиции.

Таблица 2

Сравнительный анализ процессов организации и технологии строительных работ панельного и монолитного строительства

Наименование этапа	Панельное строительство	Монолитное строительство
Нулевой цикл	Монтаж фундаментов Монтаж плит перекрытий над подвалом. Гидроизоляция фундаментов. Бетонные полы.	Устройство основания под фундамент гравийного. Установка и разборка металлической опалубки. Подача бетонной смеси стреловыми кранами. Укладка бетонной смеси в конструкции. Установка вертикальных армированных сеток. Установка панелей перекрытий над подвалом. Бетонные полы.
Строительно-монтажный цикл	Монтаж коробки здания. Монтаж стеновых панелей, заполнение и расшивку швов. Работы по устройству вертикальных и горизонтальных стыков между стеновыми элементами. Кладка перегородок из кирпича. Установка лестничных маршей, стеновых панелей, перегородок Монтаж вентблоков и козырьков осуществляют после монтажа каркаса здания. Монтаж блоков лифтовых шахт. Установка труб мусоропровода. Устройство кровли.	Устройство и разборка опалубки стен и перегородок щитовой одновременно с двух сторон. Установка вертикальных армированных сеток. Укладка бетонной смеси в конструкции. Кладка наружных стен из легких блоков. Кладка перегородок из кирпича. Устройство и разборка опалубки плит перекрытий. Укладка бетонной смеси в перекрытии. Монтаж лестничных маршей и площадок. Монтаж плит балконов и лоджий. Монтаж блоков лифтовых шахт. Монтаж вентиляционных блоков. Установка труб мусоропровода. Монтаж плит покрытия. Устройство кровли.
Строительные машины	Кран башенный, экскаватор, бульдозер	Бетононасос, экскаватор, бульдозер, кран башенный



Рис. 2. Ранжирование проблем монолитного строительства и уровень их существенности

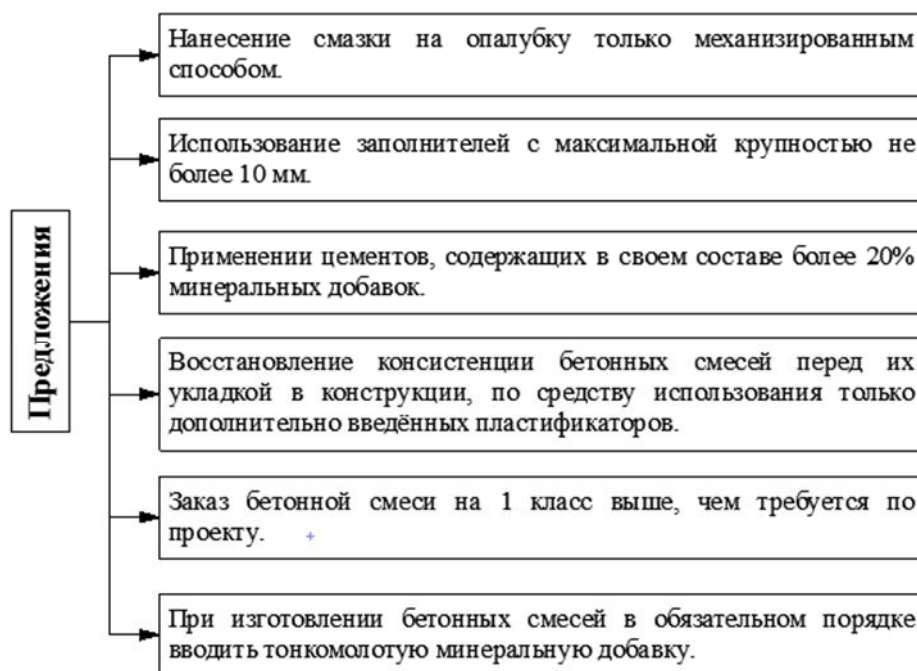


Рис. 3. Предложения по снижению дефектности монолитного строительства

В зимних климатических условиях необходимо обеспечить для бетона условия для протекания процесса его твердения и ускорение твердения, без риска повышения дефектности монолитных конструкций. Также желательно обеспечить критическую по морозостойкости прочность бетона на момент его замерзания.

Железобетонные конструкции для крупнопанельного дома производятся на заводе-изготовителе под четким контролем, за счет чего риск выпуска бракованной продукции минимален и величина человеческого фактора имеет минимальные значения, за счет использования автоматизированного и высокомеханизированного процесса производства.

Обеспечить аналогичный контроль на строительной площадке, где происходят основные строительные процессы по возведению монолитного здания достаточно сложно, приняв во внимание температурное воздействие и взаимодействие с окружающей средой.

За счет постоянной модернизации крупнопанельного домостроения, использования современных материалов и технологий, панельное здание можно возвести, вложив сравнительно небольшой объем финансовых инвестиций, уменьшив сроки строительства и с выполнением всех предъявляемых к зданию требований.

Одним из недостатков носящим отрицательный характер является попадание влаги в стыки крупнопанельных элементов, что влечет за собой деструктуризацию конструктивных элементов строительного продукта. Решение данной проблемы приведено в работе Варламова Л.А., Рыкова М.В. В работе «Конструктивные решения

крупнопанельных домов нового поколения» авторов Захаров А.В. и Леонтьева М.П. была разработана система крупнопанельного дома с продольными несущими стенами и составленными зигзагообразные стены, составленные из Г-образных панелей. Это планировочное решение позволит обеспечить не только свободу планировочных решений, но и установить максимальное количество этажей (до 17 этажей). Так же разработки в направлении унификации и повышении конструктивных критериев были приведены в работе Шогенова С.Х., Балова А.А., Афашагова Б.З. «Новые конструкции универсальных панелей зданий». Данные нововведения могут быть применены к крупнопанельному строительству. Недостаток невысокого теплотехнического показателя крупнопанельных элементов был решен и запатентован ЗАО «ТрастКапСтрой» Игнатовым А. В., Чуплашкиным Д.С. Так же в данном патенте рассмотрены конструктивные решения, результатом применения которых позволит повысить прочностные показатели при использовании минимальных объемов инвестиций и трудоемкости на этапах производства крупнопанельных элементов в промышленных аспектах. Основным недостатком крупнопанельного строительства является плохая звукоизоляция. Подобная проблема была рассмотрена в статье Ильин М.В., Досикова Ю.И. «Анализ звукоизоляционных характеристик трехслойных панелей с сотовым заполнителем». В этой работе было проведено лабораторное исследование панелей с сотовым заполнителем. Все возможные улучшения, предлагаемые в приведенных исследовательских трудах, носят положительный характер для отрасли

крупнопольного строительства в целом. Но любые изменения в конструкции панели ведут к неизбежным нововведениям и в производственные процессы изготовления строительной продукции. Данный вопрос рассмотрен в работе Граника Ю.Г., Полтавцева С.И. в которой описаны основные понятия технического перевооружения предприятия полносборного домостроения. Исследование вопросов дальнейшего развития технологических переделов в промышленном производстве крупнопанельных элементов на примере существующего предприятия описана в работе Е.Ф. Филатова.

Интеграция предложенных в научной литературе решений конструктивных физико-технических характеристик крупнопанельного строительства, позволит решить все выше обозначенные проблемы.

Проведем сравнительный анализ стоимостных показателей монолитного и панельного строительства на основе данных представленных в сборниках нормативов цены строительства – НЦС 81 02-01 2017 СБОРНИК №01. Жилые здания отдел 2. Объекты-представители, разделы 16 и 17 [6] (см. рис.4, рис.5).

Проанализировав информацию, представленную выше, можно сделать ряд выводов:

1) строительные работы нулевого цикла в панельном строительстве включают меньшее количество работ по сравнению с монолитным;

2) строительные-монтажные работы по возведению надземной части здания в панельном строительстве имеют более низкие трудозатраты и занимают меньше времени в сравнении с монолитным строительством;

3) количество используемых строительных машин и их использование в панельном строительстве меньше чем в монолитном;

4) стоимость 1 м² строительства объекта панельного строительства ниже, чем объекта монолитного строительства.

С методической точки зрения сравнение эффективности монолитного и крупнопанельного железобетонного многоэтажного строительства жилых зданий, независимо от применяемого метода сравнения, должно предполагать одинаковые условия изготовления, транспортировки и монтажа. Использование при сравнении различных условий и нормативов является распространенной причиной ошибочности методических подходов и как результат ошибки при принятии решений в строительстве.

На рис. 6 отражены расчетные условия изготовления и монтажа, принимаемые в качестве методической основы при формировании составных частей исходных информационных моделей при сравнении монолитного и крупнопанельного железобетонного многоэтажного строительства жилых зданий.

РАЗДЕЛ 16. ЖИЛЫЕ ЗДАНИЯ МНОГОКВАРТИРНЫЕ ПОВЫШЕННОЙ ЭТАЖНОСТИ (11-16 ЭТАЖЕЙ) ПАНЕЛЬНЫЕ

К таблице 01-01-016 Жилые здания повышенной этажности (11-16 этажей) панельные

01-01-016-01 Жилые здания повышенной этажности (11-16 этажей) панельные площадью на 17 300 м²

12-ти этажные жилые здания панельные с окраской площадью на 17283,9 м²

Показатели стоимости строительства

Ориентировочная продолжительность строительства 13 месяцев

№ п/п	Показатели	Стоимость на 01.01.2017, тыс. руб.
1	Стоимость строительства объекта	593 881,86
2	В том числе:	
2,1	Стоимость проектно-изыскательских работ	13 215,50
2,2	Стоимость технологического оборудования	-
3	Стоимость строительства на принятую единицу измерения	34,36
4	Стоимость приведённая на 1м ³ здания	-
5	Стоимость возведения фундаментов	-

Рис. 4. Извлечение из НЦС 81 02-01 2017 СБОРНИК №01. Жилые здания отдел 2. объекты-представители, раздел 16

**РАЗДЕЛ 17. ЖИЛЫЕ ЗДАНИЯ МНОГОКВАРТИРНЫЕ ПОВЫШЕННОЙ ЭТАЖНОСТИ
(11-16 ЭТАЖЕЙ) ИЗ ЛЕГКОБЕТОННЫХ БЛОКОВ С МОНОЛИТНЫМ КАРКАСОМ С
УСТРОЙСТВОМ ВЕНТИЛИРУЕМОГО ФАСАДА**

**Таблица 01-01-017 Жилые здания повышенной этажности (11-16 этажей) из
легкобетонных блоков с монолитным каркасом с устройством вентилируемого фасада
01-01-017-01 Жилые здания повышенной этажности (11-16 этажей) из ячеистобетонных
блоков с монолитным каркасом и устройством вентилируемого фасада
площадью на 17 300 м²
12-ти этажные жилые здания из ячеистобетонных блоков с монолитным каркасом с
устройством вентилируемого фасада площадью на 17280 м²**

Показатели стоимости строительства

Ориентировочная продолжительность строительства 18 месяцев

№ п/п	Показатели	Стоимость на 01.01.2017, тыс. руб.
1	Стоимость строительства объекта	743 650,36
2	В том числе:	
2,1	Стоимость проектно-изыскательских работ	16 509,04
2,2	Стоимость технологического оборудования	-
3	Стоимость строительства на принятую единицу измерения	43,04
4	Стоимость приведённая на 1м ³ здания	-
5	Стоимость возведения фундаментов	-

Рис. 5. Извлечение из НЦС 81 02-01 2017 СБОРНИК №01. Жилые здания отдел 2. объекты-представители, раздел 17



Рис. 6. Расчетные условия изготовления и монтажа, применяемые при методическом подходе сравнения монолитного и крупнопанельного многоэтажного строительства жилых зданий

Для сопоставления информации о стоимости и потребности в ресурсах, трудозатратах монолитного и крупнопанельного многоэтажного строительства жилых зданий, возможно использовать данные которые представлены в государственных элементных сметных нормативах (ГЭСН), данные сборники положены в основу единичных расценок, укрупненных норм, и содержат сопоставимую информацию по сравниваемым методам строительства.

Для более объективного сопоставления сравнения в методике возможно использовать показатель «трудозатраты на заводское изготовление единицы конструкции», который характе-

ризует денежное измерение затрат на изготовление единицы конструкции. Данный показатель может отличаться при различных условиях и технологиях, но его возможно использовать в качестве сравнительной характеристики.

Для обоснования эффективности и сравнения монолитного и крупнопанельного железобетонного многоэтажного строительства жилых зданий, в рамках предлагаемой методики, возможно применение следующих показателей: приведенные затраты на строительную площадь и объем; цена изготовления единицы конструкции, трудозатраты на изготовление.

В случае если на этапе проектирования место строительства или место изготовления не известны, то расчет транспортных расходов для методических целей целесообразно провести для условного расчетного расстояния и района перевозки.

В число основных параметров сравнения эффективности монолитного и крупнопанельного

железобетонного многоэтажного строительства жилых зданий следует включать показатель продолжительности строительства. На рис.7 представлены случаи, при которых целесообразно проводить сравнение по критерию «продолжительность строительства».

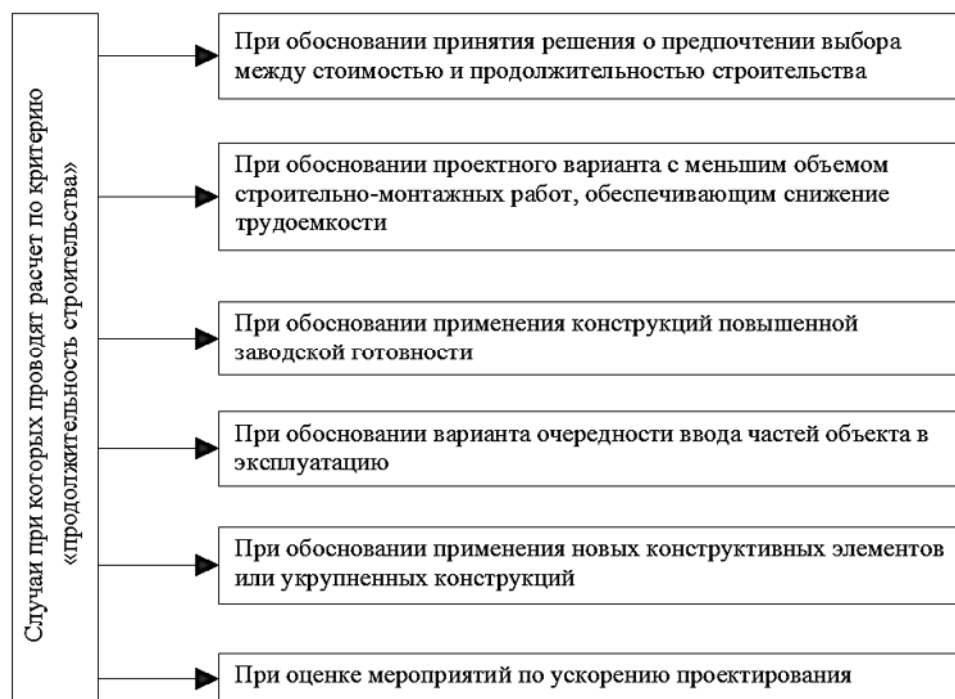


Рис. 7. Случаи целесообразности сравнения по критерию «продолжительность строительства»

Выделяют нормативную и фактическую продолжительность строительства [7]. В табл. 3 представлено сопоставление нормативных сро-

ков возведения здания при разных видах строительства монолитного и крупнопанельного железобетонного многоэтажного строительства.

Таблица 3

Сопоставление нормативных сроков возведения здания при разных видах строительства монолитного и крупнопанельного железобетонного многоэтажного строительства

Вид строительства	Нормативный срок возведения здания (мес.)				
	всего	Включая			
		подготовительный этап	подземная часть	надземная часть	отделка
- крупнопанельное	9	1	1,5	5	1,5
- монолитное	14	1	3	7	3

Представленная таблица наглядно демонстрирует преимущество крупнопанельного строительства, но при этом не учитываются сопоставимые сроки изготовления элементов крупнопанельного здания, что методически не верно.

Пример сравнения укрупненных ценовых показателей и показателей продолжительности крупнопанельного и монолитного строительства для жилых зданий высотой 17 этажей и площадью на 24483 м², приведены в табл. 4.

Проанализировав все представленные данные можно прийти к заключению, что при сравнении крупнопанельное строительство намного выгоднее, чем монолитное строительство жилого многоэтажного домостроения. Крупнопанельное строительство – наиболее благоприятное решение в том случае, когда цель строительства – предоставление большого объема жилой площади за короткий промежуток времени.

Таблица 4

Сравнение показателей строительно-монтажных работ по стоимости и продолжительности для жилых зданий высотой 17 этажей и площадью на 24483 м²

Виды строительства	Продолжительность строительства, мес.	Стоимость строительства объекта, тыс. руб.	Стоимость строительства на 1 м ² , тыс. руб.
Крупнопанельное здание	16	788 136,04	32,19
Монолитный железобетонный каркас	24	945 951,84	38,65

Проведенный анализ нормативно-законодательных актов в области строительства позволил сделать вывод о том, что в правовой системе регулирования строительства панельных зданий существует «вакуум». Анализ позволил выявить следующие нормативные документы, которые можно использовать для разработки единого положения (строительных правил) о панельном строительстве в России: ГОСТ 11024-2012, ГОСТ 11024-84, ГОСТ 12504-80. ГОСТ 11024-84 и ГОСТ 12504-80 вступили в силу в 1982 г. [8] Эти документы являются устаревшими и требуют актуализации с учетом современных потребностей в панельном строительстве.

Последние актуальные разработки этапов и технологий производства крупнопанельных элементов, а также нововведения в аспекте организации производства работ и демонтажу возведенных строительных объектов должны быть учтены в процессе создания и утверждения новых комплексов базовой юридической документации. Данная задача является основополагающей для организаций компетентных в вопросах деятельности связанной с нормативно-правовой базой.

Основой для разработки данного документа может стать СТО НОСТРОЙ 2.7.211-2016 «Крупнопанельные конструкции многоэтажных зданий. Правила производства работ по монтажу, контроль и требования к результатам работ». Данный СТО достаточно проработан, расписан и используется на стройплощадке, но как нормативный документ он не имеет юридической силы. Данный документ следует дополнить следующими разделами: правила применения строительных материалов; правила оснастки для монтажа конструкций; правила геодезических работ и выбора конструкций; правила производства строительно-монтажных работ; правила монтажа и демонтажа строительных конструкций; правила консервации и временного прекращения работ [9]. Для дальнейшей актуализации данного нормативного документа, возможно, использовать положения, представленные в: ГОСТ 27005-2014, ГОСТ 31309-2005, ГОСТ 15588-2014, ГОСТ 23009-2016, ГОСТ 34028-2016, ГОСТ 34028-2016, ГОСТ 25097-2002. Использование

вышеперечисленных документов в едином положении о панельном строительстве позволит учесть современные требования к применяемым конструктивным элементам. Так же необходимо включение в документ инновационных вариантов строительства панельных домов (введение нового конструктивного решения для строительства, использование новой конструкции стыков панелей, использование дополнительных добавок для улучшения свойств материала и т.д.) и использование новых более точных приборов и программных комплексов для измерения.

Несмотря на обширную научную базу, разработанную за последний период, немногие работы можно использовать в качестве основы для разработки единых правил. Нами рекомендуется использование работы «Конструктивные решения крупнопанельных домов нового поколения» авторов Захаров А.В. и Леонтьева М.П. Возможно использование разработанной системы крупнопанельного дома с продольными несущими стенами и составленными зигзагообразными стенами (составленные из Г-образных панелей), что позволяет установить максимальное количество этажей (до 17 этажей).

С разработкой единых правил на новое панельное строительство возникает необходимость разработки положений о реконструкции и модернизации, а также комплекса обязательных противоаварийных мероприятий, панельных зданий, которые достигли аварийного состояния.

Анализ применяемых технологических карт позволяет сделать вывод о проблеме производства нормативной документации для использования на собственных предприятиях, что нуждается в ограничении на федеральном законодательном уровне, для накопления и приумножении технологически актуального опыта производства работ и строительных материалов. Также необходимо ограничить разработку собственных стандартов предприятий, так как довольно часто они являются способом снижения требований к качеству выполняемых работ.

Выводы. У монолитного домостроения присутствует основной недостаток – в случае если при строительстве монолитного дома не следить

за качеством соблюдения технологических процессов, здание не будет отвечать предъявляемым к нему нормативным требованиям конструктивного характера и минимальным сроком эксплуатации. Основной задачей ставятся поиск новых решений по способам интенсификации монолитного жилищного строительства, огромное будущее за новыми вяжущими материалами.

Крупнопанельное домостроение, очень перспективно для производства в сфере жилого строительства. Однако необходимо радикально менять его технологии заводского изготовления строительной продукции, модернизировать крупные производимые объемы продукции.

У крупнопанельного домостроения имеются ряд преимуществ, такие как: низкая стоимость, водостойчивость, долговечность, огнеустойчивость и т.д. Однако они так же имеют ряд определенных недостатков: повышенная звуко- и теплопроводность, потребность в применении специализированных инструментов и т.д. Но несмотря на эти минусы не могут мешать данному виду домостроения быть самым востребованным среди существующих.

Однако тема обобщения самых перспективных конструктивных и планировочных решений крупнопанельного строительства требует дальнейшего рассмотрения для выработки эффективных решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Abakumov R.G., Avilova I.P., Ursu I.V., Kapustina E.O. Methodical Toolkit of Managing Reproduction of the Fixed Assets of an Organization // The Social Sciences. 2015. Vol. 10 (6). Pp. 1449-1455.
2. Abakumov R.G., Naumov A.E. Building information model: advantages, tools and adoption efficiency // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 11 (6). Pp. 22001.
3. СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003».
4. СП 54.13330.2016 «Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-01-2003».
5. СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003».
6. НЦС 81-02-01-2017. Укрупненные нормативы цены строительства. Сборник N 01. Жилые здания" (утв. Приказом Минстроя России от 13.06.2017 N 867/пр).
7. СНиП 1.04.03-85* «Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений».
8. Альтшуллер С.М., Вайман Е.Н. Рекомендации по технико-экономической оценке эффективности применения монолитного бетона при строительстве жилых домов в различных условиях. М.: ЦНТИ Госгражданстроя, 1970. 178 с.
9. СТО НОСТРОЙ 2.7.211-2016 «Крупнопанельные конструкции многоэтажных зданий. Правила производства работ по монтажу, контроль и требования к результатам работ».

Информация об авторах

Абакумов Роман Григорьевич, кандидат экономических наук, доцент экспертизы и управления недвижимостью. E-mail: Abakumov.RG@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Авилова Ирина Павловна, кандидат экономических наук, профессор кафедры экспертизы и управления недвижимостью. E-mail: infobelinvest2015@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Абакумова Марина Михайловна, старший преподаватель кафедры русского языка и деловых коммуникаций. E-mail: abakumovRG2000@mail.ru. Белгородского университета кооперации, экономики и права. Россия, 308000, Белгородская область, г. Белгород, ул. Садовая, д. 118.

Анисимов Сергей Александрович, магистр. E-mail: infobelinvest@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в августе 2019 г.

© Абакумов Р.Г., Авилова И.П., Абакумова М.М., Анисимов С.А., 2019

^{1,*}Abakumov R.G., ¹Avilova I.P., ²Abakumova M.M., ¹Anisimov S.A.

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

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

²Belgorod University of Cooperation, Economics and Law

Russia, 308000, Belgorod, st. Sadovaya, 118

*E-mail: Abakumov.RG@bstu.ru

ONTOLOGY OF RESEARCH EFFICIENCY AND PROSPECTS OF LARGE-PANEL AND MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTION OF RESIDENTIAL OBJECTS

Abstract. The article is devoted to the issues of ontology, research of the effectiveness and prospects of large-panel and monolithic reinforced concrete construction of residential objects. Increasing demands on the effectiveness of multi-story housing construction determine the relevance of this study. Methodological foundations of substantiation and a comparative analysis of the effectiveness of monolithic and large-panel reinforced concrete multi-story construction are considered; prospects for the development of these housing technologies are justified. The article presents an analysis of the pros and cons of monolithic and large-panel reinforced concrete multi-storey construction of residential buildings, a comparative analysis of the processes of organization and technology of construction works. The problems of large-panel and monolithic construction are ranked according to the level of their materiality, measures to improve construction technologies are proposed. The comparative analysis of cost indicators of monolithic and panel construction on the basis of the data presented in collections of standards of the price of construction is presented. The need to introduce and update the normative documentation having legal force for regulation of the basic provisions of the modern improved large-panel construction is proved. Attention is paid to the design conditions for the manufacture and installation of the monolithic and large-panel multi-storey construction of residential buildings used in the methodological approach. Cases of expediency of comparison on criterion "duration of construction" are analyzed. The article proposes an original methodological approach for evaluating the effectiveness of monolithic and large-panel construction, taking into account the conditions and nature of the uncertainty of the initial data, which will justify the choice of the most effective options for the construction of multi-storey housing construction.

Keywords: ontology of research, large-panel construction, monolithic construction, technology efficiency, development prospects, housing construction.

REFERENCES

1. Abakumov, R. G., Avilova, I. P., Ursu, I. V., Kapustina, E. O. Method of the Fixed Assets of the Organization. The Social Sciences. 2015. Vol. 10 (6). P. 1449–1455.
2. Abakumov R.G., Naumov A.E. Building information model: advantages, tools and adoption efficiency. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 11 (6). Pp. 22001.
3. SP 63.13330.2012 Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions. Updated edition of SNiP 52-01-2003. [Betonny'e i zhelezo-betonny'e konstrukcii. Osnovny'e polozeniya. Aktualizirovannaya redakciya SNiP 52-01-2003]. (rus)
4. SP 54.13330.2016 Residential multi-apartment buildings. Updated edition of SNiP 31-01-2003. [Zdaniya zhily'e mnogokvartirny'e. Aktualizirovannaya redakciya SNiP 31-01-2003]. (rus)
5. SP 63.13330.2012 Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions. Updated edition of SNiP 52-01-2003. [Betonny'e i zhelezo-betonny'e konstrukcii. Osnovny'e polozeniya. Aktualizirovannaya redakciya SNiP 52-01-2003]. (rus)
6. NCC 81-02-01-2017. Integrated construction price standards. Collection No. 01. Residential buildings "(approved. By the order of the Ministry of Construction of Russia of 13.06.2017 N 867 / pr). [Ukrupnenny'e normativy` ceny` stroitel'stva. Sbornik N 01. Zhily'e zdaniya" (utv. Prikazom Ministroya Rossii ot 13.06.2017 N 867/pr)]. (rus)
7. SNiP 1.04.03-85 * Standards for the duration of construction and the backlog in the construction of enterprises, buildings and structures. [Normy` prodolzhitel'nosti stroitel'stva i zadela v stroitel'stve predpriyatij, zdaniy i sooruzhenij]. (rus)
8. Altshuller S.M., Vayman E.N. Recommendations for a feasibility study of the effectiveness of cast concrete in the construction of residential buildings in various conditions [Rekomendacii po tekhniko-e`konomicheskoy ocenke e`ffektivnosti primeneniya monolitnogo betona pri stroitel'stve zhily'x domov v razlichny'x usloviyax] M.: CzNTI Gosgrazhdanstroya, 1970. 178 p. (rus)
9. STO NOSTROY 2.7.211-2016 Large-panel structures of multi-storey buildings. Rules for the production of installation works, control and requirements for the results of work. [Krupnopanel'ny'e konstrukcii mnogoe'tazhny'x zdaniy. Pravila proizvodstva rabot po montazhu, kontrol' i trebovaniya k rezul'tatam rabot]. (rus)

Information about the authors

Abakumov, Roman G. Assistant professor. E-mail: Abakumov.RG@bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Avilova, Irina P. PhD, Professor. E-mail: abakumovRG2000@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Abakumov, Marina M. Senior teacher. E-mail: abakumovRG2000@mail.ru. Belgorod University of Cooperation, Economics and Law Russia, 308000, Belgorod region, Belgorod, ul. Sadovaya, 118

Anisimov, Sergei A. Master. E-mail: infobelinvest@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in August 2019

Для цитирования:

Абакумов Р.Г., Авилова И.П., Абакумова М.М., Анисимов С.А. Онтология исследования эффективности и перспектив крупнопанельного и монолитного железобетонного строительства жилых объектов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 10. С. 40–52. DOI: 10.34031/article_5db33b395b0bb8.51040783

For citation:

Abakumov R.G., Avilova I.P., Abakumova M.M., Anisimov S.A. Ontology of research efficiency and prospects of large-panel and monolithic reinforced concrete construction of residential objects. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 10. Pp. 40–52. DOI: 10.34031/article_5db33b395b0bb8.51040783

DOI: 10.34031/article_5db33cb3df07b2.38930529

Тирон О.В., Попов Е.Н.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова**Россия, 306012, г. Белгород, ул. Костюкова д. 46.***E-mail: tiron.oleg@yandex.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДУШНОГО РЕЖИМА КВАРТИР В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕКОНСТРУКЦИИ

Аннотация. Недостаточный воздухообмен квартир в газифицированных многоквартирных жилых зданиях, а также нарушение воздушного баланса квартиры при использовании механической вентиляции могут послужить причинами образования и скопления угарного газа. Данная работа направлена на изучение воздухообмена квартир в многоквартирных жилых домах при установке в них кухонных вытяжек, а также недостаточной воздухопроницаемости окон в ПВХ (поли-винил-хлоридных) переплетах в холодный период года. Аналитические вычисления и натурный эксперимент проводился в двух квартирах с установленной кухонной вытяжкой и без нее. Определены расчетные воздухообмены, фактические воздухообмены «как есть», т.е. в режиме обычной эксплуатации жильцами и в условно максимальном режиме эксплуатации при открытых форточках. Приведенное сравнение результатов аналитических вычислений с экспериментальными данными показывает недостаточную воздухопроницаемость ПВХ окон для поддержания необходимого воздухообмена естественной вентиляции. Так же становится очевидным два способа увеличения воздухообмена: регламентируемое, но «не удобное» для жильцов открывание форточек и не предусмотренное нормативно, но популярное «в народе» – установка механических вытяжек. При этом применение механических вытяжек может повлечь нарушения в работе системы естественной вентиляции.

Ключевые слова: вентиляция, естественная вентиляция, воздухообмен, ПВХ окна, кухонная вытяжка.

Введение. Микроклимат жилых помещений зависит главным образом от правильной работы системы вентиляции квартиры [1, 2]. Система естественной вентиляции квартиры включает в себя как обычные форточки с вентиляционными решетками, так и менее очевидные щели в окнах, стенах и входных дверях, просветы под межкомнатными дверьми, вентиляторы в кухонных вытяжках и туалетах вашей квартиры и ваших ближайших соседей, их открытые форточки, а также температуру, скорость и направление ветра на улице, и конечно конструкцию, архитектуру и этажность всего здания и даже расположение и высоты соседних зданий [3].

Все эти элементы находятся в хрупком и постоянно меняющемся равновесии. При неграмотном вмешательстве в это равновесие система вентиляции может начать хуже работать (застаивание воздуха, повышение влажности) или начать работать неправильно (перетекания запахов от соседей). При наихудшем стечении обстоятельств неправильная работа системы вентиляции может послужить причиной различных заболеваний или стать смертельно опасной при образовании угарного газа.

В процессе эксплуатации квартир, жильцы часто производят ремонты, модернизацию системы вентиляции здания. Наиболее часто встречается установка окон в ПВХ переплетах, установка кухонной вытяжки и вентилятора в санузле, а также установка межкомнатных дверей.

Это оказывает негативное влияние на работу всей системы, в результате которого воздухообмен квартиры уменьшается. Таким образом, собственник несет ответственность за работоспособность системы вентиляции как своей квартиры, так и квартир соседних [4].

Иногда за существующими проблемами, стоят не зависящие от жильца причины. Такими причинами являются ошибки при строительстве и невыполнение существующих норм. Например, недостаточное утепление технического этажа, засорение канала строительным мусором или объединение вытяжек из нескольких квартир одним каналом.

Проблемам поиска путей улучшения работы естественной вентиляции последнее время уделяется все большее внимание [5, 6].

В данной работе будет рассмотрено натурное исследование воздухообмена двух квартир: квартиры № 1 с естественной вентиляцией и квартиры № 2, где установлены механические побудители – кухонная вытяжка и вентилятор в санузле.

Оборудование и методика измерений параметров микроклимата.

Внутренняя температура и скорость воздуха измерялась при помощи термоанемометра Testo 405-V1, измерения производились согласно ГОСТ [7] в 12 точках, после чего осреднялись (рис. 1). Наружная температура определялась при

помощи спиртового термометра. Разность давлений между помещением и улицей находилась при помощи дифференциального манометра Testo

510 в соответствии с ГОСТ [8]. Влажность воздуха измерялась психрометром Асмана [9].



Рис. 1. Измерение расхода воздуха с помощью измерительного насадка

Основная часть. Свод правил СП 54.13330.2016 – «Здания жилые многоквартирные» [10] рекомендует схему воздухообмена квартиры, при которой свежий наружный воздух поступает через неплотности наружных ограждений (окон) преимущественно жилых комнат и удаляется через вытяжные решетки наиболее загрязненных помещений – туалетов, кухонь и ванных комнат. Расчетный воздухообмен квартиры принимается большей из двух величин: суммарной нормы вытяжки из туалетов, кухонь и ванных комнат или нормы притока свежего воздуха на каждый м^2 жилой площади.

В соответствии с табл. 9.1 СП 54.13330.2016 – «Здания жилые многоквартирные», значения воздухообмена: для кухни при электрической плите $60 \text{ м}^3/\text{ч}$, а для кухни с газовой плитой – $100 \text{ м}^3/\text{ч}$, для ванной, туалета или совмещенного санузла – $25 \text{ м}^3/\text{час}$, для кладовой принимается кратность воздухообмена $0,2 \text{ ч}^{-1}$. Воздухообмен в жилых комнатах принимается из расчета $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ на м^2 площади.

При этом следует обратить внимание, что в устаревшем, но «исходном» нормативе СНиП 31-01-2003 – Здания жилые многоквартирные [11] содержалась рекомендация определять расчетный воздухообмен кухни с газовой плитой как однократный воздухообмен кухни плюс $100 \text{ м}^3/\text{ч}$. Данная норма «традиционно» применяется некоторыми проектировщиками и дает несколько больший расчетный расход воздуха.

Квартира № 1 находится на 2 этаже 10 этажного панельного жилого дома. Имеет 2 комнаты и 3 окна, общая площадь 58 м^2 , отдельный санузел. Квартира оснащена тремя вентканалами. На кухне квартиры имеется вентиляционный канал размером $0,15 \times 0,17$ с решеткой, площадь сечения которой равна $0,025 \text{ м}^2$. В ванной комнате и санузле так же имеются каналы $0,18 \times 0,25 \text{ м}$, с решетками площадью $0,045 \text{ м}^2$. Межкомнатные двери в ванную и санузел подрезов и вентиляционных отверстий не имеют (рис. 2). Дверь на кухню отсутствует.

Расчетные воздухообмены помещений квартиры № 1 представлены в таблице 1.



Рис. 2. Межкомнатная дверь без подреза

Таблица 1

Расчётный воздухообмен помещений квартиры № 1

№	Помещение	Температура t , °C	Площадь S , м ²	Объём V , м ³	Норма воздухообмена	Лп, м ³ /ч	Лу, м ³ /ч
1	Комната № 1	24,8	17,99	48,57	3 м ³ /ч на 1 м ²	53,97	
2	Комната № 2	24,9	18,02	48,65	3 м ³ /ч на 1 м ²	54,06	
3	Кухня	25	8,9	24,03	100 м ³ /ч	–	100
4	С/у	25,1	0,98	2,64	25 м ³ /ч	–	25
5	Ванная	24,5	2,49	6,723	25 м ³ /ч	–	25
6	Коридор	25,1	9,6	25,92	–	–	
Сумма						108	150

Таким образом расчетный воздухообмен квартиры составит 150 м³/ч

На момент эксперимента в квартире № 1 параметры внутреннего воздуха составили: температура +23 °C, влажность 48 %. Параметры наружного воздуха составили: температура -1 °C, влажность 90 %, скорость ветра 6 м/с, ветер юго-западный.

Измерения производились в два этапа. Первый этап проводился при закрытых окнах и открытых межкомнатных дверях, а также открытых окнах, и дверях, для определения работоспособности вентиляционных каналов. Второй этап: при закрытых окнах и закрытых межкомнатных

дверях, а также открытых окнах, и закрытых дверях, для уточнения влияния на воздухообмен межкомнатных дверей. Результаты замеров представлены в таблице 2.

Разность давлений между помещением и улицей определялась при помощи дифференциального манометра Testo 510 путем высверливания отверстия в переплете ПВХ окна и установки в него штуцера. Замеры проводились по наименьшим значениям в момент затишья ветра. Измеренная разность давлений между помещением и улицей составляет 15 Па.

Расчетное гравитационное давление на момент эксперимента составило 26 Па.

Таблица 2

Замеренный воздухообмен помещений квартиры № 1

Помещение	Условия	Измеренный расход, м ³ /ч
Сан. узел	Дверь открыта, окно закрыто	60
	Дверь закрыта, окно закрыто	51
	Дверь открыта, окно открыто	203
	Дверь закрыта, окно открыто	84
Ванная комната	Дверь открыта, окно закрыто	39
	Дверь закрыта, окно закрыто	28
	Дверь открыта, окно открыто	130
	Дверь закрыта, окно открыто	82
Кухня	Окно открыто	219
	Окно закрыто	60
Суммарно	Минимум	139
	Максимум	553

Из таблицы 2 видно, что при закрытых окнах расход воздуха в сумме составит 139 м³/ч, что на 36 % меньше требуемого значения. Воздухопроницаемости окон в ПВХ переплете недостаточно для удовлетворительной работы системы естественной вентиляции. В случае, когда окно находится в режиме микропроветривания (благодаря «гребёнке»), суммарный расход воздуха составит 553 м³/ч. Следовательно, можно сделать вывод, что вентиляционные каналы находятся в рабочем состоянии, а режима микропроветривания окна (с пятикратным запасом) достаточно для обеспечения необходимого воздухообмена квартиры.

Квартира № 2 находится на 6 этаже 10-этажного панельного жилого дома. Имеет 2 комнаты и 3 балкона, общая площадь 56 м², совмещенный санузел. Квартира оснащена двумя вентканалами. На кухне квартиры № 2 имеется вентиляционный канал размером 0,15×0,17 с решёткой, площадь сечения которой равна 0,025 м². В санузле так же имеется канал 0,16×0,16 м, с решётками площадью 0,026 м². Межкомнатные двери в санузел подрезов и вентиляционных отверстий не имеют. Дверь на кухню отсутствует. В квартире № 2 установлена кухонная вытяжка марки

Elikor Интегра 60Н-400-В2Л с мощностью двигателя 210 Вт и развиваемым давлением 110 Па, (рис. 3, а), а также бытовой вентилятор в канале

санузла диаметром 100 мм, мощностью 14 Вт и развиваемым давлением 140 Па (рис. 3, б).

а)



б)

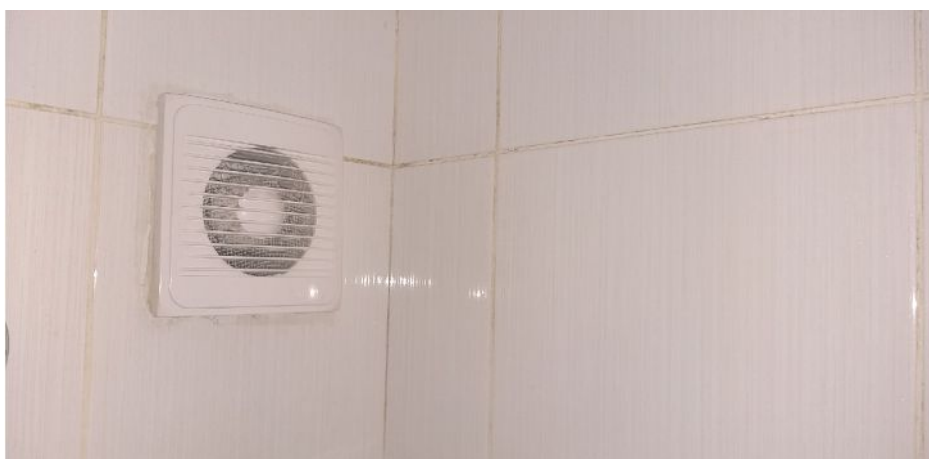


Рис. 3. Системы механической вентиляции квартиры №2: а) кухонная вытяжка, б) вытяжной вентилятор в санузле

Расчётные воздухообмены помещений квартиры № 2 представлены в таблице 3.

Таблица 3

Расчётный воздухообмен помещений квартиры № 2

№	Помещение	Температура $t, ^\circ\text{C}$	Площадь $S, \text{м}^2$	Объем $V, \text{м}^3$	Норма воздухообмена	Лп, $\text{м}^3/\text{ч}$	Лу, $\text{м}^3/\text{ч}$
1	Комната №1	27,2	20,63	55,701	3 м ³ /ч на 1 м ²	61,89	-
2	Комната №2	26,9	17,34	46,818	3 м ³ /ч на 1 м ²	52,02	-
3	Кухня	25,5	8,9	24,03	100 м ³ /ч	—	100
4	Совмещенный с/у	27,2	4	10,8	25 м ³ /ч	—	25
5	Коридор	26,7	5,76	15,552	—	—	—
Сумма						114	125

Таким образом расчетный воздухообмен квартиры составит 125 м³/ч

На момент эксперимента в квартире № 2 параметры внутреннего воздуха составили: температура +24 °С, влажность 56 %. Параметры наружного воздуха составили: температура +1 °С, влажность 94 %, скорость ветра 4 м/с, ветер северо-восточный.

Измеренная разность давлений между помещением и улицей составляет 10 Па. Расчетное гравитационное давление на момент эксперимента составило 17 Па.

Результаты замеров представлены в таблице 4.

Таблица 4

Замеренный воздухообмен помещений квартиры № 2

Помещение	Условия	Полученный расход, м³/ч
Совмещённый С/у	Дверь открыта, окно закрыто	91
	Дверь закрыта, окно закрыто	80
	Дверь открыта, окно открыто	134
	Дверь закрыта, окно открыто	109
	Вентилятор включен, окно открыто	181
	Вентилятор выключен, окно открыто	109
Кухня	Окно открыто	307
	Окно закрыто	92
Суммарно	Минимум	172
	Максимум	488

Из таблицы 4 видно, что при закрытых окнах расход воздуха в сумме составит 172 м³/ч, что на 47 м³/ч больше требуемого значения. Воздухопроницаемости окон в ПВХ переплете в данном случае достаточно для удовлетворительной работы системы естественной вентиляции. При переводе окна в режим микропроветривания, суммарный расход воздуха возрастает в 4 раза и составляет 488 м³/ч. Следовательно, можно сделать вывод, что вентиляционные каналы также находятся в рабочем состоянии. Так же видно, что состояние межкомнатных дверей не оказывают существенного воздействия на воздухообмен квартиры.

Включение вентилятора в санузле существенно увеличивает воздухообмен, но в то же время в случае, если он не работает, то он оказывает пагубное влияние, создавая аэродинамическое сопротивление и уменьшая воздухообмен.

На данный момент широко распространена установка и использование в квартирах механических побудителей – вентиляторов в санузлах, кухонных вытяжек. Однако, установленный с систему естественной вентиляции многоквартирного жилого дома вентилятор негативно влияет на системы вентиляции соседних квартир, а может и всего дома в целом. Так давление вентилятора кухонной вытяжки в 6,5 раз больше гравитационного давления, что вполне вероятно может вызвать опрокидывание или «запирание» тяги в каналах соседних квартир. Наиболее опасной является ситуация, при которой работающий вентилятор может создать разряжение в квартире, способное вызвать образование угарного газа.

Выводы. Наше исследование подтвердило недостаточность воздухопроницаемости ПВХ окон для поддержания необходимого воздухообмена естественной вентиляции. Так же становится очевидным два способа увеличения воздухообмена: регламентируемое, но "не удобное" для жильцов открывание форточек и не предусмотренное нормативно, но популярное «в народе» – установка механических вытяжек. При

этом применение механических вытяжек может повлечь нарушения в работе системы естественной вентиляции.

Когда вентиляция в помещении работает в пределах нормы, то наиболее верным решением, будет не вмешиваться в правильно работающую систему. Если в помещении при этом установлены пластиковые окна, то как правило требуется (при включении газоиспользующих приборов обязательно) дополнительно обеспечить приток свежего воздуха. Приток свежего воздуха без нарушения ощущения комфорта помещения возможно обеспечить различными способами, например, установкой ограничителей микропроветривания, автоматических приточных клапанов в ПВХ переплет – Air-Box, Aereco.

Важным является установка дверей, снабженных вентиляционными щелями, через которые воздух будет попадать из жилых комнат в туалет и ванную. А также необходимо раз в несколько лет совершать прочистку вентиляционных каналов и решеток.

В перспективе необходимо выявить степень влияния уменьшения воздухообмена квартир на параметры микроклимата в них.

Источник финансирования. Грант Российского научного фонда (проект №18-79-10025).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ливчак И.Ф., Наумов А.Л. Вентиляция многоэтажных жилых зданий. АВОК–ПРЕСС. 2005. 134 с.
2. Шопина Н.А. Вентиляция для многоэтажных жилых зданий. АВОК–ПРЕСС. 2011. 22 с.
3. Китайцева Е.Х., Малявина Е.Г. Естественная вентиляция жилых зданий. АВОК–ПРЕСС 2010. 19 с.
4. Правила пользования газом в быту, утвержденные Приказом ВО «Росстройгазификация» при Совете Министров РСФСР № 86-П от 26.04.90г.
5. Сизенко О.А. «Совершенствование методики расчета систем естественной вентиляции

жилых зданий с теплыми чердаками» кандидат технических наук 05.23.03 / Сизенко Ольга Александровна; – Тольятти, 2010. 19 с.

6. Ливчак И.Ф., Мелик-Аракелян Т.А. Особенности вентиляции высотных жилых домов АВОК–ПРЕСС 2010. 16 с.

7. ГОСТ 17.2.4.06-90 Методы определения скорости и расхода газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения

8. ГОСТ 17.2.4.07-90 Методы определения давления и температуры газопылевых потоков,

отходящих от стационарных источников загрязнения

9. Рогов В.А., Позняк Г.Г. Методика и практика технических экспериментов: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр "Академия", 2005. 288 с.

10. СП 54.13330.2016. Здания жилые многоквартирные.

11. СНиП 31-01-2003. Здания жилые многоквартирные.

Информация об авторах

Ти́рон Оле́г Викто́рович, студент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: tiron.oleg@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308031, Белгород, ул. Будённого 14 «В».

Попов Евге́ний Никола́евич, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: evg-popov@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в июле 2019 г.

© Ти́рон О.В., Попов Е.Н., 2019

***Tiron O.V., Popov E.N.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

**E-mail: tiron.oleg@yandex.ru*

RESEARCH OF APARTMENTS' AIR REGIME IN THE PROCESS OF OPERATION AND RECONSTRUCTION

Abstract. *Insufficient air exchange of apartments in gasified apartment residential buildings, as well as an apartment's air balance when using mechanical ventilation can cause the formation and accumulation of carbon monoxide. This work is aimed at studying the air exchange of apartments when installing kitchen hoods in apartment buildings, as well as insufficient air permeability of windows in PVC (Polyvinyl chloride) bindings during the cold season. Analytical calculations and a full-scale experiment are carried out in two apartments with and without kitchen hood. The calculated air exchanges, actual air exchanges are determined: in normal operation by tenants and in conditionally maximum operating mode with open windows. The comparison of the results of analytical calculations with experimental data shows insufficient air permeability of PVC windows to maintain the necessary air exchange of natural ventilation. It becomes obvious that there are two ways to increase air exchange: regulated - opening vents and non-normative – installation of mechanical hoods. At the same time, the use of mechanical hoods can disrupt the operation of the natural ventilation system.*

Keywords: *ventilation, natural ventilation, air exchange, PVC windows, kitchen hood.*

REFERENCES

1. Livchak I.F., Naumov A.L. Ventilation of high-rise residential buildings [Ventilyatsiya mnogoetazhnykh zhilykh zdaniy]. AVOK–PRESS 2005. 134 p. (rus).

2. Shopina N.A. Ventilation for multi-storey residential buildings [Ventilyatsiya dlya mnogoetazhnykh zhilykh zdaniy] ABOK–PRESS 2011. 22 p. (rus).

3. Kitaytseva E.H., Malyavina E.G. Natural ventilation of residential buildings [Estestvennaya Ventilyatsiya zhilykh zdaniy]. AVOK–PRESS 2010.

19 p. (rus)

4. The rules for the use of gas in everyday life, [Pravila poljzovaniya gazom v bytu] approved by the Order of the Vostoyaniye Rosstroygazifikation under the RSFSR Council of Ministers No. 86-P dated April 26, 1990 (rus)

5. Sizenko O.A. Improving the method of calculating natural ventilation systems for residential buildings with warm attics [Sovershenstvovanie metodiki rascheta system estestvennoj ventilyatsii zhilykh zdaniy s teplymi cherdakami] Ph.D. 05.23.03 - Tolyatti, 2010. 19 p. (rus)

6. Livchak I.F., Melik-Arakelyan T.A. Peculiarities of ventilation of high-rise residential buildings [Osobennosti ventilyatsii vysotnykh zhilykh domov]. ABOK–PRESS. 2010. 16 p. (rus).

7. State standard 17.2.4.06-90 Methods for determining the speed and flow rate of gas and dust flows from stationary sources of pollution [Metody opredeleniya skorosti i rashoda gazopylevykh potokov, othodyaschikh ot statsionarnykh istochnikov zagryazneniya]. (rus)

8. State standard 17.2.4.07-90 Methods for determining the pressure and temperature of gas and dust flows coming from stationary sources of

pollution. [Metody opredeleniya davleniya i temperatury gazopylevykh potokov, othodyaschikh ot statsionarnykh istochnikov zagryazneniya]. (rus)

9. Rogov V.A., Poznyak G.G. Technique and practice of technical experiments: Textbook. allowance for stud. higher studies. institutions [Metodika i praktika tekhnicheskikh eksperimentov] M.: Publishing Center "Academy", 2005. 288 p. (rus)

10. Set of rules 54.13330. 2016 Residential apartment Buildings [Zdaniya zhilye mnogokvartirnye]. (rus)

11. SNiP 31-01-2003 Residential apartment buildings [Zdaniya zhilye mnogokvartirnye]. (rus)

Information about the authors

Tiron, Oleg V. Student. E-mail: tiron.oleg@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Popov, Evgeny N. Senior lecturer. E-mail: evg-popov@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in July 2019

Для цитирования:

Тирон О.В., Попов Е.Н. Исследование воздушного режима квартир в процессе эксплуатации и реконструкции // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 10. С. 53–59. DOI: 10.34031/article_5db33cb3df07b2.38930529

For citation:

Tiron O.V., Popov E.N. Research of apartments' air regime in the process of operation and reconstruction. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 10. Pp. 53–59. DOI: 10.34031/article_5db33cb3df07b2.38930529

DOI: 10.34031/article_5db3db3a9cb6a3.99321784

*Суслов Д.Ю., Рамазанов Р.С., Лобанов И.В.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

*E-mail: suslov1687@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В КОРПУСЕ ИНЖЕКЦИОННОЙ ГОРЕЛКИ С ТЕПЛОВЫМ РАССЕКATEЛЕМ

Аннотация. Статья посвящена разработке конструкции инжекционной горелки низкого давления, оснащенной тепловым рассекателем и исследованию процесса распределения концентрации метана и скорости газозвоздушной смеси в корпусе горелки. Для исследования процесса образования газозвоздушной среды в корпусе горелки разработанной конструкции использовали программный комплекс моделирования Solid Works Flow Simulation. Разработана конструкция инжекционной горелки низкого давления с тепловым рассекателем конической формы. Размещение рассекателя в корпусе горелки обеспечивает предварительный подогрев газозвоздушной смеси и позволяет повысить скорость распространения пламени. Выполнено компьютерное моделирование процесса образования газозвоздушной смеси в корпусе горелки для 3 конструкций горелок: без рассекателя, с рассекателем длиной 11 мм и рассекателем длиной 25,5 мм. В результате моделирования установлено, что размещение рассекателя длиной $L=11$ мм не влияет на распределение метана и скорость газозвоздушной смеси в корпусе горелки и на выходе из огневых отверстий. Увеличение длины рассекателя до 25,5 мм приводит к росту скорости газозвоздушной смеси и повышению концентрации метана в огневых отверстиях. Следовательно, оптимальным решением повышения эффективности и стабильности процесса горения является размещение в корпусе горелки теплового рассекателя длиной 11 мм.

Ключевые слова: газоснабжение, горение, горелка, инжекция, моделирование, концентрация метана, скорость газозвоздушной смеси.

Введение. В Российской Федерации основным видом топлива является природный газ, который занимает первое место в топливно-энергетическом балансе страны. Доля природного газа составляет 40 % в балансе источников энергии РФ [1]. Большая часть потребляемого в РФ природного газа (58,3 %) используется коммунально-бытовыми и промышленными потребителями. Уровень газификации страны составляет 68,1 %, из них 71,4 % в городах и 58,7 % в сельской местности [2]. Несмотря на высокий уровень газификации страны, системы газоснабжения и газораспределения продолжают активно развиваться. Основные направления развития системы газоснабжения России заключаются в модернизации существующих систем газораспределения и использовании альтернативных источников энергии (сжиженного природного газа, компримированного природного газа и сжиженного углеводородного газа) [3]. Одним из перспективных направлений развития систем газоснабжения является развитие систем газопотребления, заключающееся в повышении эффективности процесса горения и разработке высокоэффективного газоиспользующего оборудования, основным элементом которого является горелочное устройство. В настоящее время разработка газогорелочных устройств осуществляется в следующих направлениях: использование современных материалов; применение устройств, улучшающих образование газозвоздушной смеси и применение

элементов, обеспечивающих предварительный нагрев газозвоздушной смеси в корпусе горелки [4–8].

Горение газообразного топлива включает следующие стадии: смешение газа с воздухом, подогрев газозвоздушной смеси, термическое разложение горючих газов, воспламенение и химическое соединение горючего с кислородом воздуха [9–11]. Смешение газа с воздухом и подогрев газозвоздушной смеси являются начальными этапами процесса горения и оказывают значительное влияние на эффективность процесса горения и тепловую мощность газового оборудования. Следовательно, актуальным является разработка конструкции инжекционной горелки низкого давления, оснащенной тепловым рассекателем и исследование процесса образования и распределения газозвоздушной смеси в корпусе горелки и на выходе из огневых отверстий.

Методы, оборудование, материалы. Для описания движения газозвоздушной смеси в корпусе горелки будем использовать уравнения неразрывности и Навье–Стокса, осредненные по времени (уравнения Рейнольдса):

$$\frac{du_j}{dx_j} = 0 \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \Pi_{ij} \quad (2)$$

где $i, j=1, 2, 3$; $u_1=ux$; $u_2=uy$; $u_3=uz$ – осредненные по времени проекции вектора скорости; P – осредненное значение давления; Π_{ij} – тензор турбулентных напряжений.

Тензор турбулентных напряжений, возникающих в газозвушном потоке определяется выражением:

$$\Pi_{ij} = -\rho \langle u'_i u'_j \rangle, \quad (3)$$

где u'_i , u'_j – турбулентные пульсации проекций скорости газозвушной среды, $\langle \dots \rangle$ – знак осреднения.

Учитывая вихревой режим движения газозвушной среды в корпусе горелки и на выходе из огневых отверстий, принимаем к-ε модель турбулентности.

Тензор турбулентных напряжений к-ε модели определяется выражением:

$$\Pi_{ij} = -\rho \left(\frac{2}{3} \kappa \delta_{ij} - \nu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right), \quad (4)$$

где κ – турбулентная кинетическая энергия; ϵ – скорость диссипации турбулентной энергии; ν_t – коэффициент кинетической турбулентной вязкости; δ_{ij} – символ Кронекера.

Для исследования процесса образования газозвушной среды в корпусе горелки разработанной конструкции будем использовать программный комплекс моделирования Solid Works Flow Simulation. Методы компьютерного моделирования получили широкое применение для исследования процесса горения газообразного топлива [12–15].

Результаты и обсуждение. Разработана конструкция инжекционной горелки низкого давления, оснащенная тепловым рассекателем (рис. 1). Основными элементами газовой горелки являются: сопло, камера смешения, отверстия выхода газозвушной смеси, тепловой рассекатель и регулятор подачи первичного воздуха.

Новизна данной конструкции заключается в использовании теплового рассекателя кониче-

ской формы, при этом присоединение рассекателя к крышке горелки выполняется под плавным углом с радиусом изгиба равным длине рассекателя. Это способствует стабилизации потоков газозвушной смеси в корпусе горелки и приводит к снижению потерь давления. Применение рассекателя оригинальной формы обеспечивает предварительный подогрев газозвушной смеси за счёт процесса теплопередачи от пламени через рассекатель к газозвушной смеси. В работе [16] авторами установлено, что предварительный подогрев газозвушной смеси позволяет повысить скорость распространения пламени и температуру горения.

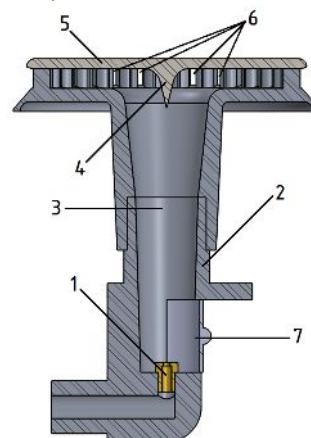


Рис. 1. Модель инжекционной горелки с тепловым рассекателем: 1 – сопло; 2 – корпус горелки; 3 – камера смешения; 4 – тепловой рассекатель; 5 – крышка горелки; 6 – огневые отверстия; 7 – регулятор подачи первичного воздуха

В результате компьютерного моделирования были получены визуальные картины распределения концентрации метана и скорости газозвушной смеси в корпусе горелки и на выходе из огневых отверстий. При этом замеры концентраций и скорости газозвушной смеси производились на 7 разных участках горелки (рис. 2).

Результаты моделирования распределения скорости газозвушной смеси в корпусе горелки представлены на рис. 3.

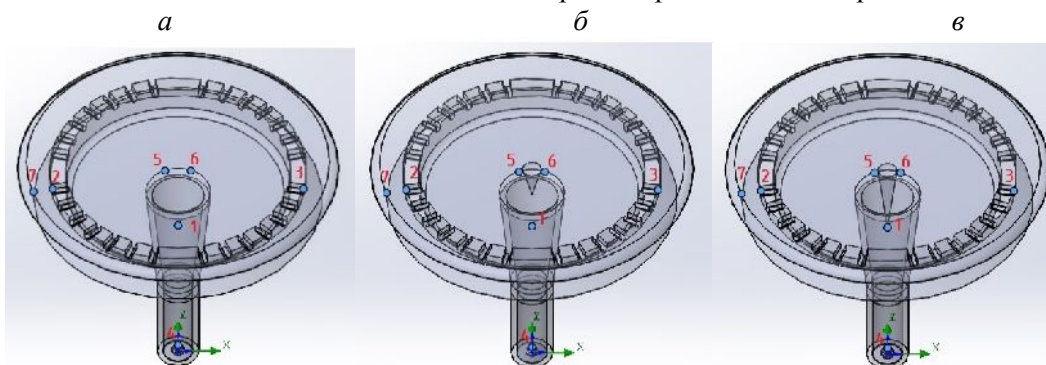


Рис. 2. Точки измерений концентраций и скорости газозвушной смеси:

а – без теплового рассекателя; б – с тепловым рассекателем $L=11$ мм; в – с тепловым рассекателем $L=25,5$ мм

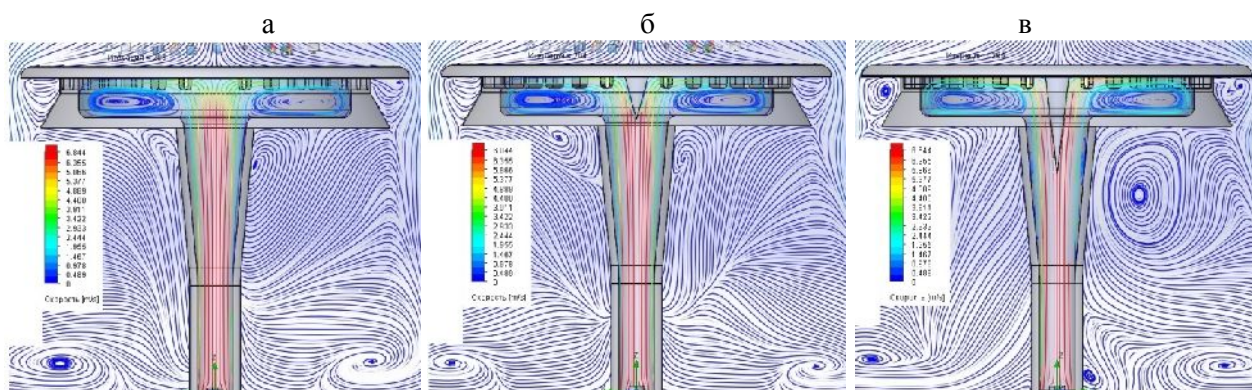


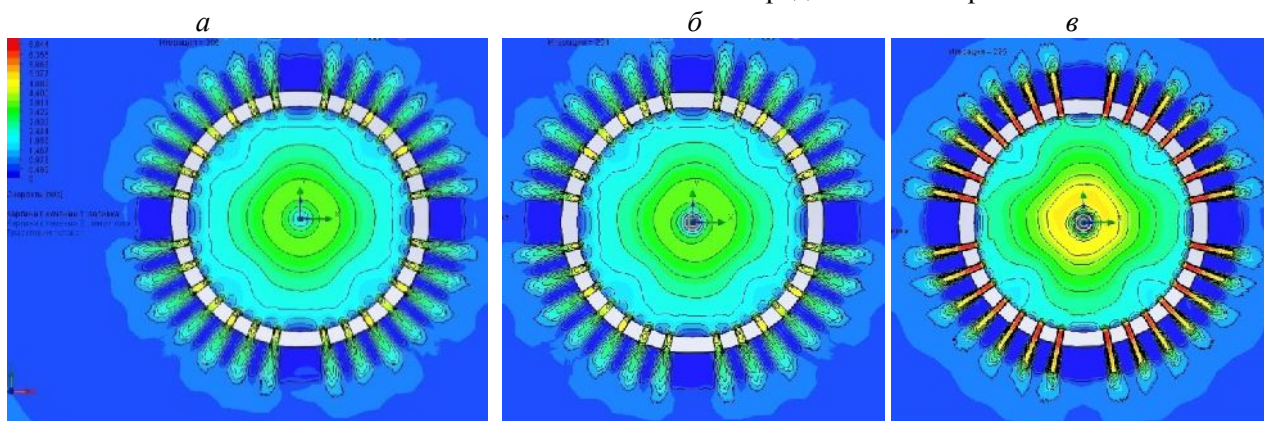
Рис. 3. Распределение скорости газовой смеси в корпусе горелки:

а – без теплового рассекателя; б – с тепловым рассекателем $L=11$ мм; в – с тепловым рассекателем $L=25,5$ мм

Из рис. 3 видно, что скорости газа в центральной части корпуса (точка 1) в горелке без рассекателя и в горелке с рассекателем $L=11$ мм имеют похожие значения – 14,15 м/с и 14,18 м/с соответственно. А в горелке с рассекателем $L=25,5$ мм скорость значительно возрастает (20,82 м/с).

Скорость газа в точках 5 и 6 в горелке без рассекателя составляет 3,10 м/с, в горелке с рассекателем $L=11$ мм скорость снижается до 2,54 м/с. А в горелке с рассекателем $L=25,5$ мм скорость возрастает до 3,45 м/с.

Результаты моделирования распределения скорости газовой смеси в огневых отверстиях представлены на рис. 4.

Рис. 4. Распределение скорости газовой смеси в отверстиях: а – без теплового рассекателя; б – с тепловым рассекателем $L=11$ мм; в – с тепловым рассекателем $L=25,5$ мм

Из рисунка 4 видно, что скорости газовой смеси на выходе из огневых отверстий (точки 2, 3) в горелке без рассекателя и в горелке с рассекателем $L=11$ мм имеют похожие значения – 3,617 м/с и 3,620 м/с соответственно. При этом скорость смеси в горелке с рассекателем $L=25,5$ мм повышается до 6,710 м/с.

Скорости газовой смеси на некотором расстоянии от огневых отверстий (точка 7) в горелке без рассекателя и в горелке с рассекателем $L=11$ мм также имеют похожие значения – 2,828 м/с и 2,834 м/с соответственно. Скорость смеси в горелке с рассекателем $L=25,5$ мм также повышается (5,580 м/с).

Увеличение скорости газовой смеси в корпусе горелки с рассекателем $L=25,5$ объясняется тем, что вершина рассекателя расположена в камере смешения, вследствие чего уменьшается площадь поперечного сечения камеры

смешения. Уменьшение площади поперечного сечения при неизменном расходе приводит к увеличению скорости потока. Таким образом, установка рассекателя длиной $L=11$ мм в корпусе горелки не оказывает влияния на скорость газовой смеси в корпусе горелки и в огневых отверстиях.

Результаты моделирования распределения концентраций метана в корпусе горелки представлены на рис. 5.

Из рисунка 5 видно, что концентрации метана в центральной части корпуса (точка 1) в горелке без рассекателя и в горелке с рассекателем $L=11$ мм имеют одинаковые значения – 26,5 %, а в горелке с рассекателем $L=25,5$ мм концентрация метана возрастает до 31,2 %.

Концентрация метана в точках 5, 6 в горелке без рассекателя и в горелке с рассекателем

$L=11$ мм имеют практически одинаковые значения – 21,6 % и 21,7 % соответственно. А в горелке с рассекателем $L=25,5$ мм концентрация метана незначительно повышается до 22,1 %.

Результаты моделирования распределения концентрации метана в огневых отверстиях представлены на рис. 6.

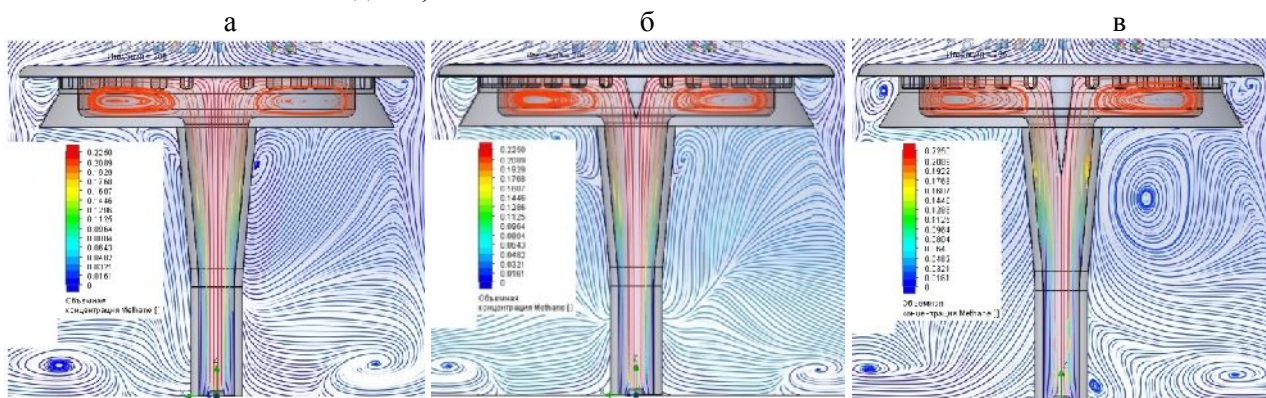


Рис. 5. Распределение концентрации метана в корпусе горелки:

а – без теплового рассекателя; б – с тепловым рассекателем $L=11$ мм; в – с тепловым рассекателем $L=25,5$ мм

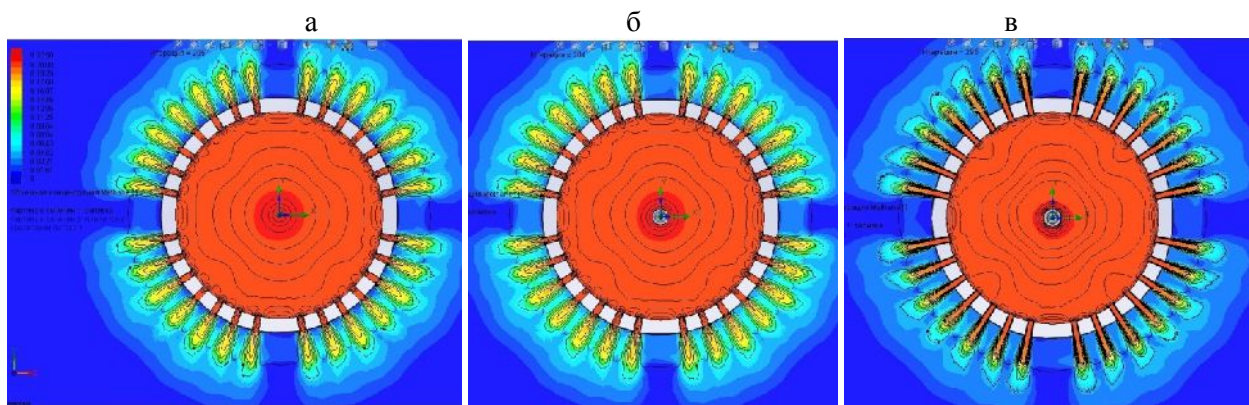


Рис. 6. Распределение концентрации метана в огневых отверстиях:

а – без теплового рассекателя; б – с тепловым рассекателем $L=11$ мм; в – с тепловым рассекателем $L=25,5$ мм

Из рисунка 6 видно, что концентрации метана на выходе из огневых отверстий (точки 2, 3) в горелке без рассекателя и в горелке с рассекателем $L=11$ мм имеют похожие значения – 20,5 % и 20,7 % соответственно. При этом концентрация метана в горелке с рассекателем $L=25,5$ мм незначительно повышается до 21 %.

Концентрация метана на некотором расстоянии от огневых отверстий (точка 7) в горелке без рассекателя составляет 17,4 %. В горелке с рассекателем $L=11$ мм концентрация повышается до 17,8 %, а в горелке с рассекателем $L=25,5$ мм повышается до 20,2 %.

Повышение концентрации метана в горелках с рассекателями обусловлено повышением скорости потока газа, вследствие чего уменьшается количество первичного воздуха.

Выводы. Разработана конструкция инжекционной горелки низкого давления, оснащенной тепловым рассекателем в форме конуса. Применение рассекателя оригинальной формы обеспечивает предварительный подогрев газозвушной смеси и позволяет повысить скорость распространения пламени и температуру горения

Проведены исследования процесса образования газозвушной смеси в корпусе горелки для 3 конструкций горелок: без рассекателя, с рассекателем длиной 11 мм и рассекателем длиной 25,5 мм.

В результате моделирования установлено, что концентрация метана и скорость газозвушной смеси в горелке без рассекателя и в горелке с рассекателем длиной 11 мм имеют похожие значения. Увеличение длины рассекателя до $L=25,5$ мм приводит к уменьшению площади поперечного сечения камеры смешения, вследствие чего повышается скорость газозвушной смеси и увеличивается концентрация метана. Увеличение скорости газозвушной смеси может привести к нарушению процесса горения и отрыву пламени.

Можно сделать вывод, что оптимальным решением повышения эффективности и стабильности процесса сжигания газа является установка в корпусе горелки рассекателя длиной 11 мм. Это позволяет повысить скорость распространения пламени и тепловую мощность горелки.

Источник финансирования. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00351.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Россия имеет одну из самых «зеленых» в мире структур топливно-энергетического баланса [Электронный ресурс]. URL: <https://tass.ru/ekonomika/4055397> (дата обращения 19.06.2019).
2. «Газпром» в 2017 году газифицировал 207 российских населённых пунктов. [Электронный ресурс]. URL: <https://bel.ru/news/economy/29-06-2018/gazprom-v-2017-godu-gazifitsiroval-207-rossiyskih-naselyonnyh-punktov> (дата обращения 11.07.2019).
3. Газификация [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gazprom.ru/about/production/gasification/> (дата обращения 11.07.2019).
4. Пелипенко В.Н. Горелки бытовых газовых плит: Учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2004. 138 с.
5. Пат. 2522260 Российская Федерация, МПК F23D 14/06, F23D 14/58. Энергосберегающая газовая горелка / В.В. Ветер, А.В.Коняхин; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Научно-производственное предприятие "Валок" (ООО НПП "Валок"). №2013108121/06; заявл. 22.02.2013; опубл. 10.07.2014 Бюл. № 19.
6. Пат. 2498157 Российская Федерация, МПК F23D 14/06. Система горелок бытовой газовой плиты / Лакке Тициано; заявитель и патентообладатель Индезит компани. №2009135756/06; заявл. 14.02.2008; опубл. 10.04.2011 Бюл. № 10.
7. Пат. 2528787 Российская Федерация, МПК F23D 14/06. Газовая горелка (варианты) / М. Паджетт Б. Шивз; заявитель и патентообладатель Электролюкс хоум продакс. №2011138273/06; заявл. 17.02.2010; опубл. 27.03.2013 Бюл. № 26.
8. Горелки стола бытовых газовых плит [Электронный ресурс]. URL: <https://www.c-o-k.ru/articles/gorelki-stola-bytovyh-gazovyh-plit> (дата обращения 20.12.2018).
9. Суслев Д.Ю., Рамазанов Р.С. Изучение механизма горения биогазового топлива // Актуальные вопросы охраны окружающей среды: материалы Всероссийск. науч.-техн. конф. (г. Белгород, 17–19 сентября 2018 г.) Белгород: Изд-во БГТУ, 2018. С. 243–249.
10. Гуськов Б.И., Кряжев Б.Г. Газификация промышленных предприятий: Учебник для техникумов. М.: Стройиздат. 1982. 368 с.
11. Брюханов О.Н., Жила В.А., Плужников А.И. Газоснабжение: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 448 с.
12. Liu Y.-F., Liang X.-J., Gao Z.-Y., Wang J.-Q. Numerical simulation of O₂/CO₂ recycled flue gas combustion in a 300 MW Boiler // Reneng Dongli Gongcheng / Journal of Engineering for Thermal Energy and Power. 2009. Vol. 24, Issue 2. Pp. 177–181.
13. Kuznetsov V.A., Trubaev P.A. Resources and Problems of the Mathematical Simulating Thermo-Technological Processes // Journal of Physics: Conference Series. 2018. 1066. 012024. doi: 10.1088/1742-6596/1066/1/012024
14. Kuznetsov V.A. Mathematical Model of the Radiative Heat Exchange in the Selective Gases of a Diffusion Flame // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2017. 90(2). Pp. 357–365.
15. Feng M.-J., Li D.-L., Wang E.-G. Numerical simulation of an adjustable length of flame gas burner // Dongbei Daxue Xuebao/Journal of Northeastern University. Vol. 35, Issue 9. 2014. Pp. 1279–1283. doi: 10.3969/j.issn.1005-3026.2014.09.015
16. Кушев Л.А., Суслев Д.Ю., Рамазанов Р.С., Швыдка М.А. Интенсификация процесса сжигания природного газа в системах газоснабжения ЖКХ // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №11. С. 95–99.

Информация об авторах

Суслев Денис Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: suslov1687@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Рамазанов Рафшан Салманович, аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: boss.rafshan@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Лобанов Иван Владимирович, студент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в июле 2019 г.

© Суслев Д.Ю., Рамазанов Р.С., Лобанов И.В., 2019

*Suslov D.Yu., Ramazanov R.S., Lobanov I.V.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

*E-mail: suslov1687@mail.ru

RESEARCH OF THE DISTRIBUTION OF A GAS-AIR MIXTURE IN THE BODY OF INJECTION BURNER WITH THERMAL DIVIDER

Abstract. The article is devoted to the development of the design of a low-pressure injection burner equipped with a thermal divider and the study of the process of distribution of methane concentration and velocity of gas-air mixture velocity in the burner body. The Solid Works Flow Simulation software complex is used to study the process of formation of the gas-air medium in the burner body. The design of a low pressure injection burner with a conical-shaped heat spreader has been developed. Placing the divider in the burner body provides preheating of the gas-air mixture and allows to increase the speed of flame propagation. Computer simulation of the process of gas-air mixture formation in the burner body for 3 burner constructions is performed: without a divider, with a divider length of 11 mm and a divider length of 25,5 mm. As a result of modeling, it is found that the placement of the divider with a length of $L = 11$ mm does not affect the distribution of methane and the velocity of the gas-air mixture in the burner body and at the exit of the firing holes. Increasing the length of the divider to 25,5 mm leads to an increase in the speed of the gas-air mixture and an increase in the concentration of methane in the firing holes. Therefore, the placement of the burner housing to the heat spreader with a length of 11 mm is the best solution to improve the efficiency and stability of the combustion process.

Keywords: gas supply, combustion, burner, injection, simulation, methane concentration, gas-air velocity.

REFERENCES

1. Russia has one of the world's "greenest" energy balance structures [Rossiya imeet odnu iz samy'x «zeleny'x» v mire struktur toplivno-energeticheskogo balansa]. URL: <https://tass.ru/ekonomika/4055397> (accessed 19.06.2019). (rus)
2. In 2017, Gazprom gasified 207 Russian settlements [«Gazprom» v 2017 godu gazificiroval 207 rossijskix naselyonnyx punktov]. URL: <https://bel.ru/news/economy/29-06-2018/gazprom-v-2017-godu-gazifitsiroval-207-rossijskih-naselyonnyh-punktov> (accessed 11.07.2019). (rus)
3. Gasification [Gazifikaciya]. URL: <http://www.gazprom.ru/about/production/gasification/> (accessed 11.07.2019). (rus)
4. Pelipenko V.N. The burners of domestic gas cookers [Gorelki bytovyx gazovyx plit]. Study guide. Tolyatti: TSU, 2004. 138 p. (rus).
5. Veter V.V., Konyakhin A.V. Energy Saving Gas Burner. Patent RF, no. 2522260. 2014.
6. Lakke T. Gas stove system. Patent RF, no. 2498157. 2011.
7. Padgett M., Shivz B. Gas burner (options). Patent RF. No. 2528787. 2013.
8. The burners of domestic gas cookers [Gorelki stola bytovyx gazovyx plit]. URL: <https://www.c-o-k.ru/articles/gorelki-stola-bytovyh-gazovyh-plit> (accessed 11.07.2019) (rus).
9. Suslov D.Yu., Ramazanov R.S. Study of the combustion mechanism of biogas fuel [Izuchenie mexanizma gorenija biogazovogo topliva]. Materialy Vserossijsk. nauch.-texn. konf. "Aktualnye voprosy oxrany okruzhayushhej sredy" Belgorod: Publ BSTU, 2018. Pp. 243–249. (rus).
10. Gus'kov B.I., Kryazhev B.G. Gasification of industrial enterprises [Gazifikaciya promyshlennyx predpriyatij]. Moscow, Stroizdat Publ. 1982, 368 p. (rus).
11. Bryuxanov O.N., Zhila V.A., Pluzhnikov A.I. Gas supply [Gazosnabzhenie]. Ucheb. posobie dlya stud. vyssh. ucheb. zavedenij. Moscow, Publishing Center "Academy". 2008. 448 p. (rus)
12. Liu Y.-F., Liang X.-J., Gao Z.-Y., Wang J.-Q. Numerical simulation of O₂/CO₂ recycled flue gas combustion in a 300 MW Boiler. Reneng Dongli Gongcheng / Journal of Engineering for Thermal Energy and Power. 2009. Vol. 24, Issue 2. Pp. 177–181.
13. Kuznetsov V.A., Trubaev P.A. Resources and Problems of the Mathematical Simulating Thermo-Technological Processes. Journal of Physics: Conference Series. 2018. 1066. 012024. doi: 10.1088/1742-6596/1066/1/012024
14. Kuznetsov V.A. Mathematical Model of the Radiative Heat Exchange in the Selective Gases of a Diffusion Flame // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2017. 90(2). Pp. 357–365.
15. Feng M.-J., Li D.-L., Wang E.-G. Numerical simulation of an adjustable length of flame gas burner. Dongbei Daxue Xuebao/Journal of Northeastern University. Vol. 35, Issue 9. 2014. Pp. 1279–1283. doi: 10.3969/j.issn.1005-3026.2014.09.015
16. Kushev L.A. Suslov D.Yu., Ramazanov R.S., Shvydkaya M.A. Intensification of the process of burning natural gas in gas supply systems of housing and public utilities [Intensifikaciya processa szhiganiya prirodnogo gaza v sistemax gazosnabzheniya ZhKKX]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 11. Pp. 95–99. (rus)

Information about the authors

Suslov, Denis Yu. PhD, Assistant professor. E-mail: suslov1687@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Ramazanov, Rafshan S. Postgraduate student. E-mail: boss.rafshan@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Lobanov, Ivan V. Bachelor student. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in July 2019

Для цитирования:

Суслов Д.Ю., Рамазанов Р.С., Лобанов И.В. Исследование распределения газозвоздушной смеси в корпусе инжекционной горелки с тепловым рассекателем // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 10. С. 60–66. DOI: 10.34031/article_5db3db3a9cb6a3.99321784

For citation:

Suslov D.Yu., Ramazanov R.S., Lobanov I.V. Research of the distribution of a gas-air mixture in the body of injection burner with thermal divider. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 10. Pp. 60–66. DOI: 10.34031/article_5db3db3a9cb6a3.99321784

DOI: 10.34031/article_5db3dd4c28ecd1.47038631

Симбирев О.В.

Тюменский индустриальный университет
Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38
E-mail: simbirevov@gmail.com

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ В ЖИЛЫХ КОМНАТАХ С ПРИТОЧНЫМИ ПОДОКОННЫМИ КЛАПАНАМИ ПРИ ПОМОЩИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ANSYS FLUENT

Аннотация. Основная проблема, выделенная в статье – отклонение параметров микроклимата от нормативных значений в виду неправильной организации воздушных потоков в жилых комнатах многоквартирных домов, а также затраты тепла на подогрев приточного воздуха. Цель работы: получение рабочей математической модели работы системы естественной вентиляции, и её изучение на предмет оптимизации или модернизации. Проведён анализ нормативной литературы, научных трудов отечественных и зарубежных учёных, наработок в области естественной вентиляции и вентиляции жилых зданий в целом, описывающих или упоминающих данную проблематику. Представлена и проанализирована математическая модель воздухообмена жилой комнаты с учетом конвекции. В качестве граничных условий при создании математической модели были заданы расход и температуры воздуха, температура на поверхности отопительного прибора. Выявлены особенности и закономерности распределения воздушных потоков в помещении, полученные в результате математического моделирования. Приведены распределения скорости движения воздуха в объеме помещения. Обозначены сложности организации эффективного естественного притока воздуха и проблемы, связанные с конструкцией клапанов инфильтрации. Предложены технические решения, направленные на повышение качества микроклимата в помещении и энергосбережение.

Ключевые слова: математическое моделирование, аэродинамика, естественная вентиляция, жилые здания.

Введение. Проблемы, связанные с работой систем вентиляции, появились по мере уменьшения воздухопроницаемости наружных ограждающих конструкций. Герметичность жилых домов существенно возросла с появлением технологий, позволяющих, производить «теплые», простые в эксплуатации и дешевые пластиковые окна [1]. Окна с деревянными рамами имели сравнительно низкие теплозащитные характеристики, но в тоже время термическое и гигроскопическое расширение, что позволяло не предусматривать какого-либо организованного притока воздуха в жилое помещение. Эта смена технологий в области создания светопрозрачных конструкций привела к появлению проблем с накоплением влаги, поскольку системы естественной вытяжной вентиляции не могут работать без притока воздуха [2, 3].

В качестве решения проблемы герметичности была предложена система вентиляции с приточными клапанами инфильтрации воздуха и контролируемые вручную вытяжными вентиляторами в санузлах и кухнях. Такая система справляется с решением задачи по удалению избытков влаги и имеет некоторую энергоэффективность, в сравнении с более простыми системами [4]. Однако, вопрос затрат тепловой энергии на подогрев приточного воздуха остается актуальным [5, 6].

Цель работы – получение рабочей математической модели работы системы естественной вентиляции, и её изучение на предмет оптимизации или модернизации. В качестве объекта исследования предлагается трехмерная модель скоростей и температур воздушных потоков в пространстве жилой комнаты с отопительным прибором, заданным притоком через подоконный клапан и удалением через дверной проем (рис. 1).

Задачи:

- смоделировать распределение скоростей и температур в пространстве;
- проанализировать распределение приточного воздуха в помещении с учетом конвективного движения в районе отопительного прибора;
- оценить возможность сокращения расхода приточного воздуха.

Исходные данные.

Габаритные размеры помещения $a \times b \times h$: $3,5 \times 4,0 \times 2,8$ м.

Величина расхода воздуха определялась по нормативному расходу для спальных, общих комнат (или гостиных), детских комнат при общей площади квартиры на одного человека менее 20 м^2 в размере $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 площади помещения в соответствии с требованиями СП 54.13330.2016

и является наибольшим среди нормативных расходов развитых стран [7]. Из этого условия расход воздуха составляет $42 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Габаритные приточного устройства $a \times h$: $0,5 \times 0,06 \text{ м}$.

Температура на поверхности отопительного прибора 60°C ;

Температура приточного воздуха -10°C (осредненная температура за отопительный пе-

риод в регионах западной Сибири, является определяющей при расчете затрат тепла на подогрев приточного воздуха).

Решаемая задача рассматривается в стационарной постановке.

Характеристики разбивочной сетки (рис. 1):
минимальный шаг разбивки модели – $0,001 \text{ м}$;

максимальный шаг разбивки модели – $0,13 \text{ м}$;

количество узлов – 1160744 шт ;

количество элементов – 1039844 шт .

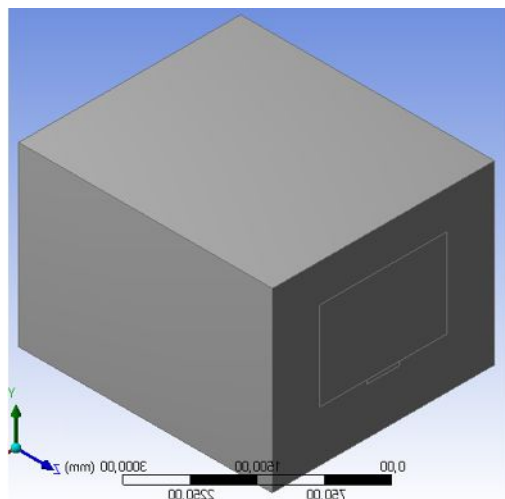


Рис. 1. Общий вид 3D-модели помещения

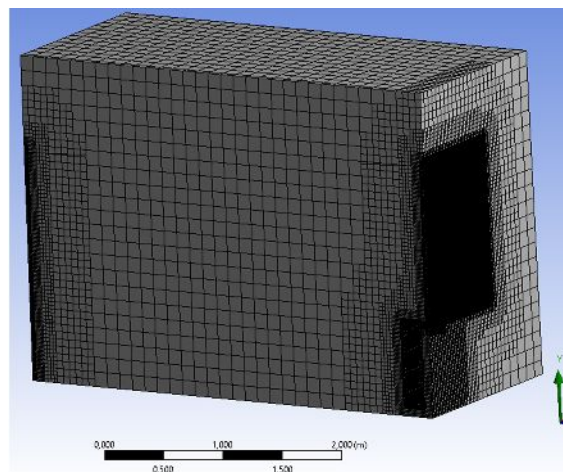


Рис. 2. Плотность шага разбивки геометрии

Описание модели. Математическая модель естественной вентиляции необходима для симуляции испытаний и дальнейшего анализа работы выбранной системы. В гидрогазодинамике модель движения воздуха описывается системой уравнений Навье–Стокса, конвекция описывается приближением Буссинеска. В ANSYS Fluent в ходе моделирования процесса в качестве решателя системы уравнений используется модель Спаларта–Аллмараса (SA модель), так как является подходящей для выбранного качества сетки и низким скоростям течения воздуха в помещении [8, 9].

Результаты моделирования. По окончании симуляции работы системы вентиляции были получены распределения скоростей и температур в помещении (рис. 3-5)

Распределения скоростей в продольном сечении (рис. 3):

наибольшая скорость движения воздуха наблюдается вдоль наружной стены $\sim 0,8\text{--}0,9 \text{ м/с}$;

вдоль плоскости потолка на высоте от $1,5$ до $2,5 \text{ м}$ $\sim 0,1 \text{ м/с}$;

вдоль плоскости пола на высоте до $0,2 \text{ м}$ $\sim 0,1\text{--}0,2 \text{ м/с}$;

в обслуживаемой зоне помещения скорость движения воздуха, ниже $1,5 \text{ м}$ от пола $\geq 0,08$.

Распределения скоростей в горизонтальной плоскости (рис. 4), в границах обслуживаемой зоны имеют скорости, соответствующие продольным сечениям помещения. В углах и зонах около стен скорость минимальна.

На границе обслуживаемой зоны ($0,5 \text{ м}$ от стены) у наружной стены (рис. 4) скорость движения воздуха $\sim 0,08\text{--}0,15 \text{ м/с}$.

Полученные результаты распределения температур свидетельствуют об отсутствии в обслуживаемой зоне областей пониженных температур. Распределение скорости в объеме помещения говорит о низкой эффективности проветривания, обслуживаемая зона помещения является застойной. Таким образом описанная схема вентиляции отвечает регламентируемым требованиям ГОСТ Р. 30494-2011 и СанПиН 2.1.2.2645-10, которые не затрагивают вопросы организации потоков воздуха и энергосбережения [10, 11], является рабочей и приемлемой, но низкоэффективной.

Также невозможно полностью исключить инфильтрацию от приточного клапана, требующего отверстие в ограждающей конструкции, и естественную тягу в холодный период года, за счет разности плотностей наружного и внутреннего воздуха [12].

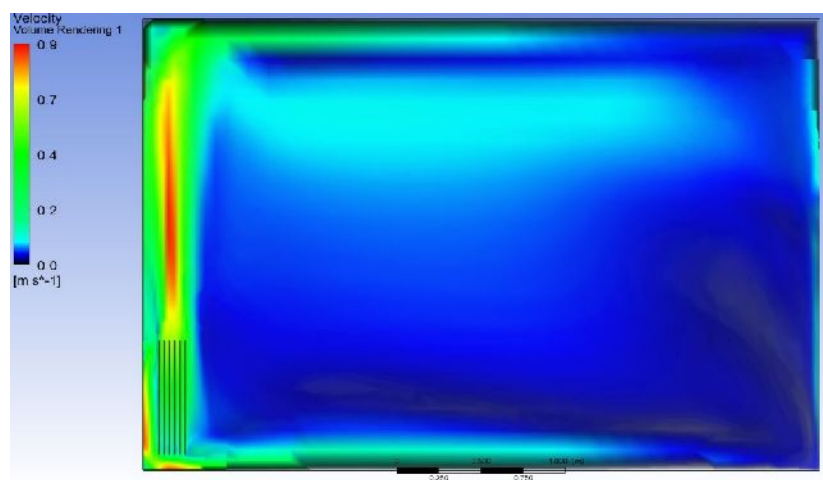


Рис. 3. Распределение скоростей в сечении через центр помещения от приточного клапана до двери

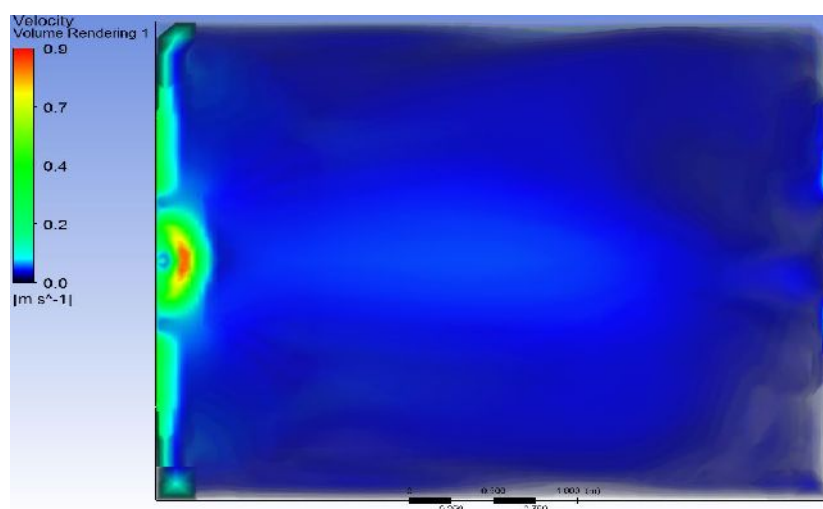


Рис. 4. Распределение скоростей на высоте 1,2 м от пола

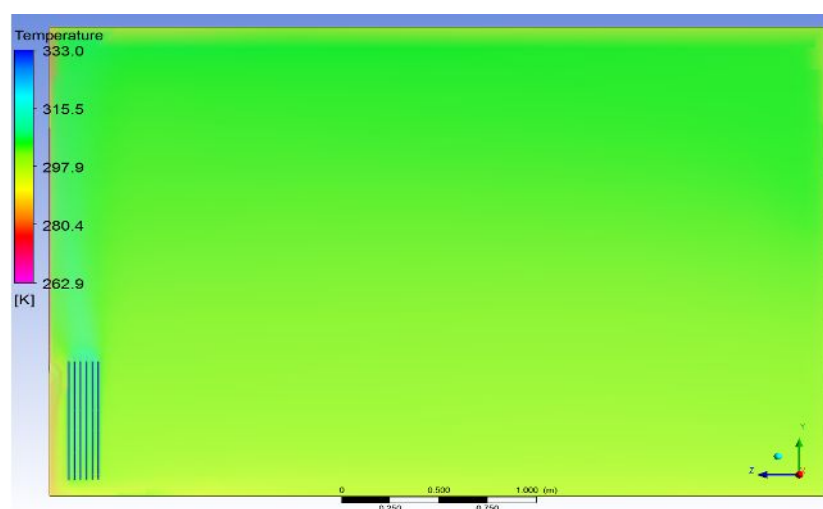


Рис. 5. Распределение температур в сечении через центр помещения от приточного клапана до двери

В случае неконтролируемой инфильтрации в холодный период даже при авторегулировании по показателям относительно влажности воздуха, невозможно поддерживать ее минимальное значение, так как при отключенной системе и закрытой створке клапана не прекращается полностью инфильтрация, и наружный холодный воздух с низким влагосодержанием осушает внутренний, что приводит к множеству негативных последствий: повышенный расход тепловой энергии, появление пыли, ухудшение самочувствия и т.д. [13, 14].

Естественный приток воздуха через клапан инфильтрации не гарантирует комфортных гигиенических условий во всем объеме помещения или в какой-то конкретной его зоне, в виду отсутствия организованного распределения воздуха [15].

При работе в теплый период года потребность в устройстве естественного притока отпадает, однако, потребление электрической энергии вытяжным вентилятором остается, так как в теплый период года естественная вытяжная вентиляции способна работать только при условии устройства дефлектора на оголовке вытяжной шахты и наличии достаточной скорости ветра [16].

Из существующих способов притока воздуха наиболее перспективным и эффективным с точки зрения распределения воздушного потока в помещении является использование механической децентрализованной системы по типу «бризер», за счет возможности создать и направить в обслуживаемую зону струю воздуха, также они требуют меньшего отверстия в конструкции стены [17]. Применение же щелевых оконных клапанов хоть и может позволить сформировать направленную струю воздуха, однако является энергозатратным мероприятием, так как нарушает профиль оконной рамы с изолированными воздушными камерами, что приводит к теплопотерям [18].

Применение «бризеров» может стать более эффективной альтернативой приточных клапанов при работоспособной системе естественной вытяжной вентиляции в теплый период, при такой схеме потребление электрической энергии в теплый период на работу системы вентиляции будет нулевой, в отличие от механической вытяжки и естественного притока, где вентилятор должен работать круглогодично. В географиях с регулярными ветрами, актуально применение дефлекторов. В безветренных регионах следует рассмотреть возможность применения солнечного вытяжного воздуховода (solar chimney), который создает тягу за счет нагрева стенок трубы от теплового солнечного излучения [19].

Выводы. По результатам математического моделирования и анализ распределения скоростей и температуры можно сделать следующие выводы:

- воздухообмен, организованный описанным образом, позволяет удовлетворить требованиям нормативной литературы, но нарушенная герметичность наружного ограждения приводит к перерасходу тепловой энергии на подогрев инфильтрующегося воздуха на периоды времени, когда постояльцы отсутствуют в помещении и приток не требуется;

- низкая эффективность проветривания приводит к образованию застойных зон в помещении, способствует осушке воздуха, и, как следствие, появлению пыли, ухудшение самочувствия и т.д.;

- оптимальной схемой для достижения целей энергоэффективности и сменяемости воздуха будет являться механический приток и естественная вытяжка.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лебедев И.Ю., Чамчиян Ю.Е. Влияние окон повышенной герметичности на микроклимат помещений // Энергетика, экология, химия: сборник статей. 2018. С. 206–211.
2. Пензин В.Э., Спиридонова Е.В. Использование клапанов инфильтрации воздуха для проветривания помещений // Актуальные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения. 2018. С. 224–226.
3. Береговой А.М., Дерина М.А. Наружные ограждающие конструкции в системе воздухообмена жилого многоэтажного здания // Современные проблемы науки и образования. 2015. №. 1-1. С. 24–24.
4. Каминская В.А., Перцев А.Н. Разновидности, технические особенности и условия эксплуатации приточных устройств // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2018. № 4. С. 102–109.
5. Грахов В.П., Мохначев С.А., Егорова В.Г. Эффективность энергосберегающих мероприятий в жилищном строительстве // Современные проблемы науки и образования. 2015. №. 2. С. 273–273.
6. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Перспективы повышения энергетической эффективности жилых зданий в России // Вестник МГСУ. 2011. №. 3-1. С. 192–200.
7. Ливчак В.И. Исходные данные для расчета годового теплопотребления зданий в России // АВОК. 2015. № 5. С. 66–70.
8. Левченя А.М., Кириллов А.И., Смирнов Е.М. Численное моделирование отрывного течения в кольцевом осерадиальном диффузоре //

Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2017. № 4. С. 172–180.

9. Spalart P., Allmaras S. A one-equation turbulence model for aerodynamic flows. 30th aerospace sciences meeting and exhibit. Seattle, 1992. 439 p.

10. Костуганов А.Б., Вытчиков Ю.С. Качество воздуха помещений гражданских зданий: состояние проблемы и пути решения // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии: сборник статей. 2016. С. 309–313.

11. Аверкин А.Г., Иващенко Н.Ю. К вопросу совершенствования системы естественной вентиляции в жилых зданиях // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2018. № 1. С. 164–172.

12. Симбирев О.В., Жилина Т.С. Анализ процессов движения воздуха и его параметров в системах естественной вентиляции при помощи математического моделирования // Вестник ИШ ДВФУ. 2018. № 3. С. 112–117.

13. Guidelines for ventilation requirements in buildings. Bruxelles: Commission of European Communities. Luxembourg, 1992. 44 p.

14. Лобанов Д.В., Шичкин В.В. Учет комплекса параметров при оценке состояния микроклимата в помещении // Жилищное хозяйство и

коммунальная инфраструктура. 2017. № 4. С. 70–75.

15. Vardoulakis S. et al. Impact of climate change on the domestic indoor environment and associated health risks in the UK. Environment International. 2015. Pp. 299–313.

16. Montazeri H., Azizian R. Experimental study on natural ventilation performance of one-sided wind catcher. Building and Environment. 2008. № 12. Pp. 2193–2202.

17. Бодров М.В., Кузин В.Ю., Морозов М.С. Шаповал А.Ф. Обоснование границ применения естественных систем вентиляции многоквартирных жилых домов для Нижегородской области // Приволжский научный журнал. 2016. № 1. С. 65–71.

18. Бодров М.В., Кузин В. Ю., Морозов М.С. Влияние выбора оконных блоков на показатели энергетической эффективности теплового контура и воздушный режим малоэтажных жилых зданий // Жилищное строительство. 2017. № 6. С. 24–26.

19. Barbolini F., Cappellacci P., Guardigli L. A design strategy to reach nZEB standards integrating energy efficiency measures and passive energy use. Energy Procedia. 2017. Pp. 205–214.

Информация об авторах

Симбирев Олег Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: simbirevov@gmail.com. Тюменский индустриальный университет. Россия, 625000, Тюмень, ул. Володарского, д. 38.

Поступила в августе 2019 г.

© Симбирев О.В., 2019

Simbirev O.V.

Tyumen Industrial University
Russia, 625000, Tyumen, st. Volodarsky, 38
E-mail: simbirevov@gmail.com

ANALYSIS OF AIR FLOW DISTRIBUTION IN RESIDENTIAL ROOMS WITH SUPPLY WINDOW VALVES BY MATHEMATICAL MODELING IN ANSYS FLUENT

Abstract. The main problem highlighted in the article is the deviation of the microclimate parameters from the standard values due to the improper organization of airflow in the residential rooms of apartment buildings. The objective is to obtain a working mathematical model of the natural ventilation system, its study for optimization or modernization. The analysis of the normative literature, scientific works of domestic and foreign scientists, developments in the field of natural ventilation and ventilation of residential buildings is carried out. A mathematical model of air exchange of a residential room with convection is presented and analyzed. The flow rate and air temperature, the temperature on the surface of the heater are set as boundary conditions when creating a mathematical model. The features and regularities of airflow distribution in the room obtained as a result of mathematical modeling are revealed. The distributions of air velocity in the room are given. Difficulties of the organization of effective natural inflow of air and the problems with design of valves of infiltration are designated. Technical solutions aimed at improving the quality of indoor microclimate and energy saving are proposed.

Keywords: mathematical modeling, aerodynamics, natural ventilation, residential buildings.

REFERENCES

1. Lebedev I.Yu., Chmarchian Yu.E. Influence of windows of increased tightness on indoor microclimate [Vliyanie okon povyshennoj germetichnosti na mikroklimat pomeshchenij] *Energetika, ekologiya, himiya: sbornik statej*. 2018. Pp. 206–211. (rus)
2. Penzin V.E., Spiridonova E.V. Use of air infiltration valves for airing rooms [Ispol'zovanie klapanov infil'tracii vozduha dlya provetrivaniya pomeshchenij]. *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya stroitel'stva, teplogazosnabzheniya i energoobespecheniya*. 2018. Pp. 224–226. (rus)
3. Beregovoj A. M., Derina M. A. External enclosing structures in the air-exchange system of a residential high-rise building [Naruzhnye ogra-zhdayushchie konstrukcii v sisteme vozduho-obmena zhilogo mnogoetazhnogo zdaniya] *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015. №. 1-1. Pp. 24–24. (rus)
4. Kaminskaya V.A., Percev A.N. Varieties, technical features and conditions of operation of supply devices [Raznovidnosti, tekhnicheskie osobennosti i usloviya eks-pluatacii pritochnyh ustrojstv]. *Zhilishchnoe hozyajstvo i kommunal'naya infrastruktura*. 2018. No. 4. Pp. 102–109. (rus)
5. Grahov V.P., Mohnachev S.A., Egorova V.G. Efficiency of energy-saving measures in housing construction [Effektivnost' energosberegayushchih mero-priyatij v zhilishchnom stroitel'stve] *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015. №. 2. Pp. 273–273. (rus)
6. Gagarin V.G., Kozlov V.V. Prospects for improving the energy efficiency of residential buildings in Russia [Perspektivy povysheniya energeticheskoy effektivnosti zhi-lyh zdaniy v Rossii] *Vestnik MGSU*. 2011. №. 3-1. Pp. 192–200. (rus)
7. Livchak V.I. Baseline data for calculating the annual heat consumption of buildings in Russia [Iskhodnye dannye dlya rascheta godovogo teplopotrebleniya zdaniy v Rossii] *AVOK*. 2015. No. 5. Pp. 66–70. (rus)
8. Levchenya A.M., Kirillov A.I., Smirnov E.M. Numerical simulation of a separated flow in an annular aseradial diffuser [Chislennoe modelirovanie otryvnogo teche-niya v kol'cevom oseradial'nom diffuzore. Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbPU. Este-stvennye i inzhenernye nauki]. 2017. No. 4. Pp. 172–180. (rus)
9. Spalart P., Allmaras S. A one-equation turbulence model for aerodynamic flows. 30th aerospace sciences meeting and exhibit. Seattle, 1992. 439 p.
10. Kostuganov A.B., Vytchikov Yu.S. Air quality in civilian buildings: the state of the problem and solutions [Kachestvo vozduha pomeshchenij grazhdanskih zdaniy: so-stoyanie problemy i puti resheniya]. *Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture. Stroitel'nye tekhnologii: sbornik statej*. 2016. Pp. 309–313. (rus)
11. Averkin A.G., Ivashchenko N.Yu. On the issue of improving the system of natural ventilation in residential buildings [K voprosu sovershenstvovaniya sistemy estestvennoj ven-tilyacii v zhilyh zdaniyah]. *Obrazovanie i nauka v sovremennom mire. Innovacii*. 2018. No. 1. Pp. 164–172. (rus)
12. Simbirev O.V., Zhilina T.S. Analysis of air movement processes and its parameters in natural ventilation systems with the help of mathematical modeling [Analiz processov dvizheniya vozduha i ego parametrov v sistemah estestvennoj ventilyacii pri pomoshchi matematicheskogo modelirovaniya]. *Vestnik ISH DVFU*. 2018. No. 3. Pp. 112–117. (rus)
13. Guidelines for ventilation requirements in buildings. Bruxelles: Commission of European Communities. Luxembourg, 1992. 44 p.
14. Lobanov D.V., Shichkin V.V. Accounting for a set of parameters in assessing the state of a micro-climate in a room. *Housing and Communal Infrastructure* [Uchet kompleksa parametrov pri ocenke sostoyaniya mikro-klimata v pomeshchenii]. *Zhilishchnoe hozyajstvo i kommunal'naya infrastruktura*. 2017. No. 4. Pp. 70–75. (rus)
15. Vardoulakis S. et al. Impact of climate change on the domestic indoor environment and associated health risks in the UK. *Environment International*. 2015. Pp. 299–313.
16. Montazeri H., Azizian R. Experimental study on natural ventilation performance of one-sided wind catcher. *Building and Environment*. 2008. № 12. Pp. 2193–2202.
17. Bodrov M.V., Kuzin V.Yu., Morozov M.S. Shapoval A.F. Justification of the boundaries of the use of natural ventilation systems of apartment buildings for the Nizhny Novgorod region [Obosnovanie granic primeneniya estestvennyh sistem ventilyacii mnogokvartirnyh zhilyh domov dlya Nizhegorodskoj oblasti]. *Privolzhskij nauchnyj zhurnal*. 2016. No. 1. Pp. 65–71. (rus)
18. Bodrov M.V., Kuzin V.Yu., Morozov M.S. The influence of the choice of window units on the energy efficiency indicators of the thermal circuit and the air regime of low-rise residential buildings [Vliyanie vybora okonnyh blokov na pokazateli energeticheskoy effektivnosti teplovogo kontura i vozdushnyj rezhim maloetazhnyh zhilyh zdaniy]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2017. No. 6. Pp. 24–26. (rus)
19. Barbolini F., Cappellacci P., Guardigli L. A design strategy to reach nZEB standards integrating energy efficiency measures and passive energy use. *Energy Procedia*. 2017. Pp. 205–214.

Information about the authors

Simbirev, Oleg V. Postgraduate student. E-mail: simbirevov@gmail.com. Tyumen Industrial University. Russia, 625000, Tyumen, st. Volodarsky, 38.

Received in August 2019

Для цитирования:

Симбирев О.В. Анализ распределения воздушных потоков в жилых комнатах с приточными подоконными клапанами при помощи математического моделирования в ANSYS FLUENT // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 10. С. 67–73. DOI: 10.34031/article_5db3dd4c28ecd1.47038631

For citation:

Simbirev O.V. Analysis of air flow distribution in residential rooms with supply window valves by mathematical modeling in ANSYS FLUENT. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 10. Pp. 67–73. DOI: 10.34031/article_5db3dd4c28ecd1.47038631

DOI: 10.34031/article_5db3dec6d4a347.72433966

Буланин В.А.

ООО «Инновационные технологии – Энергетика»

Россия, 308007, г. Белгород, ул. Мичурина, 56

E-mail: v_bulanin@mail.ru

МЕТОД АНАЛИЗА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ИСТОЧНИКА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Аннотация. Основными источниками тепловой энергии для теплоснабжения городов и поселений являются тепловые электростанции и котельные, использующие для своей работы топливо. В связи с необходимостью минимизации затрат топлива и электроэнергии на теплоснабжение в статье приведен анализ энергетического баланса электростанции, на основании которого разработаны новые аналитические выражения всесторонне характеризующие экономичность работы энергоустановки. Произведена аналитическая оценка влияния затрат энергии на собственные нужды котлоагрегата на энергетический баланс тепловой электростанции, разработаны методы построения схем энергетического баланса тепловой электростанции, оценки эффективности использования топлива в котлоагрегате. Обращено внимание на погрешности, возникающие из-за использования в расчетах не фактических, а расчетных значений присосов воздуха в газовый тракт котлоагрегата, в связи с чем предложено изменить способ измерения потерь теплоты с уходящими газами так, чтобы исключить или уменьшить влияние присосов воздуха на результаты измерения, учитывая часть теплоты уходящих газов, получаемой воздухом в воздухоподогревателе и возвращаемой в котлоагрегат через горелки. Разработаны методы, повышающие точность расчетов энергоэффективности технологических процессов, являющихся ключевыми в централизованном теплоснабжении городов и поселений.

Ключевые слова: теплоснабжение, теплофикация, топливо, тепловая электростанция, энергетический баланс, комбинированное производство, когенерация.

Введение. Энергетический баланс является статической характеристикой динамической системы энергетического хозяйства и представляет собой систему показателей, характеризующих процесс преобразования энергии или снабжения ею потребителей и отражающих равенство подведенной энергии с одной стороны и суммы полезной энергии и потерь с другой. На основании вышеизложенного была определена цель настоящей работы: теоретическое исследование основных показателей энергетического баланса теплоэлектроцентрали, взаимосвязи между ними, оценка достоверности существующих принципов и методов их учета и анализа, разработка новых принципиальных положений, отвечающих физической сущности процессов, и вытекающих из них достаточно простых и более точных рекомендаций и методик учета и анализа показателей работы теплоэлектроцентрали, одного из основных источников, создающих экономию топлива в энергетике.

С учетом всего вышеизложенного в качестве метода исследований используется метод баланса энергии, а в качестве объекта исследований – показатели энергетического баланса тепловой электростанции.

Соизмерение статей баланса осуществляется по физическому эквиваленту энергии, заключенной в исходных ресурсах (Дж, Вт·ч, т у.т. и т.п.), то есть в соответствии с первым законом термодинамики. Для обозначения величин, имеющих

размерность, используется, как правило, Международная система единиц СИ. Показатели энергетического баланса во многих случаях представляются в виде уравнений, характеризующих их количественную связь с другими величинами, не входящими в определение этих показателей. При оценке эффективности теплофикации соблюдается принцип равенства отпуска теплоты и электроэнергии в сопоставляемых вариантах. При анализе к.п.д. котлоагрегата учитываются условия, при которых определяется удельная теплота сгорания топлива.

Эти и некоторые другие особенности метода исследования изложены в статье.

Методика. В настоящее время используют два метода анализа совершенства тепловых процессов – метод баланса энергии и метод баланса работоспособности теплоты. Метод баланса работоспособности теплоты имеет две разновидности: эксергетический метод (метод потоков эксергии) и энтропийный метод (метод вычитания эксергетических потерь). Этот метод используется в основном в теоретических исследованиях. Общепринятым в промышленности, в первую очередь в энергетике, является метод баланса энергии. При планировании и учете энергетических ресурсов на предприятиях, в отраслях и в целом по стране составляется энергетический баланс, в котором в качестве универсальной единицы соизмерения энергетических ресурсов принята 1 т условного топлива (т у.т.) эквивалентная

7 Гкал или 29,3076 ГДж тепловой энергии. Метод баланса энергии получил широкое распространение благодаря тому, что он вытекает из первого начала термодинамики – закона сохранения энергии.

В решении поставленных задач одну из основных ролей играют энергоэффективность источников тепловой энергии для теплоснабжения, проявляемая себя в экономии топлива, в первую очередь, за счет организации комбинированного производства тепловой и электрической энергии на тепловых электростанциях – конденсационных (КЭС), теплофикационных (ТЭЦ) – и районных котельных. При этом на тепловых электростанциях в качестве основного оборудования используются паротурбинные, газотурбинные, дизельные и газопоршневые установки. Задачей этой статьи является разработка метода анализа энергетического потенциала источников тепловой энергии для теплоснабжения городов и поселений. При проведении исследования использовался метод энергетического баланса тепловой электростанции.

Немаловажное значение имеет и правильная оценка потерь энергии, связанных с транспортом рабочих тел. Обычно эти потери учитывают коэффициентом теплового потока. Согласно [1] "... величина потерь теплового потока на электростанции складывается из потерь теплоты с излучением от поверхностей оборудования и паро- и водопроводов, а также с парениями и пропусками арматуры и эксплуатационными сбросами

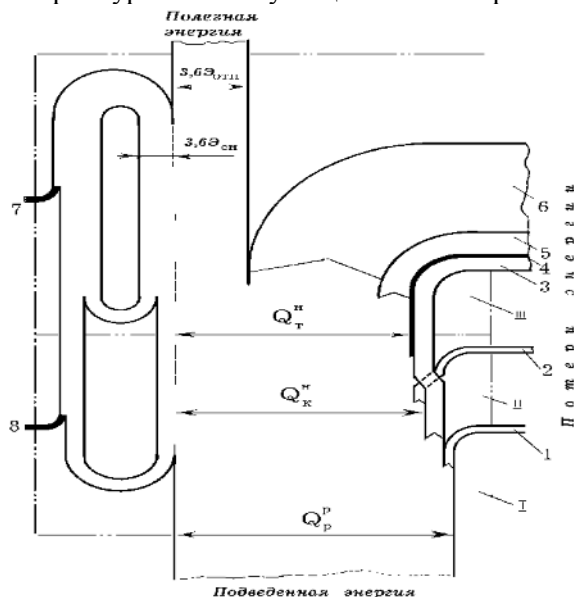


Рис. 1. Схема энергетического баланса конденсационной энергоустановки.

- 1, 2, 5 – потери теплоты брутто;
- 3, 4, 6 – потери теплоты нетто;
- 7, 8 – потери теплоты электродвигателями.

Потери энергии на схеме (рис. 1) разделены на потоки: 1 – потери котлоагрегата с уходящими

пара и воды". Очевидно, такая формулировка – нечеткая и ее следовало бы заменить следующей: потери теплового потока есть потери теплоты от трубопроводов, соединяющих котло- и турбоагрегаты и не входящих в комплект их поставки заводами-изготовителями, то есть не учтенными к.п.д. этих агрегатов. А потери теплоты котло- и турбоагрегатами учитываются коэффициентами полезного действия этих энергоустановок.

Основная часть статьи состоит из двух разделов, специфических для анализа энергоэффективности источника тепловой энергии для теплоснабжения.

Метод построения схем энергетического баланса тепловой электростанции

Разработке технологических и технических решений по совершенствованию работы ТЭС, как правило, должны предшествовать расчет и составление схемы ее энергетического баланса. Наиболее полно и подробно эти вопросы были проработаны А.С.Горшковым [2]. Однако отдельные принципиальные аспекты энергобаланса требовали более детальных проработок с новых позиций, которые были выполнены автором.

На рис. 1 показана усовершенствованная автором схема энергетического баланса КЭС, состоящая из трех основных частей: I – котлоагрегат, II – средства транспорта рабочего тела (насосы, трубопроводы, арматура и т.п.) и III – турбоагрегат.

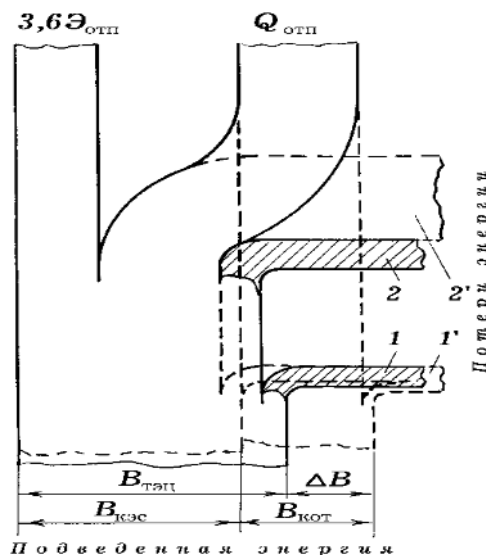


Рис. 2. Сопоставление схем энергобалансов раздельной и комбинированной выработки теплоты и электроэнергии

газами, через наружные поверхности и др.; 2 – потери через теплоизоляцию средств транспорта

рабочего тела, с утечками пара и воды и др.; 3, 4 и 5 – потери через конденсатор турбины с охлаждающей водой в окружающую среду, связанные с выработкой энергии, затрачиваемой на привод механизмов собственных нужд; 6 – потери через конденсатор турбины с охлаждающей водой в окружающую среду, связанные с выработкой электроэнергии, отпущенной потребителю; 7 и 8 – потери в окружающую среду от электродвигателей.

Основными слагаемыми энергобаланса $Q_p^p = Q^{пол} + Q^{пот}$ являются подведенная энергия (располагаемая теплота сгорания рабочей массы топлива) Q_p^p , полезная энергия (электрическая) $Q^{пол}$ и потери энергии $Q^{пот}$, представляющие собой разность между подведенной и полезной энергией.

Особенностью представленной схемы является разделение потерь энергии через конденсатор турбины с охлаждающей водой на потоки, пропорциональные: полезной (отпущенной) электроэнергии $6 - (q_m - 1) \Delta t_{отп}$ (где $q_m = Q_v / \Delta t_{отп}$) и израсходованной электроэнергии на собственные нужды: котлоагрегата 3, средств транспорта рабочего тела 4 и турбоагрегата $5 - (q_T - 1) \Delta t_{сн}$.

Из рис. 1 также следует, что полезная энергия, например, производимая котлоагрегатом, равна:

$$Q_{пол} = Q_p^p - \Delta t_{сн} - (q_T - 1) \Delta t_{сн} = Q_{пол} - q_T \Delta t_{сн},$$

где Q_p^p – теплота, переданная в котлоагрегате рабочему телу (пару, воде).

Действуя далее таким же образом, получим:

- к.п.д. котлоагрегата $\eta_k^i = Q_k^i / Q_p^p$;
- к.п.д. транспорта теплового потока $\eta_{тп}^i = Q_k^i / Q_k^i$;
- к.п.д. турбоагрегата $\eta_t^i = Q^{пол} / Q_k^i$;
- к.п.д. энергоустановки

$$Q^p = Q_p + Q_{в.вн} + Q_{ф} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6,$$

где Q_p – теплота сгорания топлива; $Q_{в.вн}$ – теплота, внесенная подогретым топливом; $Q_{ф}$ – теплота, внесенная паром через форсунки.

Такое представление располагаемой теплоты котлоагрегата правомерно лишь тогда, когда слагаемые правой части уравнения не являются частью теплоты сгорания топлива. Этого нельзя сказать применительно к тепловой электрической станции, где теплота сгорания топлива последовательно преобразуется в другие виды

$$\eta_{э} = \eta_k \eta_{тп} \eta_t = Q^{пол} / Q_p^p \text{ или } \eta_{э} = 1 - Q^{пот} / Q_p^p.$$

Предложенный метод построения схемы и расчета показателей энергобаланса повышает точность определения технико-экономических показателей котло- и турбоагрегата и ТЭС в целом. При этом не требуется вычисление показателей "брутто", как не соответствующих строгому определению энергетического баланса.

На рисунке 2 показано сравнение схем энергетических балансов отдельной и комбинированной выработки теплоты и электроэнергии.

Обозначенные на этом рисунке потери 1' и 2' можно (целесообразно) уменьшить соответственно до 1 и 2 за счет замещения отпускаемой из котельной теплоты $Q^{пол}$ теплотой из отбора турбины для теплоснабжения потребителей, благодаря чему достигается **экономия топлива**:

$$\Delta B = B_{ккс} + B_{кот} - B_{тэц},$$

где $B_{ккс}$, $B_{кот}$, $B_{тэц}$ – расход топлива соответственно на конденсационной электростанции, котельной и теплоэлектроцентрали при равенстве полезной энергии в сопоставляемых вариантах.

Метод оценки эффективности использования топлива в котлоагрегате

Энергетический (тепловой) баланс котельного агрегата обычно представляют в виде равенства:

$$Q_p^p = \sum_{i=1}^6 Q_i, \quad (1)$$

где Q_i – теплота, выработанная в пароводяном тракте. Потери теплоты: Q_1 – с уходящими газами; Q_2 – с химической неполнотой сгорания; Q_3 – с механической неполнотой сгорания; Q_4 – от наружного охлаждения; Q_5 – со шлаком.

Согласно нормативному методу [3] располагаемая теплота котлоагрегата:

энергии, а некоторая ее часть возвращается в котлоагрегат с подогретым воздухом и топливом, а также с паром через форсунки.

В энергетическом балансе тепловой электростанции эти слагаемые следует учитывать аналогично теплоте, возвращаемой в котлоагрегат с питательной водой, то есть ее необходимо вычитать из количества теплоты, отпущенной паром. Поэтому располагаемой теплотой энергетического котлоагрегата следует считать только теплоту сгорания топлива [4]. Исходя из этого принципа, изменим вид уравнения энергетического

баланса котельного агрегата (1) и представим его так:

$$Q_p^p = \sum_1^6 Q_i - (Q_{\text{тодм}} + Q_{\text{те}} + Q_{\text{мл}} + Q_{\text{ф}}). \quad (2)$$

Кроме выше рассмотренных слагаемых, в уравнение (2) включена теплота, внесенная в агрегат тягодутьевыми механизмами $Q_{\text{тодм}}$, которую обычно не принимают во внимание при составлении баланса. Вследствие того, что теплота, внесенная с воздухом, топливом, паром и тягодутьевыми механизмами, является, как правило, частью теплоты Q , мы вправе считать действительно отпущенной из котлоагрегата теплотой величину:

$$Q_{\text{отп}} = Q_1 - (Q_{\text{тодм}} + Q_{\text{те}} + Q_{\text{мл}} + Q_{\text{ф}}). \quad (3)$$

Если представить все слагаемые баланса (2) в процентах от теплоты сгорания топлива Q , то получим его в другом виде:

$$100 = q_1 + q_2 + \sum_3^6 q_i. \quad (4)$$

Коэффициент полезного действия брутто котлоагрегата найдем по уравнению так называемого обратного баланса, полученному путем преобразования уравнения (4):

$$\eta_{\text{кот}}^{\text{бр}} = q_1 = 100 - \left(q_2 + \sum_3^6 q_i \right),$$

которое, как следует из вышеизложенного, применимо для любых вариантов и схем использования в котлоагрегате внесенной (возвращенной) в него теплоты от турбоагрегата.

Основную долю потерь (5...10 %) в энергобалансе котлоагрегата составляют потери энергии (теплоты) с уходящими газами. Потери теплоты с уходящими газами принято определять, как разность энтальпий продуктов сгорания на выходе из котельного агрегата и холодного воздуха на входе в него, отнесенную к располагаемой теплоте котлоагрегата [5]:

$$q_2 = (I_{\text{yx}} - \alpha_{\text{возд}} I_{\text{возд}}^m) / Q_p^p,$$

где I_{yx} – энтальпия уходящих газов; $I_{\text{возд}}^m$ – энтальпия теоретически необходимого для горения топлива воздуха; α_{yx} – коэффициент избытка воздуха в уходящих газах; Q_p^p – располагаемая теплота котлоагрегата.

Аналогично решают эту задачу и другие авторы [6, 7, 8], с чем *нельзя согласиться по следующим причинам.*

В процессе сгорания топлива происходит выделение теплоты и образование новых химических веществ (продуктов сгорания), отличных от исходных веществ (топлива и окислителя –

чаще всего воздуха). Выделяющаяся теплота приводит к соответствующему повышению энтальпии продуктов сгорания. В котельном агрегате теплота сгорания топлива передается от продуктов сгорания (с соответствующим снижением их температуры и энтальпии) рабочим телам, воде и водяному пару. Следовательно, в энергобалансе котельного агрегата и в соответствующих теплотехнических расчетах должно учитываться **приращение** энтальпии продуктов сгорания, а не разность энтальпии продуктов сгорания и холодного воздуха.

Поэтому потери q_2 следует считать равными нулю при равенстве температур $\vartheta_{\text{yx}} = t_{\text{xв}}$. Такое равенство имеет место в лабораторной практике при определении теплоты сгорания топлива путем его сжигания в калориметрической бомбе, а также в проточном калориметре. Однако в котельных агрегатах потери теплоты с уходящими газами всегда имеются, поскольку в них разность температур $\vartheta_{\text{yx}} - t_{\text{xв}} > 0$, и потери тем больше, чем больше эта разность.

С учетом вышеизложенного мы приходим к единственно правильному определению, отражающему физическую сущность рассматриваемого процесса: **потери теплоты с уходящими газами есть приращение энтальпии этих газов (при постоянном давлении) от температуры окружающей среды (температуры холодного воздуха и топлива) до их фактической температуры. Другими словами, потерями теплоты с уходящими газами следует считать только то количество теплоты, которое можно получить, охладив уходящие газы при постоянном давлении до температуры окружающей среды [4].**

Руководствуясь этим принципом, выводим исходную формулу для определения потерь теплоты с уходящими газами:

$$q_2 = \Delta I_{\vartheta-t}^{\text{ном}} / Q = \sum M_i N_i C_{pmi} (\vartheta_{\text{yx}} - t_{\text{xв}}) / Q \quad (5)$$

где $\Delta I_{\vartheta-t}^{\text{ном}}$ – приращение энтальпии продуктов сгорания от исходной температуры холодного воздуха и топлива $t_{\text{xв}}$ до температуры уходящих газов ϑ_{yx} при постоянном, как правило, атмосферном давлении; M_i – молярная масса i -того компонента продуктов сгорания; N_i – количество i -того компонента продуктов сгорания; C_{pmi} – средняя массовая теплоемкость i -того компонента продуктов сгорания при постоянном давлении в диапазоне температур от $t_{\text{xв}}$ до ϑ_{yx} .

Позднее, в 1987 году [9] аналогичный подход к оценке теплового баланса энергоустановки был использован Райсом (*J.G. Rice* - США, штат Техас, г.Спринг), который *потери с отработавшими в газотурбинной установке газами вычисляет как разность между энтальпией отводимых от установки продуктов сгорания и энтальпией тех же продуктов сгорания, охлажденных до температуры 288 К.*

Такое определение потерь с уходящими газами имеет принципиальное значение, так как вносит существенное уточнение в понятие энергетического баланса энергоустановки, сложившееся в научно-технической и учебной литературе в СНГ.

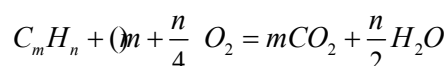
Для практической оценки потерь теплоты с уходящими газами нужна относительно простая, но достаточно точная зависимость, учитывающая состав газов и их теплофизические свойства. В этих целях автором:

1) составлена формула с соблюдением закона сохранения энергии, то есть с учетом всей

доли высшей теплоты сгорания использованного топлива, теряемой с уходящими газами;

2) составленная формула изменена так, что в ней в явном виде показана зависимость потерь теплоты с уходящими газами от потерь теплоты сгорания топлива на парообразование влаги, образующейся в процессе сгорания углеводов, с одной стороны, и содержащейся в рабочей массе топлива, с другой.

Применив уравнение стехиометрического горения углеводов



к реальным условиям, в которых для горения подается влажное топливо, а вместо кислорода используется воздух ($O_2 + 3,76N_2$) в количестве

α_{yx} , можно найти массу уходящих газов, образующихся при вступлении топлива в реакцию горения с одним киломолем кислорода (кг/кмоль O_2):

$$G_{yx} = \sum M_i N_i = 44,01 CO_2 + 18,02 H_2O + 32,00 O_2 + 28,15 \cdot 3,76 N_2 + w, \quad (6)$$

$$\text{где } CO_2 = \frac{n}{n + m/4} = \frac{1 - \bar{h}}{1 + 2\bar{h}}; H_2O = \frac{m/2}{n + m/4} = \frac{6\bar{h}}{1 + 2\bar{h}};$$

$$O_2 = \alpha_{yx} - 1; N_2 = \alpha_{yx}; \bar{h} = \frac{H}{C + H}.$$

Массу балластной влаги w удобно выражать через теплоту сгорания топлива:

$$w = W^{y0} q_{mc}^e,$$

где $W^{y0} = W^p / Q_g^p$ – влажность топлива, приведенная к единице высшей теплоты сгорания рабочей массы топлива, значение которой обычно находится в пределах 0...100 кг/ГДж; W^p – влажность рабочей массы топлива перед его поступлением в горелки, %; Q_g^p – высшая теплота сгорания рабочей массы топлива, кДж/кг.

В связи с тем, что часть углерода в топливе связана с кислородом, будем считать, что в уходящих газах содержится α_{CO_2} киломолей CO_2 . В расчетах можно принимать следующие значения коэффициента α_{CO_2} (табл. 1).

Примем теплоемкость сухих продуктов сгорания топлива по рисунку 4 при 100 °С, теплоемкость водяного пара 1,92 кДж/(кг·К) при его парциальном давлении в уходящих газах 20 кПа, а теплоту парообразования воды 2360 кДж/кг при парциальном давлении 20 кПа.

Таблица 1

Значения коэффициента α_{CO_2}

Топливо	α_{CO_2}
Дрова	1,46
Торф	1,28
Угли и сланцы	1,10
Антрацит и полуантрацит	1,00
Мазут и газы	1,00

На основании (5) и (6) выведем в общем виде формулу для подсчета потери q_2 в процентах высшей теплоты сгорания топлива q_{mc}^e :

$$q_2 = \left[(K' \alpha_{yx} + C' + 1,92 \cdot 10^{-6} W^1) (g_{yx} - t_{xg}) K_{\Delta C} + 2360 \frac{w + 18 H_2O}{q_{mc}^e} \right] \times \\ \times [1 - 0,01(q_3 + q_4)] \cdot 10^2, \quad (7)$$

где $K' = \frac{135,75}{q_{mc}^6}$;

$$C' = \frac{40,35\alpha_{CO_2}CO_2 + 34,54H_2O - 29,74}{q_{mc}^6};$$

$K_{\Delta C}$ – коэффициент, учитывающий зависимость теплоемкости газов от их температуры (рис. 5). В практических расчетах этот коэффициент можно всегда принимать равным единице, от которой он отклоняется очень незначительно; ϑ_{yx} ; $\alpha_{yx} = \alpha_{nn} + \Delta\alpha$ – температура уходящих газов, °С, и коэффициент избытка воздуха в уходящих газах на выходе из дымососа; α_m – коэффициент избытка воздуха на выходе из пароперегревателя; $\Delta\alpha$ – доля присосов воздуха в газовый тракт между пароперегревателем и дымососом.

При наличии химического и механического недожога q_3 и q_4 в горении участвует только доля топлива, равная $1 - 0,01(q_3 + q_4)$.

Исходя из современного состояния техники и ближайших перспектив ее развития, очевидно, есть основания **констатировать следующее:**

- использование теплоты парообразования воды, образующейся при сгорании углеводородов, в сколько-нибудь значительном масштабе

пока неосуществимо, поэтому ее нецелесообразно учитывать в энергобалансе энергетических котельных агрегатов в качестве соответствующей доли располагаемой теплоты;

- количество влаги в рабочей массе топлива можно уменьшить (и практически уменьшают) на стадии его подготовки к сжиганию путем подсушки паром, горячим воздухом, уходящими газами, поэтому в энергобалансе необходимо учитывать теплоту, затрачиваемую на испарение влаги топлива, как часть располагаемой теплоты.

Чтобы соблюсти указанные условия, необходимо в формуле (7):

- исключить слагаемое $18H_2O$;

- правую часть формулы умножить на величину

$$\frac{q_{mc}^6}{q_{mc}^H \left[1 - (1 - K_{H_2O}) 2360 \cdot 10^{-6} \right]},$$

после чего получим искомую формулу потерь теплоты с уходящими газами в процентах:

$$q_2 = \left[(K\alpha_{yx} + C + 1,92 \cdot 10^{-2} W^p) (\vartheta_{yx} - t_{xg}) + 23,6 K_{H_2O} \right] \times \\ \times \frac{[1 - 0,01(q_3 + q_4)] \cdot 10^{-2}}{1 - (1 - K_{H_2O}) 23,6 \cdot 10^{-4} W^p}, \quad (8)$$

где $K = \frac{135,75}{q_{mc}^H} \cdot 10^4$;

$$C = \frac{40,35\alpha_{CO_2}CO_2 + 34,54H_2O - 29,74}{q_{mc}^6} \cdot 10^4;$$

$$W^{np} = \frac{W^p}{Q_p} \cdot \frac{q_{mc}^6}{q_{mc}^H} \cdot 10^4 - \text{влажность топлива, приведенная к единице высшей теплоты сгорания горючей массы топлива, кг/ГДж; } q_{mc}^H - \text{низшая теплота сгорания сухой горючей массы топлива, МДж/кмоль } Q_2;$$

K_{H_2O} – коэффициент, учитывающий долю теплоты парообразования рабочей

влаги топлива, отнесенную к располагаемой теплоте котлоагрегата.

Согласно вышеизложенным принципам в формуле (7) следует принимать значение $K_{H_2O} = 1$. В настоящее же время в формулах для определения неявно принято значение $K_{H_2O} = 0$, что искажает фактическое положение дел и не содействует более эффективному использованию топлива, его экономии.

Подставив в формулу (8) значение $K_{H_2O} = 1$, получим в окончательном виде формулу потери теплоты с уходящими газами в процентах:

$$q_2 = \left[(K\alpha_{yx} + C + 1,92 \cdot 10^{-2} W^p) (\vartheta_{yx} - t_{xg}) + 23,6 W^p \right] \times \\ \times [1 - 0,01(q_3 + q_4)] \cdot 10^{-2}, \quad (9)$$

Если же оставить значение $K_{H_2O} = 0$, то формула (9) примет следующий вид:

$$q_2 = \left[(K\alpha_{yx} + C + 1,92 \cdot 10^{-2} W^p) (\vartheta_{yx} - t_{xв}) \right] \frac{[1 - 0,01(q_3 + q_4)] \cdot 10^{-2}}{1 - 23,6 W^p}.$$

В настоящее время при определении потерь с уходящими газами слагаемое $23,6 W^p$ не учитывается. Для сухого топлива $W^p = 0$, тогда при $q_3 = q_4 = 0$ получим:

$$q_2 = \left[(K\alpha_{yx} + C) (\vartheta_{yx} - t_{xв}) \right] \cdot 10^{-2}. \quad (10)$$

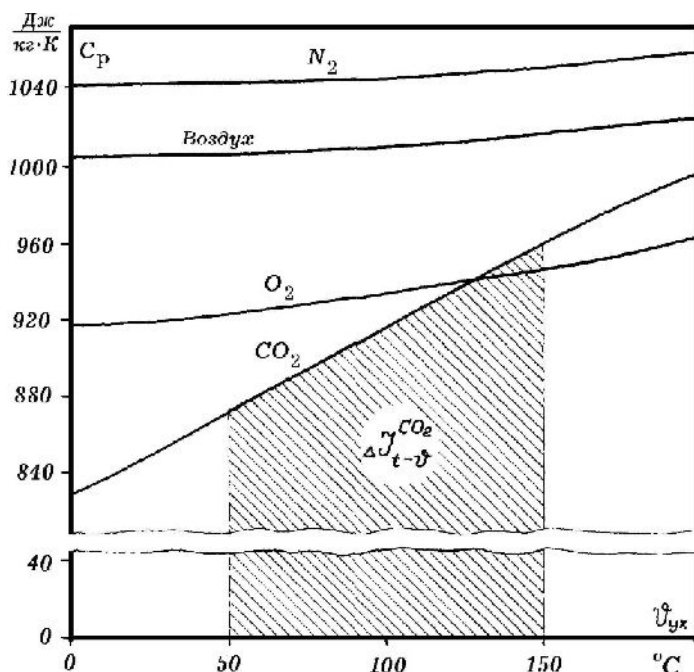


Рис. 4. Теплоемкость газов и сухих продуктов сгорания топлива

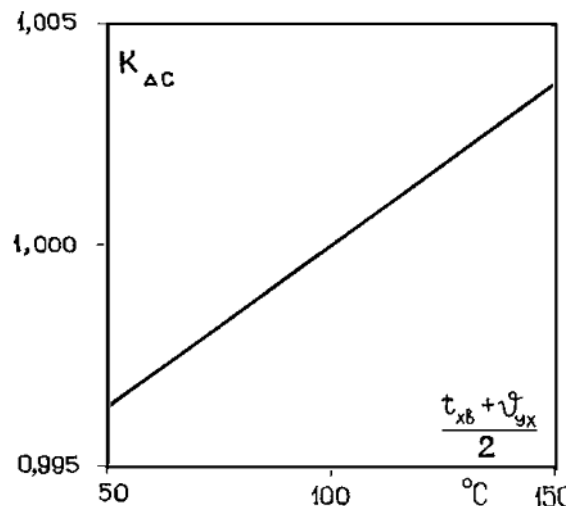


Рис. 5. Зависимость теплоемкости газов от их температуры

Формула, предложенная Я.Л. Пеккером [7], имеет следующий вид:

$$q_2 = \left[(K\alpha_{yx} + C) \left(\vartheta_{yx} - \frac{\alpha_{yx}}{\alpha_{yx} + b} t_{xв} \right) \right] A_t (1 - 0,01 q_4) 10^{-2}. \quad (11)$$

В этой формуле K , C и b – коэффициенты, зависящие от сорта и приведенной влажности топлива; A_t – поправочный коэффициент, учитывающий влияние температуры на теплоемкость продуктов сгорания; в пределах температур $\vartheta_{yx} = 150 \pm 30$ °C этот коэффициент отличается от единицы незначительно: $A_t = 0,996-1,004$.

Согласно действующему РД 34.08.552-95 (с изм. от 15.05.1998) "Методические указания по составлению отчета электростанции и акционерного общества энергетики и электрификации о тепловой экономичности оборудования" потери теплоты с уходящими газами q_2 (%) определяются по формуле:

$$q_2 = (K\alpha_{yx} + c) \left(t_{yx} - \frac{\alpha_{yx}}{\alpha_{yx} + c} t_{xв} \right) (0,9805 + 0,00013 t_{yx}) (1 - 0,01 q_4) K_Q 10^{-2} + \Delta q_{2эл} \quad (12)$$

При $t_{yx} = 150$ °C, $q_4 = 0$, $K_Q = 1$, $\Delta q_{2эл} = 0$ формула (12) приобретает вид формулы Я.Л. Пеккера (11).

Усредненные значения коэффициентов K и C , входящих в формулы (10, 11, 12), для разных видов топлива приведены в таблице 2.

О погрешности используемой в настоящее время формулы определения потерь теплоты с уходящими газами согласно РД 34.08.552-95 и [4,

7] можно судить по рис. 6, на котором показаны углеродсодержащие виды топлива с соответствующими массовыми долями водорода в них: А – антрацит; ПА – полуантрацит; К – каменный уголь; Б – бурый уголь; М – мазут; Т – торф; С – сланцы; Д – дрова; СГ – сжиженные газы; НЗГ – нефтезаводские газы; ПГ – попутные газы; Пр – природные газы.

Однако не следует забывать о погрешности, возникающей из-за использования в расчетах не фактических, а расчетных значений присосов воздуха в газовый тракт котлоагрегата. Следовательно, для повышения точности необходимо изменить способ измерения потерь теплоты с уходящими газами так, чтобы исключить или уменьшить влияние присосов воздуха на результаты

измерения. Этой цели можно добиться, если производить измерения температуры уходящих газов в сечении газохода, например, перед воздухоподогревателем. Но в этом случае необходимо учитывать часть теплоты уходящих газов, получаемой воздухом в воздухоподогревателе и возвращаемой в котлоагрегат через горелки.

Таблица 2

Усредненные значения коэффициентов K и C , входящих в формулы (9, 10, 11), для разных видов топлива

Топливо	Рекомендуемые значения		Используемые на практике [7]; РД 34.08.552-95	
	K	C	K	C
Антрациты	3,50	0,30	3,5	0,32
Полуантрациты, тощие угли	3,47	0,32	3,5	0,32
Каменные угли	3,39	0,40	3,5	0,4
Бурые угли	3,38	0,45	3,46	0,51
Сланцы	3,37	0,45	3,45	0,65
Торф	3,37	0,62	3,42	0,76
Дрова	3,37	0,78	3,33	0,8
Мазут	3,37	0,44	3,494	0,437
Газы: сжиженные	3,39	0,52	—	—
нефтезаводские	3,41	0,55	—	—
попутные	3,48	0,59	3,52	0,62
природные	3,508	0,617	3,53	0,60

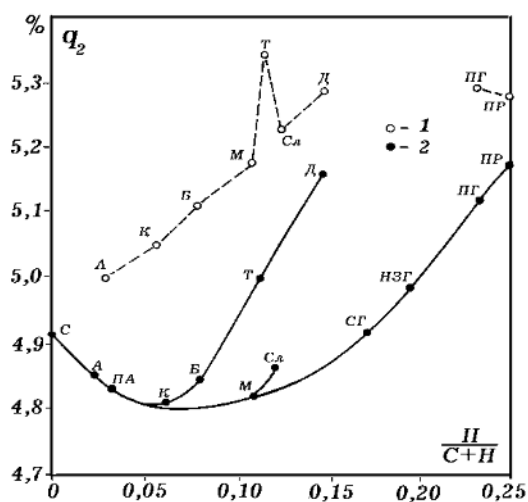


Рис. 6. Потери теплоты с уходящими газами q_2 в зависимости от вида топлива:

1 – по формуле Я.Л. Пеккера [7] и РД 34.08.552-95; 2 – по разработкам автора, формула (9).

$$\alpha_{yx}=1,3; \quad t_{xв}=20^{\circ}\text{C}; \quad \vartheta_{yx}=120^{\circ}\text{C}; \quad W^p=0.$$

В заключение обратим внимание еще на один аспект определения потерь теплоты с уходящими газами. К.п.д. энергетического котлоагрегата есть показатель эффективности использования в нем теплоты сгорания топлива. Поскольку теплоту сгорания топлива определяют по методу ВТИ для условий, в которых давление исходных продуктов (окислитель и топливо) и

продуктов сгорания одинаково, то и к.п.д. котлоагрегата должен определяться при таких же условиях. Следовательно, параметры продуктов сгорания (температуру, избытки воздуха и др.) следует измерять в точке, в которой их давление равно давлению воздуха перед воздухозаборным устройством дутьевого вентилятора. Поскольку дымосос затрачивает работу на сжатие продуктов сгорания до давления исходного холодного воздуха (окружающей среды), потребленную им, также, как и дутьевым вентилятором, энергию следует учитывать, как внесенную (возвращенную) в котлоагрегат.

Выводы. Разработаны методы построения схем энергетического баланса тепловой электростанции и оценки эффективности использования топлива в котлоагрегате, повышающие точность расчетов энергоэффективности технологических процессов, являющихся ключевыми в централизованном теплоснабжении городов и поселений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белинский С.Я., Липов Ю.М. Энергетические установки электростанций. Учебник для вузов. М.: Энергия, 1974. 304 с.
2. Горшков А.С. Техничко-экономические показатели тепловых электростанций. М.: Энергоатомиздат, 1984. 240 с.
3. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод. Коллектив авторов; под

ред. Н.В. Кузнецова и др. - 2-е изд., перераб. Ре-
принтное воспроизведение издания 1973 г. М.:
ЭКОЛИТ, 2011. 296 с.

4. Буланин В.А. Некоторые вопросы анализа
энергобаланса ТЭС // В кн.: Проблемы общей
энергетики и топливно-энергетического ком-
плекса. Труды Энергосетьпроекта, выпуск 12.
М.: 1979. С. 10–20.

5. Саламов А.А. Перспективы развития элект-
ростанций на органическом топливе // Электри-
ческие станции. 1993. № 8. С. 60–64.

6. Логинов Б.И. Номограмма для определе-
ния потери теплоты с уходящими газами // Элек-
трические станции. 1960. № 8.

7. Пеккер Я.Л. Теплотехнические расчеты
по приведенным характеристикам топлива (обоб-
щенные методы). М.: Энергия, 1977. 256 с.

8. Равич М.Б. Эффективность использова-
ния топлива. М.: Наука, 1977. 344 с.

9. Райс (J.G.Rice). Термодинамическая
оценка циклов совместной выработки теплоты и
электроэнергии в газотурбинных установках.
Часть 1 - Расчет по методу теплового баланса (Тр.
амер. общ. инженеров-механиков. Энергетиче-
ские машины и установки. 1987. №1. С. 1–10.

Информация об авторах

Буланин Владимир Анатольевич, кандидат технических наук. Генеральный директор ООО «Инновационные
технологии – Энергетика». E-mail: v_bulanin@mail.ru. Россия, 308007, г. Белгород, ул. Мичурина, 56.

Поступила в июне 2019 г.

© Буланин В.А., 2019

Bulanin V.A.

LLC «Innovative technologies – Energy»
Russia, 308007, Belgorod, str. Michurina, 56
E-mail: v_bulanin@mail.ru

METHOD OF ANALYSIS OF ENERGY POTENTIAL OF THERMAL ENERGY SOURCE FOR HEAT SUPPLY

Abstract. The main sources of thermal energy for the heat supply of cities and settlements are fuel-based thermal power plants and boilers. The article provides an analysis of the energy balance of a power plant in connection with the need to minimize the cost of fuel and electricity for heat supply. New analytical expressions comprehensively characterizing the efficiency of a power plant are developed. The analytical assessment of the impact of energy costs for the boiler needs on the energy balance of thermal power plant is made; methods for constructing schemes of the energy balance of thermal power plant and assessment of fuel efficiency in the boiler are designed. Attention is paid to errors arising from the use of the calculated values of air suction in the gas path of the boiler, and not the actual ones. Therefore, it is proposed to change the method of measuring heat loss with flue gases in order to eliminate or reduce the effect of air suction on the measurement results, taking into account the part of the flue gas heat received by the air in the air heater and returned to the boiler through the burner. The methods increasing accuracy of calculations of energy efficiency of the technological processes which are key in the centralized heat supply of the cities and settlements are developed.

Keywords: heat supply, heating, fuel, thermal power plant, energy balance, combined production, cogen-
eration.

REFERENCES

1. Belinsky S.Y., Lipow Y.M. Power plant
power plants [E`nergeticheskie ustanovki e`lek-
trostancij]. Textbook for universities. M.: Energy,
1974. 304 p. (rus)

2. Gorshkov A.S. Technical and economic indi-
cators of thermal power plants [Texniko-e`ko-
nomicheskie pokazateli teplovy`x e`lektrostancij].
M.: Energoatomizdat, 1984. 240 p. (rus)

3. Thermal calculation of boiler units. Norma-
tive method [Teplovoj raschet kotel`ny`x agregatov.

Normativny`j metod]. group of authors; ed.In. Kuz-
netsova et al. 2nd ed., revised / Reprint edition 1973.
M.: EKOLIT, 2011. 296 p. (rus)

4. Bulanin V.A. Some problems of the analysis
of the energy balance of thermal power plant. In
book.: Problems of General energy and fuel and en-
ergy complex. Proceedings of the power grid Project,
issue 12. M.: 1979. Pp. 10–20. (rus)

5. Salamonov A.A. Prospects of development of
power plants on organic fuel [Perspektivy` razvitiya
e`lektrostancij na organicheskom toplive]. Power
plants. 1993. No. 8. Pp. 60–64. (rus)

6. Loginov B.I. Nomogram for determination of heat loss with outgoing gases [Nomogramma dlya opredeleniya poteri tepla s uxodyashhimi gazami]. Power stations, 1960, № 8. (rus)

7. Pekker Ya.L. heat Engineering calculations on the given fuel characteristics (generalized methods) [Teplotekhnicheskie raschety po privedenny'm xarakteristikam topliva (obobshhenny'e metody)]. M.: Energy, 1977. 256 p. (rus)

8. Ravich M.B. Fuel use efficiency [E'ffektivnost' ispol'zovaniya topliva]. Moscow: Science, 1977. 344 p. (rus)

9. Rice (J.G. Rice). Thermodynamic evaluation of the cycles of joint heat and power generation in gas turbine plants [Termodinamicheskaya ocenka ciklov sovmestnoj vy'rabotki tepla i e'lektroe'nergii v gazoturbinnny'x ustanovkax]. Part 1 - Calculation by the method of heat balance (Tr. Amer. Ls. of mechanical engineers. Power machines and installations. 1987. No. 1. Pp. 1–10. (rus)

Information about the authors

Bulanin, Vladimir A. PhD. General Director LLC "Innovative technologies – Energy". E-mail: v_bulanin@mail.ru. Russia, 308007, city Belgorod, str. Michurina, 56.

Received in June 2019

Для цитирования:

Буланин В.А. Метод анализа энергетического потенциала источника тепловой энергии для теплоснабжения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 10. С. 74–83. DOI: 10.34031/article_5db3dec6d4a347.72433966

For citation:

Bulanin V.A. Method of analysis of energy potential of thermal energy source for heat supply. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 10. Pp. 74–83. DOI: 10.34031/article_5db3dec6d4a347.72433966

DOI: 10.34031/article_5db44849c10408.57667770

***Жданова И.В., Кузнецова А.А., Михайлина П.И.**
 Самарский государственный технический университет
 Россия, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244
 *E-mail: zdanovairina@mail.ru

АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ФИТНЕС-ЦЕНТРОВ

Аннотация. В статье уделяется внимание возросшему интересу к спорту не только у профессионалов, но и у занимающихся фитнесом. Очевидно, что крупные международные спортивные мероприятия и поддержка государственными программами, дали толчок для возведения новых спортивных комплексов в России. Меняются требования к проектированию и строительству спортивных объектов, больше внимания уделяется применению экологически инновационных решений и удовлетворению требований современного потребителя. Однако, в России не существует документа, который бы отвечал современным требованиям проектирования фитнес-центров. Авторами исследования был проведён анализ передового международного опыта проектирования фитнес-объектов, в результате которого выявлен развитый состав функциональных зон, с развитием дополнительного сопутствующего обслуживания, использование прилегающей территории, учёт требований МГН и соответствие «зелёным» стандартам. Определено, что в фитнес-объектах выделяют основные функциональные зоны, дополнительные функциональные зоны, вспомогательные, общественные, коммерческие и служебные. Обобщение разнообразных факторов позволило сформулировать основные архитектурно-планировочные принципы организации фитнес-центров, это – принцип доступности, принцип социальной адресности, принцип многофункциональности, принцип трансформации, принцип эргономичности, принцип природной интеграции, принцип технологичности, принцип экологической безопасности. В результате сделан вывод о необходимости разработки новой типологии фитнес-центров, отвечающей запросам современного потребителя, с удовлетворением принципов устойчивого развития, принципов энергоэффективности и прогрессивному изменению архитектуры города с помощью новых объектов спорта. А также выдвинутые принципы можно использовать для составления нормативной базы и применяться в курсовом и реальном проектировании.

Ключевые слова: фитнес-центры, архитектурно-планировочная организация, принципы проектирования, функциональные зоны, энергоэффективность.

Введение. В последнее десятилетие активно возросло финансирование массовой физической культуры [1, 2]. Увеличивается не только количество современных спортивных объектов, но и чис-

ленность людей, занимающихся двигательной активностью, а также в позитивную сторону меняется отношение к спорту и здоровому образу жизни у горожан (табл. 1) [3–5].

Таблица 1

Число спортивных сооружений [6]

	2005	2010	2013	2014	2015	2016
Всего сооружений	221508	247955	265942	276652	281842	290947
В том числе:						
Спортивные залы	62314	72381	70067	71798	72016	72122
Плавательные бассейны	3110	4237	4774	4956	5196	5441

Положительная тенденция наблюдается как в профессиональном спорте, так и у занимающихся физкультурой и спортом. Статистические данные свидетельствуют об увеличении численности занимающихся (таблица 2).

Опираясь на данные ВЦИОМ, можно сказать, что с каждым годом всё больше россиян занимаются спортом, например, показатель 61 % в 2015 году вырос до 76 % в 2017 году и до 79 % в 2018 году [7]. В России большей частью посетителей фитнеса является молодёжь в возрасте 20– 9 лет. Более 56% от всех занимающихся в фитнес-клубах в России составляют женщины и предпочитают групповые программы и кардиозону. Однако, в последнее время, этот показатель меняется, в результате формируется потребитель фитнес-услуг старшей возрастной группы (13,2 % клиентов старше 40 лет). По официальным данным Самара стоит на 8 месте в топ-10 фитнес столиц [8].

Несомненно, в России толчком для возведения спортивных комплексов стали крупные международные спортивные мероприятия (Универсиада в Казани в 2013 г., Зимние Олимпийские и

Паралимпийские игры в Сочи в 2014 г., Чемпионат мира по футболу в городах России, включая Самару в 2018 г.), которые проводились в России. Оживлению строительства спортивных объектов в России также способствуют федеральная целевая программа «Развитие физической культуры и

спорта в Российской Федерации на 2016–2020 годы», Государственная программа Российской Федерации «Развитие физической культуры и спорта», Стратегия развития культуры и спорта на период до 2020 года.

Таблица 2

Численность занимающихся в физкультурно-оздоровительных клубах, секциях и группах (тысяч человек) [6]

	2005	2010	2013		2014	2015	2016
Численность занимающихся – всего	17510,3	26257,0	35314,9		39071,4	43464,4	46701,3
В том числе по месту жительства	1874,8	2286,5	2354,0		2570,4	3173,0	3509,4
Из них в физкультурно-спортивных клубах	655,3	633,7	596,2		601,8	994,4	1101,6

В итоге, необходимость формирования новых подходов к архитектурно-планировочной организации фитнес-центров ориентированных на современного потребителя и определили актуальность работы.

Методика. Проблемам формирования, развития и проектирования фитнес-объектов, с особенностями их типологических и градостроительных аспектов, в последнее время уделяется пристальное внимание. Данное исследование опирается на работы, в которых рассматриваются следующие вопросы: *история формирования и развития физкультурно-спортивных комплексов (ФСК)* (Р. Вершилло, М.М. Посохин, Н.М. Резников, Г.В. Ясный и др.); *основы проектирования ФСК* (В.В. Адамович, П.А. Александров, З.Е. Архангельская, Б.Г. Бархин, Н.П. Былинкин, А.Л. Гельфонд, И.А. Ильин и др.); *типологические аспекты проектирования и модернизации ФСК* (Л.В. Аристова, И.А. Викулина, И.А. Емельянова, М.Г. Зобова, С.Г. Змеул, А.Ю. Кистяковский, Н.Н. Кирьянова, В.А. Машинский, Б.А. Маханько, М.Р. Савченко, Т.В. Таноманова и др.); *градостроительные аспекты проектирования ФСК* (И.А. Бондаренко, В.В. Владимиров, В.А. Глазычев, А.Э. Гутнов, Я.В. Косицкий, И.Г. Лежава, Т.Ф. Саваренская, И.М. Смоляр, А.В. Сосновский, В.И. Шередега, З.Н. Яргина и др.); *комплексные вопросы развития спортивной индустрии и материально-технической базы ФСК* (Дж. Андерсон, А.А. Годер, Л.В. Жестянников, Р. Йе, В.Б. Мяконьков, Д. Овенс, А.Б. Перлов, О. Рейли, М. Томич, К. Трики, З. Хойман и др.). Внедрение в практику проектирования и строительства новых архитектурно-планировочных принципов организации фитнес-центров позволит улучшить потребительские свойства объекта [9, 10], повысить экологические качества и уровень комфорта пребывания, а также улучшить архитектуру зданий [11–13].

В исследовании поставлены следующие задачи: изучить действующие в РФ нормативные документы по проектированию физкультурно-спортивных комплексов, провести анализ передового международного опыта проектирования и строительства современных физкультурно-спортивных комплексов и выявить специфику их функционально-пространственной структуры; определить принципы проектирования фитнес-объектов. Поэтому предметом исследования в данной статье стали функционально-планировочные особенности, влияющие на архитектурно-планировочную организацию фитнес-объектов.

Основная часть. Анализ истории развития физкультурно-спортивных комплексов показывает, что спорт приветствовался и поощрялся во все времена. Первые постройки для физических упражнений относятся к каменному веку. Однако, энергичное развитие наблюдается в XX веке вследствие технического прогресса и социально-политической обстановке. В это время появились новые виды спорта, что положило начало строительству специализированных спортивных зданий и сооружений разнообразных видов и конструкций.

Современный же фитнес зародился и начал развиваться в США на рубеже XIX – XX веков. Но только в начале 50-х годов стали задумываться о важности тренировок для здоровья человека. Именно в это время начали просвещать людей о пользе здорового образа жизни и о последствиях отсутствия физических упражнений. После того как в США в 70-х годах массово началось распространяться ожирение и эта проблема стала приобретать характер эпидемии, правительство приняло решение о популяризации фитнеса. В России фитнес начал развиваться чуть позже, в конце 80-х годов, и лишь только в 1990

г. в Санкт-Петербурге открыли первый официальный фитнес-клуб.

На сегодняшний день не существует документа, который бы полностью отвечал современным требованиям проектирования фитнес-объектов. В действующем СП 118.13330.2012 «Общественные здания и сооружения» приведены только требования к проектированию спортивных комплексов. Введённые с 1 июня 2017 года первые ГОСТы в области фитнес-услуг (ГОСТ Р 57116-2016 «Фитнес-услуги. Общие требования к фитнес-объектам», ГОСТ Р 57138-2016 «Фитнес-услуги для детей и подростков. Общие требования» и ГОСТ Р 56644-2015 «Услуги населению. Фитнес-услуги. Общие требования»), определяют расположение фитнес-объектов, распределение функциональных зон и т.д. и в большей степени ориентированы на предпринимателей, предоставляющих фитнес-услуги, затрагивают вопросы организации и безопасности и т.д. В итоге, рассмотрение отечественной нормативной базы архитектурного проектирования физкультурно-спортивных комплексов показывает, что она нуждается в модернизации.

В работе был проведён сравнительный анализ передового зарубежного опыта проектирования и строительства современных физкультурно-спортивных комплексов. Наиболее показательные из них, с особенностями функционально-планировочной структуры, представлены на рис.1. Например, Спортивный комплекс (штат Северная Каролина, г. Шарлотта, арх. Neighboring Concepts, 2010 год) (рис. 1, а) удостоен золотого сертификата LEED, в нём при строительстве и отделке использовались материалы вторичной обработки, а специальное металлическое серебристое покрытие крыши направлено на снижение нагрева внутренних помещений. Система освещения построена по принципу фактического пребывания и уровня естественного освещения, использование зенитных фонарей, больших площадей остекления и специальная ориентация здания – приёмы, направленные на минимизацию количества искусственного освещения. В спортивном комплексе активно используется связь природного окружения с внутренней структурой, благодаря сквозному общественному пространству во входной группе, которое делит комплекс на разные функциональные зоны: спортивную зону с раздевалками и обслуживанием, и общественную зону для посетителей с кафе и магазином. Многофункциональный зал – трансформируемый, что позволяет его задействовать одновременно под несколько разных тренировок (бокс, тренажёры, фитнес), а также с возможностью использования всего пространства. А в спортивном цен-

тре Гектор Берлиоз (Франция, Париж, арх. Dietmar Feichtinger Architects, 2013 год) (рис. 1, б) помещения для разных видов спорта (бокс, волейбол, фитнес, тренажёры) расположены друг над другом в отдельных залах, благодаря этому спортивный центр имеет чёткий компактный план. Все залы получают много естественного освещения, благодаря большим окнам, которые по фасаду закрыты сетчатым покрытием и ламелями. У всех залов есть связь с открытыми спортивными площадками и выход на озеленённую кровлю. Не стандартное расположение залов в Центре активного образа жизни в Виннипеге (Канада, арх. Cibinel Architecture, 2016 год), который удостоен серебряного сертификата по стандарту LEED (рис. 1, в). Прямоугольное в плане внутреннее многофункциональное пространство комплекса полностью открыто, нет никаких стен или перегородок, зонирование залов осуществляется с помощью разных уровней пола, связанных между собой мостками и лестницами-переходами. Различные виды спорта – тренажёрный зал, стена для скалолазания, гимнастический зал с беговыми дорожками, открыты в многосветное пространство комплекса. Особенностью комплекса является развитая исследовательская зона, в которой учёные изучают психологические аспекты спорта, физического развития и диетологии. Развитые открытые и закрытые общественные пространства присутствуют в спортивном комплексе Csörsz (Венгрия, г. Будапешт, арх. T2, а, 2012 год) (рис. 1 г). Открытое пешеходное общественное пространство делит наземную часть комплекса на два блока квадратной формы – тренажёрный зал с трибунами и бассейн с вспомогательными помещениями. Пешеходная зона образует многоуровневую связь с открытыми спортивными площадками и открытым бассейном с другой стороны от главного входа. Другая пешеходная зона с уровня земли поднимается на открытое общественное пространство на крыше комплекса. Благодаря перепаду уровней, в подземной части комплекса образуется закрытое общественное пространство, связывающее два блока. Сложная гранёная крыша комплекса из медных плоскостей объединяет два блока, образуя сплошную поверхность, а также в некоторых местах создаёт области вертикального остекления между гранями крыши. Проведённый анализ опыта показал развитый состав функциональных зон рассматриваемых объектов, с выявлением дополнительного сопутствующего обслуживания, использования прилегающей территории, учёта требований МГН и обязательное соответствие «зелёным» стандартам.

Изучение нормативных материалов и обобщение современного опыта проектирования позволили сформулировать основные признаки фитнес-объектов. В фитнес-объектах выделяют: *основные функциональные зоны* (детский, малый, большой и спортивный бассейн; тренажёрный зал; зона бокса и единоборств; залы гимнастический, танцевальный, групповых и индивидуальных занятий, многофункциональный зал; функциональный тренинг, кросс-тренинг; беговой трек; стена для скалолазания; велостудия и студия йоги и PILATES), *дополнительные функциональные зоны* (кабинет врача; зона отдыха; комнаты для встреч; групповые занятия для детей, детская комната, развивающие уроки для детей;

солярий; сауны; массажный кабинет), *вспомогательные* (душевые, раздевалки, санузлы, помещения для хранения инвентаря, методические кабинеты, пункты проката, парковка, прачечная самообслуживания), *общественные* (входная зона, коммуникационная зона, зона рецепции, фитнес-бар, гардероб, камера хранения, отдел продаж, кофейная), *коммерческие* (торговые точки, фитнес-туры, врач-диетолог, салон красоты, массажный кабинет, исследовательская зона, кафе-рестораны) и *служебные* (административные помещения, технические, мастерские, комната отдыха персонала, бытовые помещения для персонала, хозяйственные помещения).

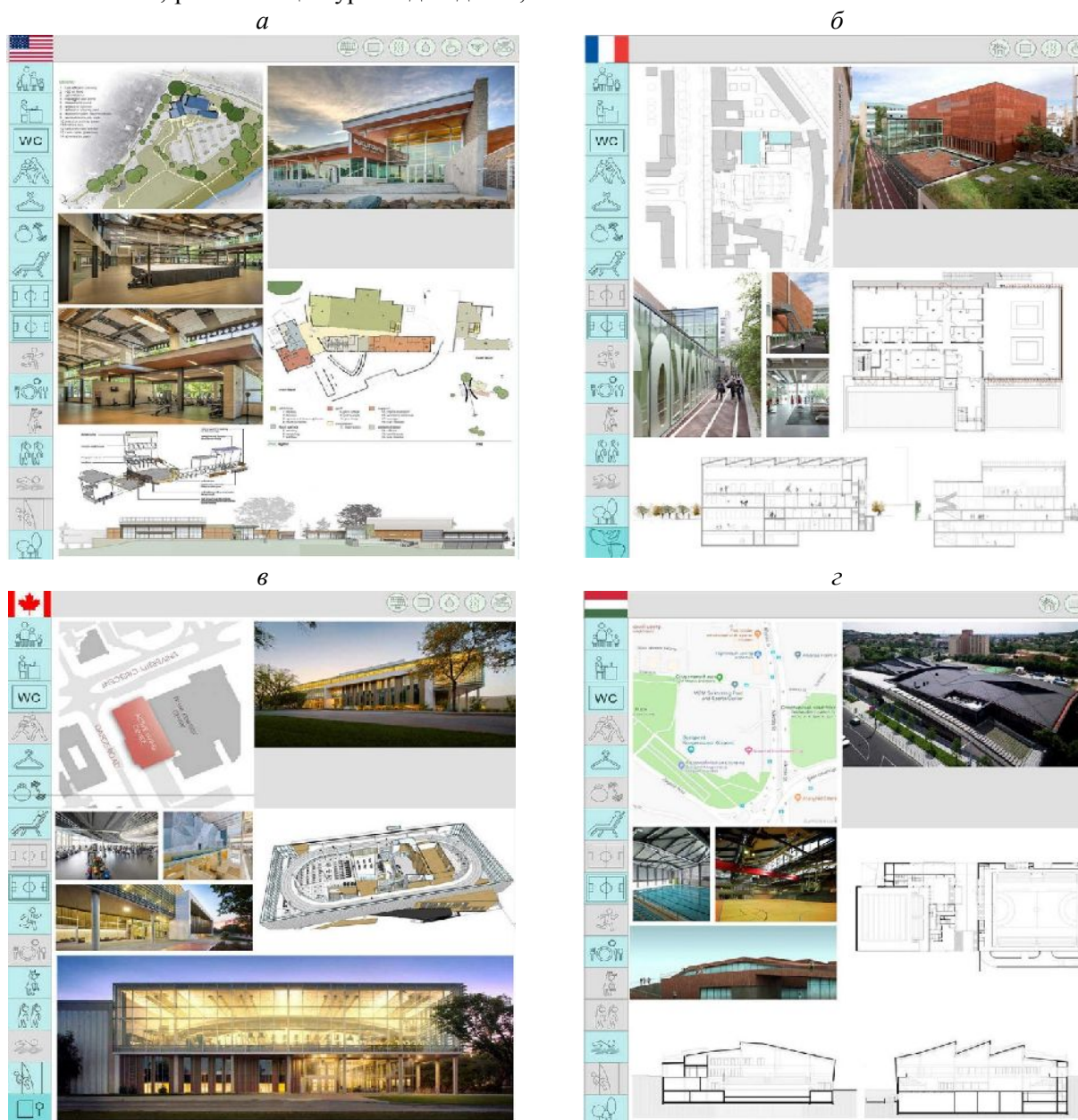


Рис. 1. Зарубежный опыт проектирования и строительства современных физкультурно-спортивных комплексов: а – Спортивный комплекс, штат Северная Каролина, г. Шарлотта, арх. Neighboring Concepts, 2010 год; б – Спортивный центр Гектор Берлиоз, Франция, Париж, арх. Dietmar Feichtinger Architects, 2013 год; в – Центр активного образа жизни в Виннипеге, Канада, арх. Cibinel Architecture, 2016 год; г – Спортивный комплекс Csörsz, Венгрия, г. Будапешт, арх. T2.a, 2012 год

Обобщение градостроительных, объёмно-планировочных, функциональных факторов позволило сформулировать основные принципы проектирования фитнес-объектов, которые могут найти отражение при проектировании фитнес-центров.

Принцип доступности – предусматривает пешеходную и транспортную доступность и равномерное размещение фитнес-центров в структуре города в зависимости от пропускной способности, демографической специализации и прочих факторов. Территория для проектирования должна быть оборудована с учётом требований маломобильных групп населения. Фитнес-объекты следует размещать в радиусе пешеходной доступности от жилых зданий.

Принцип социальной адресности – обеспечивает доступность и востребованность потребителей различных групп в зависимости от контингента и уровня физической подготовленности: VIP-клиентов, детей, подростков, пожилых, людей с ограниченными физическими возможностями и иностранных туристов.

Принцип многофункциональности – включает в себя основные, дополнительные, общественные, коммерческие, вспомогательные и служебные функции.

Принцип трансформации – предусматривает возможность трансформации не только залов, но и общественных пространств.

Принцип эргономичности – учитывает гигиенические, антропометрические, физиологические параметры потребителей.

Принцип природной интеграции – включение природной среды в интерьер (озеленение общественных пространств, вертикальное озеленение, использование природных материалов), а также в экстерьер объекта (интеграция в окружающую среду, использование природных материалов, озеленение кровли, озеленение фасадов).

Принцип технологичности – обеспечивает энергосберегающими технологиями: системой повторного использования ресурсов, сбережение и увеличение природных материалов, использование местных материалов.

Принцип экологической безопасности – учитывает микроклиматические и санитарно-гигиенические параметры, предусматривает возможность защиты открытых спортивных и игровых площадок.

В данном исследовании разработанные принципы проектирования фитнес-объектов прошли апробацию на экспериментальном проекте фитнес-центра в Самаре (рис. 2). Проектируемый объект расположен в Октябрьском районе в границах улиц Ново-Садовая и Николая Панова. Фитнес-центр предполагается разместить на

главной транспортной магистрали города, поэтому будет обеспечиваться хорошая транспортная и пешеходная доступность, так как рядом расположены остановки общественного транспорта. Территория спланирована таким образом, что обеспечивает доступность маломобильных групп населения, в местах перепадов уровней устраиваются пандусы вместо ступеней, парковочные места располагаются не дальше 50 м от входа, что будет отражать выявленный принцип доступности. Экспериментальный фитнес-центр представляет собой семейный объект премиум класса (принцип социальной адресности). Ориентируясь на место проектирования и на социальную принадлежность, функциональная структура фитнес-центра представляет собой сочетание таких основных функций как: фитнес-зал со всеми необходимыми зонами, спортивный бассейн, детский бассейн, термальный бассейн с гидромассажем, исследовательская зона, раздевалки, входной блок, зоны отдыха, детского фитнеса и досуга, административный блок (соответствие принципа многофункциональности). Тренажёрный зал - многофункциональный, без стационарных перегородок, включает в себя зону бокса и единоборств, кардио-зону (в том числе для МГН), зону свободных весов (в том числе для МГН), зону функционального тренинга, зону кросстренинга, беговой трек, зону стрейчинга. При необходимости тренажёрный зал может быть разделён трансформируемыми перегородками на два или более залов. Большое общественное пространство, освещаемое с помощью световых колодцев, может быть также разделено с помощью мобильных перегородок или мебелью для различных мероприятий, этим обеспечивается принцип трансформации. В интерьере комплекса в зале ресторана используются зелёные стенки с мхом, суккулентами и ампельными растениями. Часть кровли эксплуатируемая, устроена по экстенсивному типу (принцип природной интеграции), а часть кровли техническая, на ней размещается энергосберегающее оборудование (принцип технологичности). Объёмно-планировочная структура сформирована блоком фитнес-зала и сопутствующих в нём зон (2 этажа), блоком бассейна (2 этажа) и коридором-галереей соединяющей блоки и освещаемой световыми колодцами.

Выводы. В итоге исследования удалось сделать следующие выводы:

1. Действующие нормативные документы РФ по проектированию фитнес-объектов устарели и не отвечают современным требованиям и нуждаются в модернизации.

2. Анализ передового опыта проектирования фитнес-объектов позволил обнаружить не

только развитый функциональный состав, включающий основные, дополнительные, вспомогательные, общественные, коммерческие и служебные зоны, но и мероприятия по использованию

прилегающей территории, обязательно с учётом потребностей МГН и учёт экологических принципов.



Рис. 2. Экспериментальный проект фитнес-центра в г. Самара, выполненный на кафедре АЖОЗ АСА СамГТУ, студенты Асеева Анастасия, Михайлина Полина, преподаватели к.арх, доц. Жданова И.В., к.арх., доц. Кузнецова А.А.

3. Обобщая полученную информацию, удалось выявить принципы проектирования фитнес-объектов – принцип доступности, принцип социальной развитости, принцип многофункциональности, принцип трансформации, принцип эргономичности, принцип природной интеграции, принцип технологичности, принцип экологической безопасности.

4. Выявленные принципы проектирования прошли апробация в экспериментальном проекте фитнес-центра в Самаре, в котором авторами предложена концепция, ориентированная на потребителей премиум-класса с развитой детской зоной досуга и спорта, с исследовательской зоной посвящённой вопросам спорта и питания, зоной спа-услуг, торговыми точками, многофункциональным залом кафе, развитым общественным пространством и многофункциональными фитнес-залами.

В заключении хотелось бы отметить, что в России необходимо развивать новую типологию фитнес-центров с развитым функциональным со-

ставом и планировочной организацией, ориентированную на запросы современного потребителя и удовлетворяющую требованиям «зелёных» стандартов [14, 15]. Несомненно, все выдвинутые принципы будут способствовать энергоэффективному использованию ресурсов, удовлетворению принципов устойчивого развития, современному развитию архитектуры города, а также приобщать к культурным способам проведения досуга и оздоровления нации.

Полученные результаты исследования могут быть использованы при составлении нормативно-рекомендательных документов по проектированию фитнес-объектов, применяться в экспериментальном и учебном проектировании фитнес-центров различной классификации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Асеева А.А. Тенденции развития спортивных сооружений в структуре города (на примере г. Самара) // Молодежь и XXI век - 2018 материалы VIII Международной молодежной научной конференции: в 5 томах. 2018. С. 245–248.

2. Ефремова М.В., Чкалова О.В., Бошман Т.К. Анализ российского рынка фитнес-услуг // Экономический анализ: теория и практика. 2015. № 21 (420). С. 25–37.

3. Снятков А.Н. Развитие физической культуры и спорта в Москве (1990-2000 гг.) // Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. 2017. № 3-1 (77). С. 142–145.

4. Vavilova T.Ya., Zhdanova I.V., Kalinkina N.A. Regional specific features of modern residential compounds. Affordable housing in the city of Samara, Russia // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering electronic edition. 2018. 012137.

5. Шевалдина Е.И., Зайнуллин В.К., Шевалдина Ю.С. Диагностика современного развития сферы спортивно-оздоровительных услуг на примере октябрьского района городского округа город Уфа // Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика. 2016. № 3 (17). С. 31–41.

6. Здравоохранение в России [Электронный ресурс]. URL: http://www.gks.ru/free_doc/doc_2017/zdrav17.pdf (дата обращения: 24.07.2019).

7. ВЦИОМ: три четверти россиян занимаются спортом, половина старается правильно питаться [Электронный ресурс]. URL: <http://tass.ru/obschestvo/4261259> (дата обращения: 25.07.2019).

8. Популярен ли фитнес в России? Вся правда [Электронный ресурс]. URL: <http://fergum-body.ru/populyaren-li-fitness-v-rossii.html> (дата обращения: 24.07.2019).

9. Кузнецова А.А., Викулина И.А. Анализ существующих классификационных признаков

спортивных сооружений // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и дизайн сборник статей, электронный ресурс. под редакцией М.В. Шувалова, А.А. Пищулева, Е.А. Ахмедовой. Самара, 2018. С. 129–133.

10. Пономаренко А.М., Жигулина А.Ю. Современные большепролетные спортивные сооружения России // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и дизайн сборник статей. под редакцией: М.И. Бальзанникова, К.С. Галицкова, Е.А. Ахмедовой; Самарский государственный архитектурно-строительный университет. Самара, 2016. С. 118–122.

11. Generalova E.M., Generalov V.P. Residential high-rises in Dubai: typologies, tendencies and development prospects // CTBUH Journal. 2018. № 4. Pp. 36–42.

12. Вавилова Т.Я., Каясова Д.С., Лукьянова Ю.А. Архитектурно-типологические приоритеты устойчивого развития урбанизированной среды // Градостроительство и архитектура. 2017. Т. 7. № 3 (28). С. 106–112.

13. Potienko N.D., Kuznetsova A.A., Solyakova D.N., Klyueva Y.E. The global experience of deployment of energy-efficient technologies in high-rise construction // E3S Web of Conferences D. Safarik, Y. Tabunschikov and V. Murgul (Eds.). 2018. P. 01017.

14. Potienko N., Kalinkina N., Bannikova A. Low-grade energy of the ground for civil engineering // MATEC Web of Conferences Ser. "International Science Conference SPbWOSCE-2016 "SMART City"" 2017. P. 06026.

15. Зрнзевич Н., Цветкович Р., Зрнзевич Й. Спортивные объекты как важный фактор развития архитектуры города // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 2. С. 90–96.

Информация об авторах

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

Кузнецова Анна Андреевна, кандидат архитектуры, доцент кафедры Архитектуры жилых и общественных зданий. E-mail: amoge_86@mail.ru. Самарский государственный технический университет. Россия, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244.

Михайлина Полина Игоревна, студент кафедры архитектуры жилых и общественных зданий. E-mail: polinkamik12@yandex.ru. Самарский государственный технический университет. Россия, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244.

Поступила в августе 2019 г.

© Жданова И.В., Кузнецова А.А., Михайлина П.И., 2019

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

Samara State Technical University

443100, Russia, Samara, str. Molodogvardeiskaya, 244

*E-mail: zdanovairina@mail.ru

ARCHITECTURAL AND PLANNING PRINCIPLES OF FITNESS CENTERS ORGANIZATION

Abstract. The article focuses on the increased interest in the sport among professionals and others engaged in fitness. It is obvious that major international sports events and support by state programs have given impetus to the construction of new sports complexes in Russia. Requirements for the design and construction of sports facilities are changing; attention is paid to the application of environmentally innovative solutions and meeting the requirements of modern consumers. However, in Russia there is no document that meets the modern requirements of designing fitness centers. The authors of the study analyze the international experience in designing fitness facilities. As a result, the developed composition of the functional zones is revealed, with the development of additional related services, the use of the adjacent territory, taking into account the requirements of MGN and compliance with "green" standards. It has been determined that in fitness facilities the main functional zones, additional functional zones, auxiliary, public, commercial and service zones are distinguished. A generalization of various factors made it possible to formulate the basic architectural and planning principles for organizing fitness centers: this is the principle of accessibility, the principle of social targeting, the principle of multifunctionality, the principle of transformation, the principle of ergonomics, the principle of natural integration, the principle of manufacturability and the principle of environmental safety. In the result, the conclusion about the necessity of developing a new typology of fitness centers that meet the needs of the modern consumer is made to meet the principles of sustainable development, the principles of energy efficiency and progressive change in the architecture of cities with new sports facilities. In addition, the advanced principles can be used for drawing up of normative base and to be applied in course and real design.

Keywords: fitness centers, architectural and planning organization, principles of design, functional zones, energy efficiency.

REFERENCES

1. Aseeva A.A. Tendencies of development of sports facilities in the city structure (for example, Samara) [Tendenzii razvitiya sportivnih sooruzhenij v structure goroda (na primere Samara). Molodej i XXI vek - 2018 materials VIII Megdunaroodnoi molodegnoi nauchnoi konferencii: in 5 tomah. 2018. Pp. 245–248. (rus)]
2. Efremova M.V., Chkalova O.V., Boshman T.K. Analysis of the Russian market of fitness services [Analiz rossiiskogo rinka fitness-uslug]. Economic analysis: theory and practice. 2015. No. 21 (420). Pp. 25–37. (rus)]
3. Snjatkov A.N. Development of physical culture and sports in Moscow (1990–2000) [Razvitie fizicheskoi kulturi i sporta v Moskve (1990–2000)]. Historical, philosophical, political and law Sciences, culturology and study of art. Questions of theory and practice. 2017.3-1 No. (77). Pp. 142–145. (rus)]
4. Vavilova T.Ya., Zhdanova I.V., Kalinkina N.A. Regional specific features of modern residential compounds. Affordable housing in the city of Samara, Russia. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering electronic edition. 2018. 012137.
5. Shevaldina E.I. Zajnullin, V.K., Shevaldina U.S. Diagnostics of modern development of sports services on the example of the kastychnitski district of UFA City Municipal District [Dagnostika sovremennogo razvitiya sferi sportivno-ozdorovitel'nykh uslug na primere oktyabr'skogo raiona g.o. Ufa]. Messenger. Science, education, the economy. Series: Economy. 2016. No. 3 (17). Pp. 31–41. (rus)]
6. Health in Russia [Electronic resource]. URL: http://www.gks.ru/free_doc/doc_2017/zdrav17.pdf (last accessed: 24.07.2019).
7. VCIOM: three-quarters of Russians engage in sports, half trying to eat right [Electronic resource]. URL: <http://tass.ru/obschestvo/4261259> (last accessed: 25.07.2019).
8. Whether fitness is popular in Russia? The whole truth [Electronic resource]. URL: <http://ferum-body.ru/populyaren-li-fitness-v-rossii.html> (last accessed: 24.07.2019).
9. Kuznetsova A.A., Vikulina I.A. Analysis of existing classifications of sports facilities [Analiz suschestvuyuschih klassifikatsionnykh priznakov sportivnykh sooruzhenij]. Tradition and innovation in construction and architecture. Architecture and design collection of articles, electronic resource. edited by M.V. Shuvalov, A.A. Pishhuleva, E.A. Akhmedova. Samara, 2018. Pp. 129–133. (rus)]
10. Ponomarenko A.M. Zhigulin A.Y. Modern fabric and sporting facilities of Russia [Sovremennye bolsheproletnye sportivnye sooruzheniya Rossii]. Tra-

dition and innovation in construction and architecture. Architecture and design collection of articles. edited by: Balzannikova M.I, Galickova K.S., Akhmedova E.A.; Samara State University of architecture and civil engineering. Samara, 2016. Pp. 118–122. (rus)

11. Generalova E.M., Generalov V.P. Residential high-rises in Dubai: typologies, tendencies and development prospects. CTBUH Journal. 2018. No. 4. Pp. 36–42.

12. Vavilov T.Ya., Kajasova D.S., Lukyanova Y.A. Architectural and typological priorities sustainable development urban Wednesday [Arhitekturno-tipologicheskie prioritety ustoychivogo razvitiya urbanizirovannoi sredi]. Urbanism and architecture. 2017. Vol. 7. No. 3 (28). Pp. 106–112. (rus)

13. Potienko N.D., Kuznetsova A.A., Solyakova D.N., Klyueva Y.E. The global experience of deployment of energy-efficient technologies in high-rise construction. E3S Web of Conferences D. Safarik, Y. Tabunschikov and V. Murgul (Eds.). 2018. Pp. 01017.

14. Potienko N., Kalinkina N., Bannikova A. Low-grade energy of the ground for civil engineering. MATEC Web of Conferences. "International Science Conference SPbWOSCE-2016 "SMART City"" 2017. Pp. 06026.

15. Zrnzevich N., Cvetković, R., Zrnzevich J. Sports facilities as an important factor in the development of the architecture of the city [Sportivnie obiekty kak vajni factor razvitiya arhitekturi goroda]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 2. Pp. 90–96. (rus)

Information about the authors

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

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

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

Received in August 2019

Для цитирования:

Жданова И.В., Кузнецова А.А., Михайлина П.И. Архитектурно-планировочные принципы организации фитнес-центров // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 10. С. 84–92. DOI: 10.34031/article_5db44849c10408.57667770

For citation:

Zhdanova I.V., Kuznetsova A.A., Mikhailina P.I. Architectural and planning principles of fitness centers organization. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 10. Pp. 84–92. DOI: 10.34031/article_5db44849c10408.57667770

DOI: 10.34031/article_5db448635595e4.19125015

***Щукина Т.В., Воробьева Ю.А., Кароли М.А., Логачев А.В.**

Воронежский государственный технический университет

Россия, 394000, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, д. 84

*E-mail: cccp38@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ ОЗЕЛЕНЕНИЯ НА ЭКОЛОГИЮ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ БЛАГОУСТРОЙСТВА ОБЪЕКТА СОЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Аннотация. Рассматриваются вопросы возможного оздоровления воздушной среды микрорайонов за счет формирования природно-парковых зон, в том числе при отсутствии требуемых площадей посредством освоения периферийных земель городских округов. Составлен рейтинг пород деревьев, вносящих наибольший вклад в обогащение атмосферы, посредством которого можно оценить кислородопroduцируемость 1 га зеленых насаждений уже до завершения периода их интенсивного роста. Предложены формулы для расчета потребления кислорода человеком с учетом возраста и различных физических нагрузок, позволяющие в конечном итоге определить требуемые площади озеленения для восстановления газо-воздушного баланса в зависимости от численности людей, пребывающих на рассматриваемых объектах. Для формирования массивов насаждений, целью которых является защита от шума, получено выражение, определяющее уровень подавления звуковой нагрузки в зависимости от ширины проектируемой лесополосы. На примере общеобразовательной школы, планируемой к строительству в Железнодорожном районе г. Воронежа, выполнены расчеты потребления кислорода учащимися и, соответственно, требуемых площадей под посадку деревьев для восстановления баланса. Сделан вывод о заниженных нормативах по озеленению территорий и, в связи с этим, о необходимости организации сопутствующих городам природно-парковых зон, существенно увеличивающих размеры лесных массивов.

Ключевые слова: озеленение территорий, нормы озеленения, факторы воздушной среды, экологическая безопасность.

Введение. При существующей плотности застройки мегаполисов остро встает вопрос об экологии окружающей среды, так как неизбежное сокращение зеленых массивов и увеличение транспортных потоков отрицательно сказывается на здоровье населения. Для преодоления последствий таких градостроительных тенденций необходимо решать задачи повышения экологической безопасности еще на этапе проектирования и возведения объектов различного назначения.

Стремительная урбанизация, как глобальная проблема, появилась несколько десятков лет назад. Расширение крупных городов до мегаполисов приводит к снижению качества воздуха и воды, к избыточному звуковому давлению, воздействию магнитных полей и сокращению зеленых насаждений, что, безусловно, требует создания зон экологического комфорта [1–5]. При достигнутом уровне техники, направленном на нейтрализацию вредного влияния различного рода загрязнений, одним из главных условий сохранения здоровья населения мегаполисов является наличие и расширения природно-парковых зон, как источников чистого и обогащенного кислородом воздуха.

В связи с этим целью выполненных исследований является прогнозируемая оценка восполнения кислорода зелеными насаждениями в газо-воздушном балансе городской среды с учетом

его потребления в зависимости от среднестатистической численности людей на территории пребывания.

Для рассмотрения данной проблемы на конкретном примере и возможностей ее решения был выбран объект социального назначения, планируемый к строительству в Железнодорожном районе г. Воронежа. Чтобы выполнить оценку восполнения посредством озеленения территории общеобразовательной школы кислорода, потребленного обучающимися, были поставлены следующие задачи: систематизировать породы деревьев с интенсивным фотосинтезом, характеризующимся значительным поглощением углекислого газа; выявить степень влияния зеленых насаждений на снижение запыленности атмосферного воздуха и концентраций вредных веществ; выполнить анализ шумопоглощающих показателей лесополос разной ширины; оценить общую потребность в кислороде для школьников и педагогов; подобрать требуемые площади и породы деревьев под посадку; сравнить полученный результат с проектными решениями, соответствующими действующим нормам.

Методология. Содержание углекислого газа в составе воздуха играет так же достаточно важную роль и в жизнедеятельности человека, и в процессе фотосинтеза растений, направленного

на получение углеводов и белков. В среднем концентрация углекислого газа мала и составляет 0,03 %. Однако ее изменение оказывает существенное влияние на характерную для данного района флору. При повышении концентрации на 0,01 % продуктивность фотосинтеза и урожайность возрастает вдвое [6, 7], а незначительное снижение содержания углекислого газа, резко сокращает скорость фотосинтеза, и, следовательно, количество выделяемого кислорода. Кроме того, воспроизводство кислорода зависит от вида или породы зеленых массивов. Так, например, самыми продуктивными считаются следующие деревья: дуб и лиственница, выделяющие с одного гектара около 6,7–13,9 т/(га·год) кислорода, сосна и ель с показателем 4,8–10,9 т/(га·год) [8, 9]. Ежегодно один гектар соснового леса в зрелом возрасте поглощает 14,4 т углекислого газа, при этом выделяя 10,9 т кислорода. За тот же период времени 40-летняя дубрава площадью 1 га поглощает 18 т углекислоты с образованием 13,9 т кислорода. Доказано, что одна тонна, приведенная к абсолютно сухому состоянию древесины независимо от ее вида, поглощает в среднем 1,83 т углекислого газа с выделением 1,32 т кислорода [8, 9]. Однако, интенсивность процесса кислородопроизводимости, в соответствии с данными табл. 1, напрямую зависит от породы зеленых насаждений.

Существует явная закономерность между скоростью роста посадок и воспроизводством кислорода. Чем больше скорость роста дерева и его размеры, тем количество выделяемого им кислорода выше. Так, например, тополь является одним из самых быстрорастущих пород, и, соответственно, за время его жизни воспроизводство кислорода превосходит показатели других видов

деревьев. Взрослый тополь в возрасте 25–30 лет выделяет в 7 раз больше кислорода, чем с такими же показателями ель [9]. К достоинствам тополя так же относятся устойчивость к загрязнениям и способность хорошо увлажнять воздух, однако в последние десятилетия остро встал вопрос об аллергии данной породы для населения.

Наряду с лесными массивами, кустарники и низкорослые растения вносят достаточно значимый вклад в поддержание соотношения кислорода в составе воздуха. Один гектар подобных зеленых насаждений за 1 час приблизительно поглощает 8 л углекислого газа, что соответствует объему его выделения при дыхании 200 человек за этот же период времени [9].

Кроме столь важного жизнеобеспечивающего фактора как кислородопроизводительность, листья растений обладают способностью поглощать из воздуха и связывать до 50–60 % токсичных газов. В среднем 1 кг листьев накапливает 100 г SO₂, 26 г HCl, 5–6 г фторидов [10]. Достаточно высокую устойчивость к загрязнениям воздуха проявляют канадский тополь, белая ива, американский клен, белая акация, бородавчатая береза, сирень, узколистный лох, гладкий вяз, блестящий кизильник, белый снежноягодник, боярышник, барбарис и др. Больше всего ядовитых веществ приходится на придорожную территорию, растительность которой может поглощать тяжелые металлы не только из воздуха, но и из почвы. Хорошими адсорбентами свинца и кадмия возле дорог являются береза, липа, желтая акация и травяной покров. Кроме того, растительность способна улавливать и содержащиеся в воздухе радиоактивные вещества. До 50 % радиоактивного йода может быть задержано листьями и хвоей зеленых насаждений.

Таблица 1

Количество кислорода, выделяемое за 1 год с 1 га зеленых насаждений в зависимости от их вида [7, 8]

Рейтинг кислородопроизводительности	Название растения	Количество кислорода, м ³
1	Береза	1653
2	Сирень	1100
3	Кедр	1066
4	Ель	1043
5	Осина	1018
6	Ясень	900
7	Сосна	865
8	Дуб	850
9	Пихта	778
10	Лиственница	730
11	Клен	620
12	Липа	470

Наряду с поглощением вредных веществ и углекислого газа имеющиеся посадки эффективно

снижают запыленность воздуха. Наибольший результат в задерживании пыли достигается в обычной газонной траве. При высоте газона в 10 и 20 см

улавливание происходит, соответственно, в 3–6 и 10 раз больше, чем деревьями и кустарниками на той же площади [10]. Так же следует отметить, что один гектар травы в год усваивает тонну углерода при разложении 2400 м³ углекислого газа [9]. Среди деревьев лучше всего с осаждением пыли справляются хвойные. Оставаясь зелеными, как правило, круглый год, их покров задерживает в 1,5 раза больше пыли, чем листья той же массы.

Помимо всего вышеперечисленного, зеленые насаждения препятствуют распространению городского шума. В зависимости от регулярности и схемы посадки деревьев и кустарников, достигается различный эффект, снижающий звуковое давление [11]. При этом одиночные деревья не оказывают противодействие в распространении шума.

Для снижения звукового давления, особенно от автомагистралей, целесообразней посадку деревьев выполнять в шахматном порядке с кустарниками разной высоты. Наибольший эффект достигается при нескольких рядах деревьев и кустарников. Плотные сомкнутые насаждения снижают уровень шума до 18 дБ [11]. Однако последние лесополосы организовать затруднительно по причине достаточно значительных периодов роста, а затем и угнетения формируемой флоры.

При планировании снижения предполагаемого уровня шума за счет посадки деревьев и кустарников можно воспользоваться зависимостью, полученной с учетом имеющихся в работе [11] экспериментальных данных (табл. 2)

Таблица 2

Данные натурных измерений уровня шума в исследуемых зеленых зонах [11]

Характеристики полосы	Ширина сечения	Снижение уровня шума, дБ
Рядовая посадка с шагом 5 м, подкroновое пространство закрыто лиственным видовым составом	35	8
Рядовая посадка с шагом 5 м, подкroновое пространство закрыто смешанным видовым составом, включающим до 40 % хвойных	25	7–7,5
Рядовая посадка с шагом 4,5 м, подкroновое пространство закрыто лиственным видовым составом	18	5
Рядовая посадка с шагом 4,5 м, подкroновое пространство закрыто лиственным видовым составом	18	3–4
Рядовая посадка с шагом 4 м, подкroновое пространство закрыто смешанным видовым составом, включающим до 25 % хвойных	15	3–3,5
Свободная посадка, подкroновое пространство закрыто смешанным видовым составом, включающим до 60 % хвойных	15	2–3,5

$N = 0,00004 p^3 - 0,007 p^2 + 0,5147 p - 2,9951$, (1)
где N – уровень снижения звукового давления, дБ;
p – ширина сечения посадки деревьев с шагом 4–5 м.

Зная ширину участков можно оценить достигаемые в последствии возможности по снижению звукового давления по уравнению (1) при организованной посадке деревьев и кустарников. Однако наибольший шумопоглощающий эффект происходит при ширине в 25 м. Дальнейшее увеличение лесополосы приводит к планомерному, но не столь интенсивному снижению звукового давления как в первые 25 м.

Все указанные преимущества природно-парковых зон, безусловно, создают комфортные условия для проживания населения мегаполисов. Чем

больше их площадь, тем безопасней район строительства по экологическим показателям. Так для обеспечения годовой нормы потребления кислорода одним человеком, которая в среднем составляет 400 кг/год, необходима площадь лесов 0,1–0,3 га [9].

Потребность в кислороде зависит от возраста человека, веса, а также находится ли он в состоянии покоя или занят умственным, легким, средней тяжести или тяжелым трудом. Например, лежащему больному достаточно 360 литров кислорода в день, а при тяжелом физическом труде потребление может достигать до 900 литров в день [12].

По данным [12] в зависимости от возраста обучающихся в образовательных учреждениях расход кислорода увеличивается в соответствии со сведениями, приведенными в табл. 3.

Таблица 3

Потребление кислорода в зависимости от возраста человека в спокойном состоянии [12]

Возраст, в годах	7	10	12	13	14	15	16+
Потребление кислорода, мл/мин	132	169	166	177	208	210	250

Приведенные в табл. 3 показатели аппроксимируются с высокой точностью формулой

$$g_{\text{мин}}^I = 0,424 \tau^3 - 13,63 \tau^2 + 149,5 \tau - 391,6, (2)$$

или с меньшей точностью, но достаточной для расчетов средних значений, зависимостью

$$g_{\text{мин}}^I = 1,107 \tau^2 - 13,97 \tau + 18,9, (3)$$

где $g_{\text{мин}}^I$ – потребление одним ребенком или взрослым кислорода за одну минуту в спокойном состоянии, мл/мин.; τ – возраст в годах.

Тогда для человека за какой-либо период времени количество потребляемого кислорода в зависимости от вида его деятельности можно определить по формуле

$$g_i^I = K_a g_{\text{мин}}^I t, (4)$$

где t – время пребывания человека в рассматриваемых условиях, мин.; K_a – коэффициент физической

активности, принимаемый равным: 1 – при спокойной состоянии; 2 – при средних физических нагрузках; 3 – при активных физических нагрузках.

Зная среднестатистическое количество людей и определяя потребление кислорода по формулам (3, 4), можно рассчитать размеры природно-парковых зон, либо периферийных к городским округам лесных массивов в зависимости от необходимого объема посадочного материала. Это особенно важно при проектировании микрорайонов, особенно с жилой застройкой.

Основная часть. Рассмотрим на примере Железнодорожного района г. Воронежа решение вопросов повышения экологической безопасности посредством эффективного озеленения имеющих территорий. В указанном районе по адресу ул. Артамонова (поз. 54) к строительству запланирована общеобразовательная школа (рис. 1).

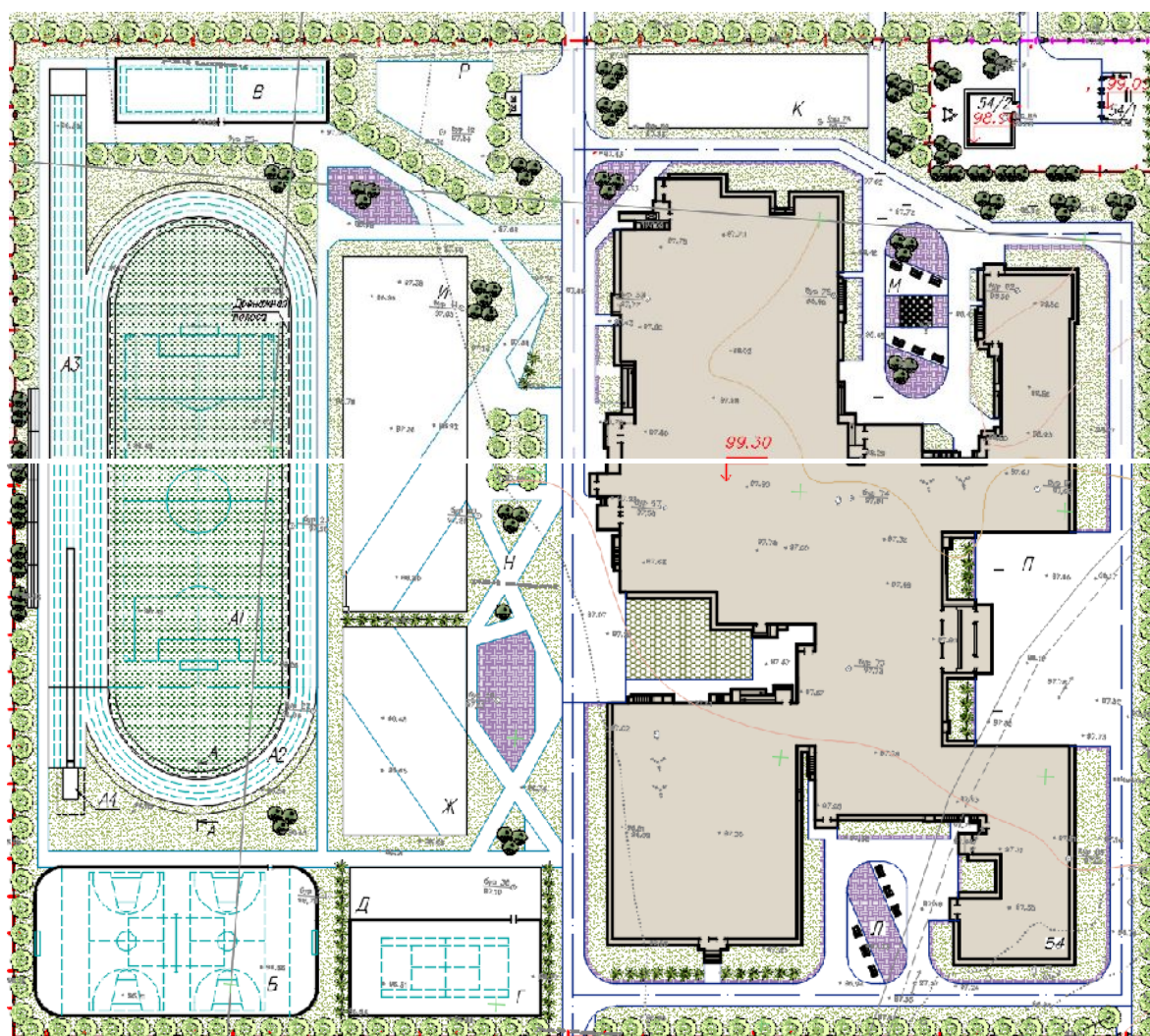


Рис. 1. Проектный план озеленения территории общеобразовательной школы

Выделенный под освоение участок площадью 3,8942 га (табл. 4) характеризуется отсутствием существующей застройки, инженерных сетей и сооружений, а также достаточного количества зеленых насаждений.

Земельный участок школы в соответствии с проектом должен иметь металлическое ограждение высотой 2,0 м, территория хозяйственной зоны – сетчатые панели высотой 1,6 м. Спортивные площадки для игр с мячом ограждаются металлическим забором высотой 3,0 м. Благоустройство территории школы предусматривает выполнение проездов к зданию с покрытиями асфальтобетонным и из усиленной бетонной плитки, а также тротуаров к зданию, спортивным площадкам и площадкам отдыха с плиточным покрытием. Круговой проезд вокруг школы выполняется асфальтобетонным, а также из бетонной плитки высотой 0,10 м, используемой для организации зоны пешеходного движения и прогулок.

На земельном участке здания школы организованы следующие функциональные зоны: физкультурно-спортивная, учебно-опытная, зона отдыха и хозяйственная. Вблизи участка образовательного учреждения на ранее запроектированной территории жилой застройки предусматривается стоянка на 5 машиномест для автомобилей педагогов и сотрудников школы, в том числе 2 машиноместа для маломобильных групп населения.

Площадь озеленения в границах ограждения территории школы составляет 50 % свободной от застройки территории, что соответствует нормативным требованиям [13]. Она предполагает содержание защитных от пыли, шума, ветра и других неблагоприятных факторов окружающей среды полос между элементами участка, а также покрытие спортивного газона.

Таблица 4

Показатели земельного участка по генеральному плану

Наименование показателей	Земельный участок		В условных границах благоустройства (вне границ земельного участка)	Итого
	территории школы	хозяйственной зоны школы		
Площадь участка, га	3,8942	0,106	1,3	5,3002
Площадь застройки, м ²	8276	149,6	–	8425,6
Площадь дорог, тротуаров и площадок с твердым покрытием, м ²	15409,5	208	6045	21662,5
Площадь спортивного газона, м ²	3190	–	–	3190
Площадь песчаного покрытия, м ²	165	–	–	165
Площадь травяного покрытия с использованием газонной решетки, м ²	318	–	–	318
Площадь озеленения, м ²	11583,5	702,4	6955	19240,9
Коэффициент застройки, %	21	13	–	16
Коэффициент озеленения, %	50*	68	54	36

Примечание: *Коэффициент озеленения для участка в границах ограждения территории школы посчитан для свободной от застройки территории с учетом площадей спортивного газона, песчаного и травяного покрытий, в том числе и с использованием газонной решетки.

Территория свободная от застройки, проездов, тротуаров и площадок с покрытием, а также от инженерных сетей по проекту озеленяется посевом многолетних трав – газон 17813,9 м², посадкой деревьев в количестве 174 шт., посадкой кустарников в рядовых и групповых посадках – 262 шт. Так же предусмотрены организация цветников площадью 1085 м², покрытие с использованием газонной решетки, с возможностью проезда пожарной техники – 318 м² и укрепление откосов посевом трав – 342 м².

Принятые проектные решения по озеленению территории соответствуют нормативам [13]. Однако численность обучающихся в школе ставит под сомнение столь незначительные площади зеленых

насаждений. Проверим расчетами, предусмотренное проектом количество деревьев с учетом потребляемого школьниками кислорода. Общеобразовательное учреждение предназначено для обучения 1224 детей педагогами в количестве 100 человек, включая обслуживающий персонал. Все промежуточные расчетные показатели сведены в табл. 5.

Примерное количество детей в параллели при 11-летнем обучении составляет 111 человек. Деление по возрастным группам, требующим приблизительно равное количество кислорода для жизнедеятельности, выполнено в табл. 5.

В среднем на территории школы ребенок находится 420 минут с учетом 45-минутных уроков, а также 15 и 30 минутных перерывов, что в

сумме составляет 7 часов. Продолжительность пребывания учителей и персонала в среднем составляет 8 часов, то есть 480 мин. Указанное время учитывалось при определении суточного потребления кислорода, которое при суммировании показателей всех возрастных групп составляет 213,584 м³/сут.

Годовое потребление кислорода с учетом летних каникул равно 58308,432 м³/год. Чтобы восполнять свежим воздухом расчетный объем круглогодично следует организовать посадку елей, в соответствии с данными табл. 1, на территории площадью не менее 55,9 га.

Таблица 5

**Потребление кислорода детьми и взрослыми, пребывающими в школе,
рассчитанной на 1224 ученика**

Расчетные показатели	Возрастная группа				
	I	II	III	IV	Учителя и обслуживающий персонал
Возраст детей в группе, количество полных лет	6, 7, 8	9, 10, 11, 12, 13	14, 15	16, 17	18+
Количество человек в возрастной группе	223	555	223	223	100
Количество потребляемого кислорода в возрастной группе с учетом коэффициента активности $K_a = 2$, л/мин.	57,98	188,7	93,21	111,5	50
Потребление кислорода при средней продолжительности пребывания в школе, л/сут.	24352	79254	39148	46830	24000

Небольшой выделяемый участок под объект данного социального назначения не позволяют осуществить предполагаемое расчетное озеленение в соответствии с потребляемым количеством кислорода учениками и сотрудниками. Но учитывая, что школа расположена недалеко от набережной Воронежского водохранилища, существующие свободные зоны могут быть использованы под посадку деревьев различных пород [14].

Анализируя полученный результат, следует отметить, что нормы озеленения территорий, выделяемых под строительство, существенно занижены, что объясняется высокой плотностью микрорайонов городских округов. Не смотря на данное обстоятельство, градостроительная политика должна быть направлена, в том числе, и на формирование вокруг городов, не зависимо от численности населения, периферийных природно-парковых зон, особенно, по возможности отделяющих крупные производственные центры от жилой застройки.

Выводы. Полученные формулы для определения потребления кислорода в зависимости от возраста человека и его физической активности рекомендуются использовать для анализа общего баланса воздушной среды в местах длительного пребывания людей.

Для организации эффективного восполнения прогнозируемого потребления кислорода составлен рейтинг пород деревьев с наибольшими показателями его выделения в процессе фотосинтеза. В связи с этим к посадке рекомендуются береза, сирень, кедр, ель и осина.

Расчеты показали, что размеры озелененных территорий, в том числе и проектируемых возле объектов строительства в соответствии с действующими нормами, не способствуют полному покрытию объемов потребления кислорода. В связи с этим необходимо в городских округах организовывать периферийные природно-парковые зоны.

Для защиты от шума, исходящего от автомагистралей, следует с учетом существующих возможностей формировать лесополосы шириной не менее 25 м. Предложенная формула расчета снижения звукового давления посредством зеленых насаждений возле дорожных трасс позволяет прогнозировать их эффективность в зависимости от ширины посадок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кармазин Ю.И., Капустин П.В., Власов Ю.М., Задворянская Т.И. Концепции градостроительной политики города Воронежа // Архитектурные исследования. 2017. № 3 (11). С. 26–30.
2. Воробьева Ю.А., Бурак Е.Э., Новиков С.А., Гашкова К.Н. Обеспечение сохранности и обновления типовой массовой застройки Воронежской области с применением системы мониторинга // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2018. № 1 (4). С. 18–26.
3. Попова И.В., Бурак Е.Э., Воробьева Ю.А. Применение геоинформационных систем для мониторинга и развития системы зеленых насаждений города // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2018. № 4 (7). С. 67–75.

4. Бурак Е.Э., Воробьева Ю.А., Егорова С.П. Анализ соответствия проектов планировки застроенных территорий градостроительным регламентам // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2018. № 1 (4). С. 72–78.

5. Бурак Е.Э., Гриева Е.Ю., Фернюк В.Д. Эволюция системы озеленения в г. Воронеж // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2017. № 2 (7). С. 9–14.

6. Ерешкин В.Н. Роль лесов в изменении содержания углерода в атмосфере // Динамика лесистости малолесных районов Европейской части России. Проблемы и перспективы. Воронеж, 2003. С. 71–72.

7. Кобак К.И., Кукуев Ю.А., Трейфельд Р.Ф. Роль лесов в изменении содержания углерода в атмосфере (на примере Ленинградской области) // Лесное хозяйство. 1999. № 2. С. 43–45.

8. Дубенок Н.Н., Кузмечев В.В., Лебедев А.В. Рост и продуктивность древостоев сосны и лиственницы в условиях городской среды // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2018. № 1. С. 54–70.

9. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления

в России: Аналитический обзор / А.С. Исаев и др. М.: 1995. 55 с.

10. Ревич Б.А., Сает Ю.Е. Эколого-геохимическая оценка окружающей среды промышленных городов. М., 1990. 128 с.

11. Городков А.В., Самохова Н.А. Акустический режим рекреационных территорий города и его оптимизация средствами озеленения периферийных зон // Известия вузов. Строительство, 2015. № 9. С. 67–73.

12. Агаджанян Н.А., Тель Л.З., Циркин В.И., Чеснокова С.А. Физиология человека. М.: Медицинская книга, Н. Новгород: НГМА, 2003. 528 с.

13. СанПиН 2.4.2.2821-10 "Санитарно-эпидемиологические требования к условиям и организации обучения в общеобразовательных учреждениях. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2014. 10 с.

14. Щукина Т.В., Гармонов К.В., Жерлыкина М.Н., Новосельцев Б.П., Зверков А.П. Состояние окружающей среды и экологических условий жизнедеятельности населения Воронежской области // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2017. №4 (3). С. 76–84.

Информация об авторах

Щукина Татьяна Васильевна, кандидат технических наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства. E-mail: cccp38@yandex.ru. Воронежский государственный технический университет. Россия, 394000, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, д. 84.

Воробьева Юлия Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства. E-mail: cccp38@yandex.ru. Воронежский государственный технический университет. Россия, 394000, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, д. 84.

Кароли Милослава Андреевна, магистрант кафедры жилищно-коммунального хозяйства. E-mail: cccp38@yandex.ru. Воронежский государственный технический университет. Россия, 394000, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, д. 84.

Логачев Андрей Владимирович, магистрант кафедры жилищно-коммунального хозяйства. E-mail: cccp38@yandex.ru. Воронежский государственный технический университет. Россия, 394000, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, д. 84.

Поступила в августе 2019 г.

© Щукина Т.В., Воробьева Ю.А., Кароли М.А., Логачев А.В., 2019

***Shchukina T.V., Vorob'eva Yu.A., Karoli M.A., Logachev A.V.**

Voronezh State Technical University

Russia, 394000, Voronezh, str. 20 years of October, 84

**E-mail: cccp38@yandex.ru*

IMPROVING THE QUALITY OF THE AIR ENVIRONMENT THROUGH THE GREENING OF URBANIZED TERRITORIES ON THE EXAMPLE OF IMPROVEMENT OF SOCIAL FACILITIES

Abstract. The issues of improving the air environment of microdistricts through the formation of park zones and the development of peripheral lands of urban districts are considered. The rating of tree species that make the greatest contribution to the enrichment of the atmosphere has been compiled. Formulas for

calculating the oxygen consumption of a person with regard to age and physical activities are proposed, which determine the required areas of landscaping for restoring the gas-air balance depending on the number of people at the facilities. For the formation of arrays of planting to protect against noise, an expression is obtained that determines the level of suppression of sound load depending on the width of the designed forest belt. Calculations of oxygen consumption by students and the required area for planting trees to restore balance are made using the example of a comprehensive school project for the Zheleznodorozhny district of Voronezh. The conclusion is made about low standards for green areas construction and, in this regard, the need for organizations related to cities, park areas, significantly increasing the size of forests.

Keywords: *greening of territories, greening norms, factors of the air environment, ecological safety.*

REFERENCES

1. Karmazin Yu.I., Kapustin P.V., Vlasov Yu.M., Zadvoryanskaya T.I. Concepts of urban planning policy of the city of Voronezh [Kontseptsii gradostroitel'noy politiki goroda Voronezha]. Architectural studies. 2017. No. 3 (11). Pp. 26–30.
2. Vorobyova Yu. A., Burak E.E., Novikov S.A., Gashkova K.N. Ensuring the preservation and updating of the typical mass construction of the Voronezh region using the monitoring system [Obespecheniye sokhrannosti i obnovleniya tipovoy massovoy zastroyki Voronezhskoy oblasti s primeneniym sistemy monitoring]. Housing and communal infrastructure. 2018. No. 1 (4). Pp. 18–26.
3. Popova I.V., Burak E.E., Vorobieva Yu.A. The use of geographic information systems for monitoring and development of the city's green space system [Primeneniye geoinformatsionnykh sistem dlya monitoringa i razvitiya sistemy zelenykh nasazhdeniy goroda]. Housing and Communal Infrastructure. 2018. No. 4 (7). Pp. 67–75.
4. Burak E.E., Vorobieva Yu.A., Egorova S.P. Analysis of the compliance of the planning projects of built-up areas with city-planning regulations [Analiz sootvetstviya proyektov planirovki zastroyennykh territoriy gradostroitel'nym reglamentam]. Housing and Communal Infrastructure. 2018. No. 1 (4). Pp. 72–78.
5. Burak, E.E., Grieva E.Yu., Fernyuk V.D. Evolution of the Greening System in Voronezh [Evolutsiya sistemy ozeleneniya v g. Voronezh]. Urban Planning. Infrastructure. Communications. 2017. No. 2 (7). Pp. 9–14.
6. Ereshkin V.N. The role of forests in changing the carbon content in the atmosphere [Rol' lesov v izmenenii soderzhaniya ugleroda v atmosfere]. Dynamics of low-forest areas of the European part of Russia. Problems and prospects. Voronezh. 2003. Pp. 71–72.
7. Kobak K.I., Kukuev Yu.A., Treyfeld R.F. The role of forests in changing the content of sludge in the atmosphere (on the example of the Leningrad region) [Rol' lesov v izmenenii soderzhaniya ugleroda v atmosfere (na primere Leningradskoy oblasti)]. Forestry. 1999. No. 2. Pp. 43–45.
8. Dubenok N.N., Kuzmichev V.V., Lebedev A.V. Growth and productivity of pine and larch stands under conditions of urban environment [Rost i produktivnost' drevostoyev sosny i listvenitsy v usloviyakh gorodskoy sredy]. Bulletin of the Volga region state technological university. Series: Wood. Ecology. Environmental management. 2018. No. 1. Pp. 54–70.
9. Isaev A.S. [et al] Environmental problems of carbon dioxide absorption through reforestation in Russia: Analytical review [Ekologicheskiye problemy pogloshcheniya uglekislogo gaza posredstvom lesovosstanovleniya v Rossii: Analiticheskiy obzor]. M.: 1995. 55 p.
10. Revich B.A., Saet Yu.E. Ecological and geochemical environmental assessment of industrial cities [Ekologo-geokhimicheskaya otsenka okruzhayushchey sredy promyshlennykh gorodov]. M., 1990. 128 p.
11. Gorodkov A.V., Samokhova N.A. Acoustic mode of the recreational areas of the city and its optimization by means of landscaping peripheral zones [Akusticheskiy rezhim rekreatsionnykh territoriy goroda i yego optimizatsiya sredstvami ozeleneniya pereferiynykh zon]. News of universities. Construction. 2015. No. 9. Pp. 67–73.
12. Agadzhanyan N.A., Tel L.Z., Tsirkin V.I., Chesnokova S.A. Human physiology [Fiziologiya cheloveka]. M.: Medical book, N. Novgorod: NGMA. 2003. 528 p.
13. SanPiN 2.4.2.2821-10 "Sanitary-epidemiological requirements for the conditions and organization of training in educational institutions. M.: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rosпотребнадзор. 2014. 10 p.
14. Shchukina T.V., Garmonov K.V., Zherlykina M.N., Novoseltsev B.P., Zverkov A.P. State of the environment and environmental conditions of the population in the Voronezh region [Sostoyaniye okruzhayushchey sredy i ekologicheskikh usloviy zhiznedeyatel'nosti naseleniya voronezhskoy oblasti] Housing and communal infrastructure. 2017. No. 4 (3). Pp. 76–84.

Information about the authors

Shchukina, Tatyana V. PhD, Associate Professor. E-mail: cccp38@yandex.ru Voronezh State Technical University. Russia, 394000, Voronezh, str. 20 years of October, 84.

Vorobeva, Yuliya A. PhD, Associate Professor. E-mail: cccp38@yandex.ru Voronezh State Technical University. Russia, 394000, Voronezh, ul. 20 years of October, 84.

Karoli, Miloslava A. graduate student of the department of housing and communal services. E-mail: cccp38@yandex.ru Voronezh State Technical University. Russia, 394000, Voronezh, str. 20 years of October, 84.

Logachev, Andrey V. Master student. E-mail: cccp38@yandex.ru. Voronezh State Technical University. Russia, 394000, Voronezh, str. 20 years of October, 84.

Received in August 2019

Для цитирования:

Шукина Т.В., Воробьева Ю.А., Кароли М.А., Логачев А.В. Влияние озеленения на экологию урбанизированных территорий на примере благоустройства объекта социального назначения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 10. С. 93–101. DOI: 10.34031/article_5db448635595e4.19125015

For citation:

Shchukina T.V., Vorob'eva Yu.A., Karoli M.A., Logachev A.V. Improving the quality of the air environment through the greening of urbanized territories on the example of improvement of social facilities. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 10. Pp. 93–101. DOI: 10.34031/article_5db448635595e4.19125015

DOI:10.34031/article_5db3e38f6cb0d3.88051873

Сидоренко Н.Р.*Академия архитектуры и искусств. Южный Федеральный Университет**Россия, 344082, Ростов-на-Дону, пр. Будёновский, д. 39**E-mail: ya.sinaro@yandex.ru*

УТРАЧЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ МОДЕРНИЗМА В РОСТОВЕ-НА-ДОНУ. ЗДАНИЕ МУЗЕЯ ИНТЕРНАЦИОНАЛЬНОЙ ДРУЖБЫ В ПАРКЕ ИМ. Г. ПЛЕВЕН

Аннотация. Архитектура советского модернизма занимает важное место в истории мирового зодчества. В связи с относительно недавним признанием советского модернизма, как отдельного архитектурного направления, в большинстве регионов нашей страны (в том числе на Юге России) объекты, реализованные в 1960–1980-х гг., не исследованы. Это может привести к невосполнимой утрате сооружений, обладающих композиционно-художественной ценностью. Одним из таких объектов является здание бывшего музея интернациональной дружбы, расположенное в парке культуры и отдыха им. г. Плевен в Ростове-на-Дону. Сооружение спроектировано с использованием основных планировочных, художественных и градостроительных приемов советского модернизма. В статье рассматриваются особенности музея с различных точек зрения. Проводится ретроспективный анализ трансформаций градостроительной ситуации, оказавшей влияние на формирование объемно-композиционного решения здания. Определяются архитектурно-художественные особенности музея на основании натурных исследований и изучении сохранившихся исторических графических материалов. Выявляется ценность объекта, как сооружения, отражающего основные тенденции советской архитектуры 1960–1980-х гг. Исследуется современное состояние здания бывшего музея, фиксируются утраченные особенности архитектурного и градостроительного решений. Подтверждается необходимость восстановления и сохранения его первоначального облика.

Ключевые слова: советский модернизм, музей, Ростов-на-Дону, архитектура 1960–1980-х гг., парк им. г. Плевен, восстановление.

Введение. В 2011 году француз Фредерик Шобен, редактор журнала «Citizen K», выпустил книгу-фотоальбом под названием «СССР. Cosmic, communist, constructions photographed», посвященную архитектурным шедеврам, реализованным в 60–80-х гг. XX в. в бывших странах Советского Союза. В архитектурном обществе это событие породило волну интереса к зодчеству СССР периода 1960–1980-х гг., которое условно обозначили термином «советский модернизм». В Европе расцвет архитектурного модернизма пришелся еще на 30–40-е гг. XX в., а в Советском Союзе модернизм получил распространение только в начале 1960-х гг. после утверждения в 1955 г. указа «Об устранении излишеств в проектировании и строительстве». В связи с относительно недавним по меркам истории архитектуры признанием того, что зодчество советского модернизма – это значимое архитектурное направление, обладающее рядом отличительных черт от других стилей XX в., на сегодняшний день труды, посвященные изучению особенностям архитектуры Советского Союза 1960–1980-х гг., немногочисленны [1–4], а на региональном уровне тенденции советского модернизма не имеют широкого освещения в научной литературе. В большинстве регионов нашей страны (в том числе на Юге России) значимые объекты, реализованные в 1960–1980-х гг., не выявлены и не

исследованы на предмет характерных особенностей, что может привести к невосполнимой для отечественной и мировой архитектуры утрате. Задача современных исследователей архитектуры не допустить этого. Уже в настоящее время многие сооружения советского модернизма, по временному показателю не относящиеся к объектам культурного наследия, либо безвозвратно потеряны, либо изменили свой облик до неузнаваемости. К последним относится расположенное в парке культуры и отдыха им. города Плевен (далее – парк им. г. Плевен) в Ростове-на-Дону здание бывшего музея интернациональной дружбы, ставшее объектом текущего исследования. Основная цель работы заключается в выявлении архитектурно-композиционных особенностей музея, характерных для модернизма и определяющих его художественную ценность.

Материалы и методы. Многоаспектный анализ здания бывшего музея интернациональной дружбы в парке им. г. Плевен в Ростове-на-Дону выполнен на основании проведения натурных исследований объекта, а также изучения архивных источников, изобразительных и картографических материалов.

Основная часть. С градостроительной точки зрения, здание музея интернациональной дружбы представляет собой часть паркового комплекса, формировавшегося в течение нескольких лет. В 1963 году между Ростовом-на-

Дону и болгарским городом Плевен были установлены побратимские связи. В 1973 году города подписали договор о развитии культурных и экономических отношений. В местных газетах этого периода можно найти многочисленные статьи, посвященные событиям, отражающим крепнущие дружеские связи между трудящимися Ростовской области и Плевенского округа, которые стремились к достижению общей цели – к победе коммунизма [5–10]. В начале 70-х гг. XX в. в преддверии юбилея болгарской социалистической Революции в Ростове-на-Дону в Западном жилом массиве, где проживало около 90 тысяч ростовчан, между пр. Коммунистический и Стачки рядом с ул. Зорге был открыт парк им. г. Плевен с прилегающей к нему со стороны Коммунистического пр. одноименной площадью. Разработкой парка, как и в целом генерального плана Западного жилого массива, занималась проектная организация «Ростовгражданпроект» под руководством Пушковой Л. и Бельченко Б. [11]. Основой композиционного решения парка

им. г. Плевен в плане стал прием симметрии. Ярко выраженная осевая линия сформирована тремя широкими аллеями, пролегающими параллельно ул. Зорге и соединяющими две главных входных группы, расположенных с южной и северной сторон. «Ядром» композиции является прямоугольная площадь, от которой диагонально в сторону пр. Стачки расходятся две аллеи, ведущие к дополнительным выходам. В южной части парка перпендикулярно главной оси симметрии пролегает еще одна пешеходная дорожка, соединяющая западные и восточные входные ворота, а также обеспечивающая доступ к техническому сооружению и общественному санузелу. Юго-восточная часть парка прилегает к уже существовавшему на момент его строительства зданию администрации (рис. 1). Непосредственно благоустройством территории парка занимался состоящий из депутатской группы Советского районного Совета и рабочих-добровольцев общественный штаб, возглавляемый директором ТЭЦ-2 Фёдоровым Д.А. [12].

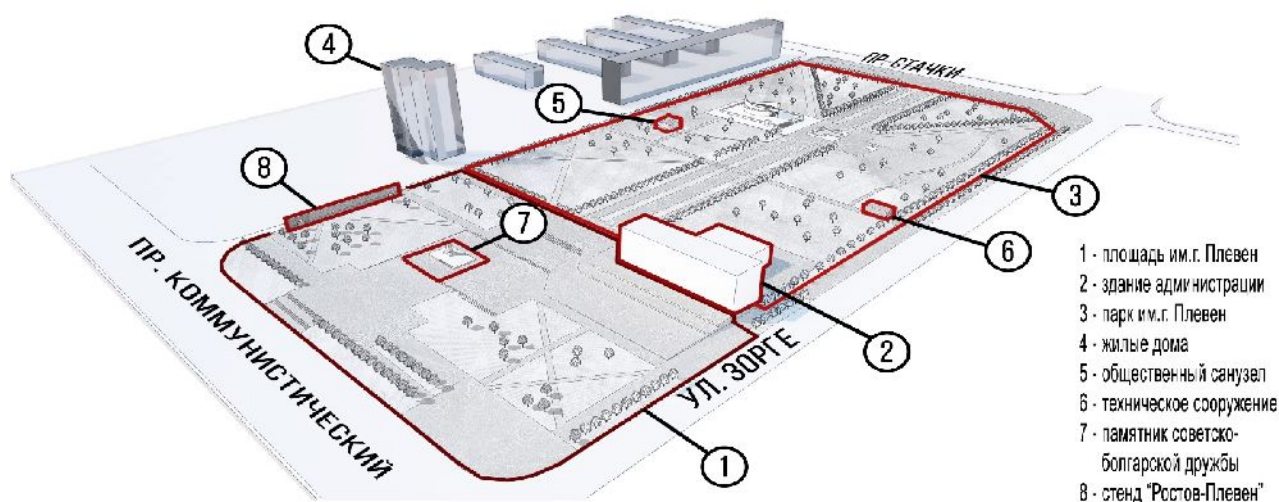


Рис. 1. Парк им. г. Плевен в Ростове-на-Дону. Схема градостроительной ситуации

В честь тридцатилетия социалистической Революции в Болгарии 10 сентября 1974 г. на площади Плевен в Ростове-на-Дону был торжественно открыт монумент советско-болгарской дружбы «Дружба крылатая» (рис. 2), изображающий «двух женщин – советскую и болгарскую, поднявшихся в полный рост и устремившихся в могучем и вдохновенном порыве вперед» [13]. Авторами памятника стали болгарский скульптор Димитр Цонков и ростовский архитектор Борис Бельченко. Композиционно относительно оси трех главных аллей монумент расположен западнее, что позволило ему во взаимодействии с находящимся на противоположной стороне Коммунистического пр. памятником Солдатам Победы стать визуальным акцентом для связи двух парков – им. г. Плевен и «Аллея Роз».



Рис. 2. Монумент советско-болгарской дружбы. Арх. Бельченко Б., скульптор Цонков Д.

10 сентября 1975 г. в парке им. г. Плевен состоялось торжественное открытие музея интернациональной дружбы. Начальником штаба по строительству сооружения являлся Григориadis

К.П. [9]. В честь этого события в парке был организован митинг, на который пришли тысячи ростовчан. Среди официальных гостей мероприятия присутствовали первый секретарь городского комитета КПСС Головец Б.И., депутат Верховного Совета РСФСР Пискарев И.Г., секретарь Советского райкома ВЛКСМ Зайцева Н.А., секретарь обкома КПСС Тесля М.Е., члены бюро обкома КПСС, члены облисполкома, а также болгарская делегация во главе с секретарем Плевенского городского комитета Болгарской коммунистической партии Димитром Василевым [14]. Наличие такого широкого круга представителей власти подчеркивает значимость события для города.

Новое здание музея стало одним из основных фрагментов, формирующих композиционное ядро парка им. г. Плевен (рис. 3). Сооружение расположено с западной стороны от главной площади, в центре которой была организована масштабная цветочная клумба, имеющая в плане сложную многоугольную форму. С восточной

стороны от цветника был установлен памятник, предположительно (по воспоминаниям очевидцев) посвященный Димитрову Г.М. – деятелю болгарского и международного коммунистического движения. Все три элемента: музей, цветник и памятник; – располагались на одной, проходящей перпендикулярно главной аллее парка линии, формируя таким образом второстепенную ось и определяя вытянутую вдоль этой оси прямоугольную конфигурацию центральной площади с востока на запад. Комплексный подход к организации городского пространства с использованием асимметричной композиции является одним из характерных признаков советского модернизма. Визуальным акцентом при таком подходе чаще всего являлись здания общественного назначения, в том числе музеи, среди которых можно отметить историко-краеведческий музей на пл. Партизан в Брянске (арх. Зеленов А.А., 1976–1985 гг.), музей АЗЛК на Волгоградском пр. в Москве (арх. Регентов Ю., 1975–1978 гг.) и т.д.

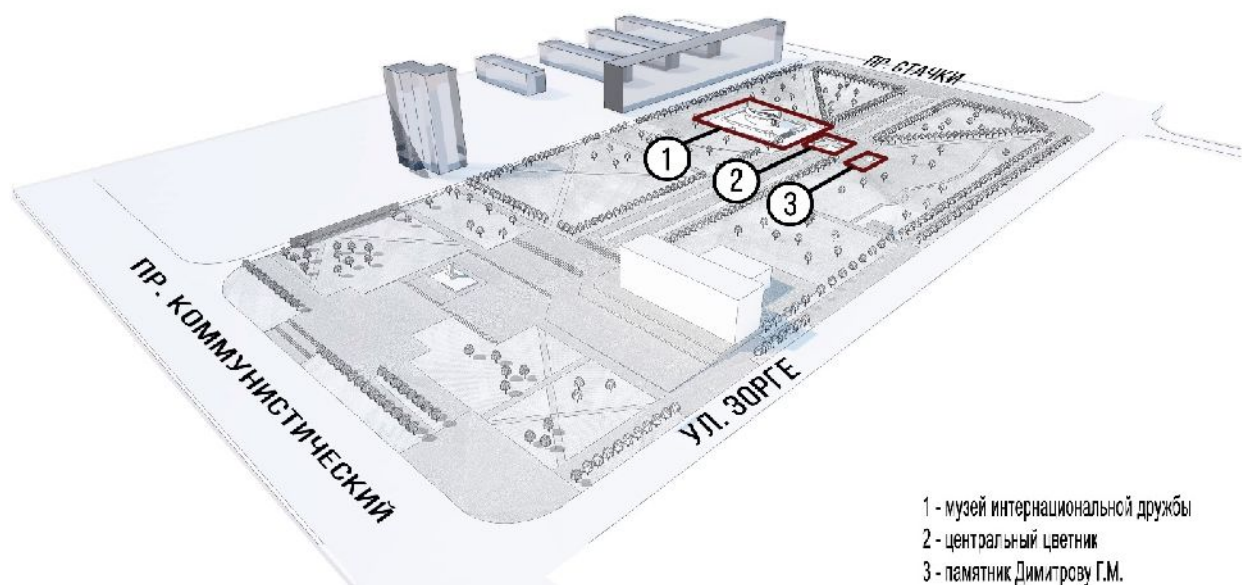


Рис. 3. Здание музея интернациональной дружбы в парке им. г. Плевен в Ростове-на-Дону.

Схема градостроительной ситуации

Музей интернациональной дружбы в парке им. г. Плевен в Ростове-на-Дону был возведен на прямоугольной платформе, высота которой составляла около полутора метров. Со стороны парка к зданию вела масштабная лестница, занимающая половину длины платформы. Вторая часть, расположенная справа от лестницы, представляла собой каскад цветочных клумб, форма которых повторяла принцип организации геометрического рисунка центрального цветника. С южной стороны к платформе примыкал скульптурный объект, являющийся стендом для размещения афиш и плакатов (рис. 4). По воспоминаниям жителей города, его художественное

оформление соответствовало памятнику Димитрову Г.М. Объемно-композиционное решение здания музея выявляет его отличающуюся предельным лаконизмом функционально-планировочную структуру, что представляет собой важную особенность здания, так как большинство аналогичных по назначению сооружений периода 1960-1980-х гг. имеют достаточно сложную пространственную организацию.

Форма исследуемого музея в плане образована двумя несущими дугообразными стенами одинакового радиуса (около 10,5 м.), расположенными симметрично относительно второстепенной оси парка и сдвинутыми по отношению

друг к другу таким образом, что конфигурация плана имеет вид ракушки (рис. 5). В образовавшихся из-за сдвига разрывах между стенами расположены витражи с квадратным членением остекления. В витраже, обращенном в парк, организован вход в здание, двери которого имели более мелкую квадратную разбивку с четырьмя вставками скульптурных изображений в форме окружности. Над входной группой выступал мощный козырек, на котором была размещена надпись «Музей интернациональной дружбы» (рис. 6).



Рис. 4. Музей интернациональной дружбы в парке им. г. Плевен в Ростове-на-Дону, 1970-е гг.

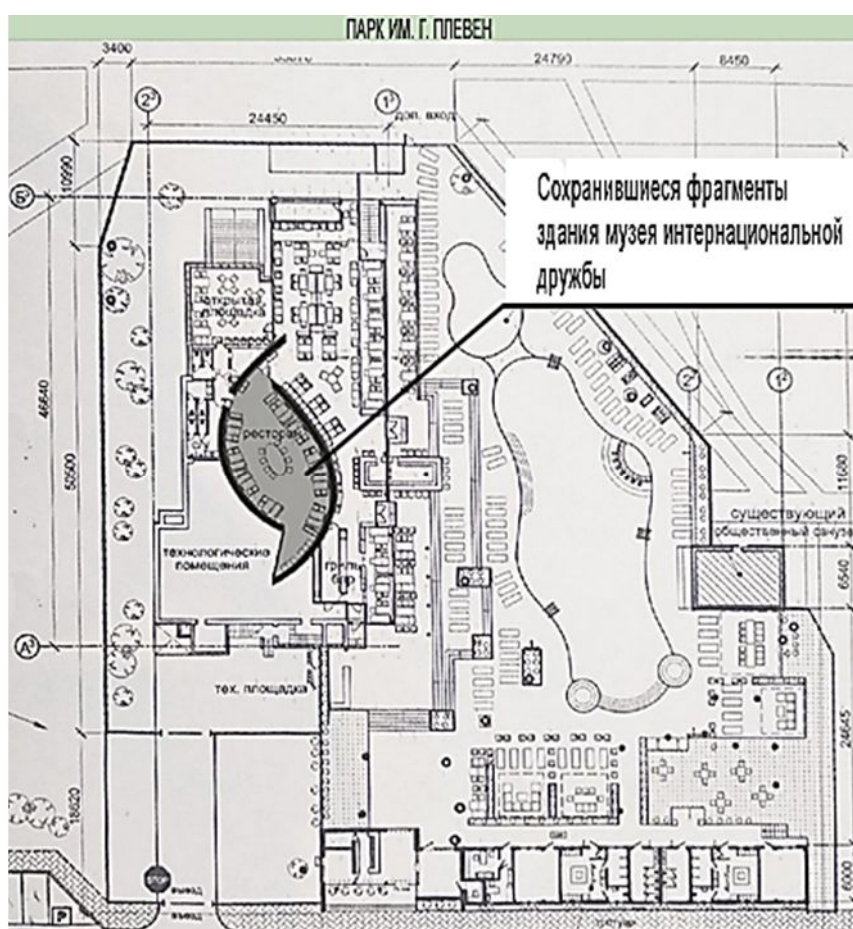


Рис. 5. Схема организации участка вокруг бывшего музея интернациональной дружбы, 2019



Рис. 6. Музей интернациональной дружбы в парке им. г. Плевен, южный фасад

Внутреннее пространство музея было разделено перегородкой на два зала. По воспомина-

ниям посетителей, это была своеобразная «ракушка из двух уровней». Фотографии интерьеров

музея из старых ростовских газет [15] подтверждают, что выставочные экспонаты размещались вдоль стен, а центральные пространства залов оставались свободными для движения (рис. 7). Основной темой экспозиции были советско-болгарские дружеские отношения: в музее демонстрировались фотографии, рассказывающие о связях жителей Плевенского округа с краем Тихого Дона; образцы, выпускаемой в Болгарии продукции; выставки произведений донских художников и т.д. [14–17]



Рис. 7. Интерьер зала музея интернациональной дружбы в парке им. г. Плевен, 1977

В композиционно-объемном решении музея две дугообразные стены превращаются в плавно-поднимающиеся в разные стороны формы, закручивающиеся относительно друг друга (см. рис. 6). Подобный прием можно встретить и в некоторых других объектах, реализованных на территории СССР в 1960–1980-х гг., например, в здании кафе «Ракушка», располагавшемся в Москве на ул. Вернадского (рис. 8), или в сооружении около детского кинотеатра «Дельфин» в микрорайоне Остров в Херсоне (рис. 9). Это подчеркивает характерность для советского модернизма использования скульптурных, криволинейных, обтекаемых форм, которые были присущи основным мировым архитектурным течениям XX века.



Рис. 8. Кафе «Ракушка» на ул. Вернадского, Москва



Рис. 9. Сооружение около детского кинотеатра «Дельфин», микрорайон Остров, Херсон

Сплошную плоскость белых стен музея по всей длине на уровне козырька «разрывают» выступающие, подобно зубцам шестеренки, фрагменты – по 6 штук на каждой дугообразной форме. Визуальным акцентом объема здания выступает размещенный благодаря глубокому вертикальному разрезу в северной стене музея скульптурный элемент, имеющий двухстороннюю ориентацию: он одинаково хорошо просматривается посетителями, движущимися по парку как со стороны Коммунистического пр., так и со стороны пр. Стачки (см. рис. 4, рис. 6). Волнообразные геометрические формы, в которых выполнена скульптура, аналогичны используемым художественно-композиционным приемам при решении памятника Димитрову Г.М. и стенда для афиш. Применение на фасадах зданий, реализованных в 1960–1980-х гг., в качестве декоративного убранства рельефов, горельефов и абстрактных скульптурных форм наряду с мозаичными панно [18, 19] является для Ростова-на-Дону наиболее распространенным приемом, который архитекторы использовали для восполнения недостаточного эмоционального воздействия относительно аскетичных объектов модернизма на человека [20].

Устремленное динамично вверх, подобное цилиндру здание музея контрастировало со статичной горизонтально-ориентированной прямоугольной платформой, выступающей в качестве стилобата. Противопоставление вертикальных и горизонтальных объемов в рамках одного сооружения, сочетание цилиндрических и прямоугольных форм, а также использование мощного стилобатного основания представляют собой распространенные приемы архитектуры СССР в период 60–80-х гг. XX в. Еще одной яркой чертой советского и мирового модернизма, которую можно наблюдать в здании музея, является применение плоской кровли и верхнего освещения для зальных пространств зрелищных учреждений (рис. 10).



Рис. 10. Музей интернациональной дружбы в парке им. г. Плевен, вид на кровлю

В 80-х гг. музей интернациональной дружбы стал филиалом областного музея краеведения, куда часто приводили на экскурсии учеников находящихся рядом школ. А в 1986 году здесь «произошло невероятное событие – состоялось открытие первой выставки военно-исторической миниатюры под названием «Стойкий оловянный солдатик» [21]. Точная дата закрытия музея неизвестна. В 2013 году здесь начал свою работу ресторан «Сан-Тропе». В настоящий момент бывшее здание музея интернациональной дружбы можно узнать только по двум фрагментам дугообразных стен, обшитых деревянным планкеном и выступающих над многочисленными, окруженными кованым забором пристройками подсобных и основных помещений ресторана, которые заняли всю ранее существовавшую платформу и еще значительную часть парка (рис. 11). Музей стал частью интерьера ресторана (см. рис. 5). Внутри его стены также имеют деревянную обшивку, а бывшие экспозиционные пространства

теперь представляют собой единый VIP-зал. Прямого выхода в парк больше нет – вплотную к техническим сооружениям ресторана примыкают конструкции выходящей на площадь парка им. г. Плевен сцены, а входная группа ресторана организована со стороны внутреннего проезда с пр. Стачки, расположенного с западной стороны парка. На месте памятника Димитрову Г.М. сегодня расположена площадка с детскими аттракционами (см. рис. 11). Вместо обширной многоугольной по форме цветочной клумбы в центре площади размещен небольшой прямоугольный с небольшими дугообразными выступами в плане фонтан (рис. 12, рис. 13). В целом, можно говорить о том, что на данный момент утерянным является не только обладающее художественной ценностью здание музея, но и в целом градостроительное решение парковой территории, отражающее тенденции советской архитектуры периода 1960-1980-х гг.

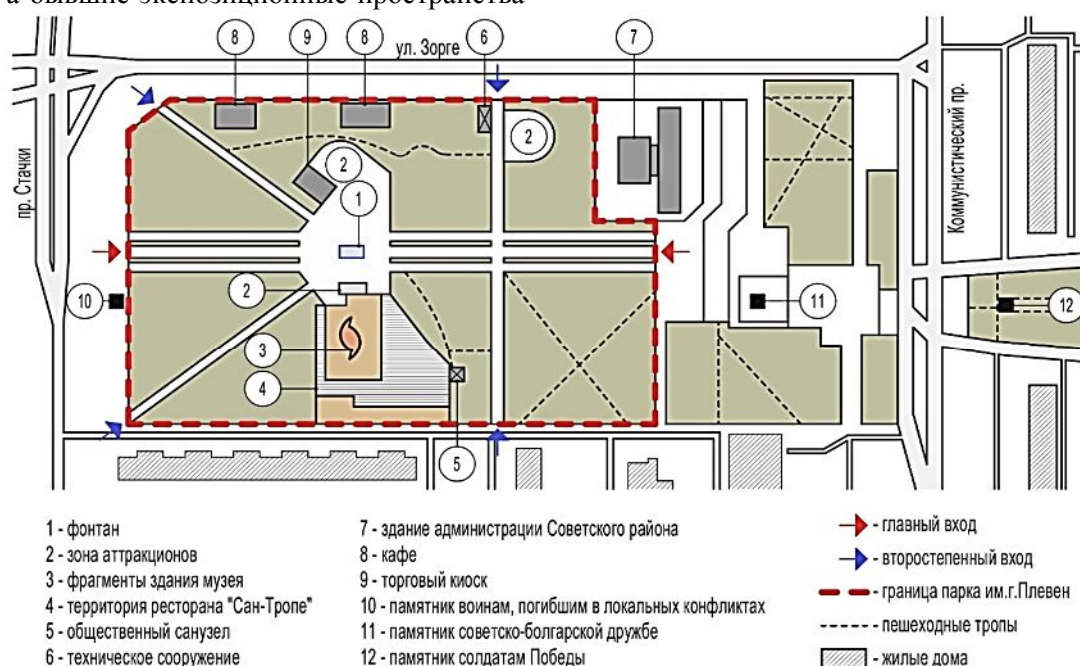


Рис. 11. Парк им. г. Плевен. Площадь им. г. Плевен. Схема градостроительной ситуации, 2019



Рис. 12. Здание ресторана «Сан-Тропе», 2019



Рис. 13. Центральная площадь парка им. г. Плевен, 2019

Выводы. Таким образом, результаты градостроительного и архитектурно-художественного анализов здания музея интернациональной дружбы в парке им. г. Плевен в Ростове-на-Дону показали, что объект и в отдельности, и в совокупности с окружением, формирующим визуальный и пространственный облик парка, обладает ценностью, как сооружение, отразившее в себе значительную часть основных тенденций советского модернизма: пластицизм и нелинейность форм; контраст горизонтальных и вертикальных объемов; сочетание монументального искусства и архитектуры; антидекоративизм; использование плоской кровли и верхнего освещения; «чистые» белые поверхности стен с витражными вставками; значительный навес над входом; комплексный подход к организации градостроительного пространства. Это определяет необходимость восстановления первоначального вида музея и фрагмента связанной с ним территории, которое может быть основано на визуальной реконструкции – виртуальном воссоздании объекта и городского контекста на основе существующих исторических графических материалов и натурных исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Anderson R. Russia. Modern architectures in history. London: Reaction Books, 2002. 352 p.
2. Бондаренко И.А., Волчок Ю.П., и др. Эстетика "оттепели". Новое в архитектуре, искусстве, культуре / ред. Казакова О.В. М.: Российская политическая энциклопедия (РОССПЭН), 2013. 494 с.
3. Meuser Ph., Zadornin D., Sheina K. Towards a Typology of Soviet Mass Housing Prefabrication in the USSR 1955–1991. Berlin: Dom Publishers, 2015. 456 p.
4. Ritter K., Shapiro-Obermair E., Wachter A. Soviet Modernism 1955–1991. Unknown History. Zürich: Park books, 2012. 358 p.
5. Костарев Н. Болгарские маки // Молот. 1973. № 264 (12 ноября). С. 3.
6. Ростовчане – плененцам // Вечерний Ростов. 1975. № 41 (18 февраля). С. 3.
7. Дорогами интернациональной дружбы. Соратники и побратимы // Молот. 1974. № 188 (11 августа). С. 4.
8. На земле Плевенской // Молот. 1974. № 206 (1 сентября). С. 3.
9. Открыт музей интернациональной дружбы // Молот. 1975. № 212 (10 сентября). С. 1.
10. Плевенская панорама // Молот. 1974. № 286 (6 декабря). С. 4.
11. Ребайн Я. Ростов архитектурный // Молот. 1973. № 224 (23 сентября). С. 3.
12. Русанов С. Уверенная поступь // Вечерний Ростов. 1975. № 131 (6 июня). С. 2.
13. Старкова Л. Монумент нерушимого братства // Молот. 1974. № 213 (10 сентября). С. 3.
14. Серов К. Дружба – навеки // Вечерний Ростов. 1975. № 213 (10 сентября). С. 3.
15. Недери Е. В честь крепнущей болгаро-советской дружбы // Молот. 1975. № 213 (11 сентября). С. 4.
16. Турбина В. На площади Плевена // Вечерний Ростов. 1975. № 236 (7 октября). С. 3.
17. Мамаев Г. Новые экспонаты // Вечерний Ростов. 1976. № 213 (8 сентября). С. 3.
18. Иванова-Ильичева А.М., Орехов Н.В. Монументальное искусство в декоре зданий Ростова-на-Дону эпохи советского модернизма // Сб. тезисов Международной научно-практической конференции «Архитектура и искусство: от теории к практике». Ростов н/Д – Таганрог: Изд-во: Южный федеральный университет, 2018. С. 45–50.
19. Иванова-Ильичева А.М., Стущная И.А., Орехов Н.В. Мозаика в декоративном убранстве зданий эпохи советского модернизма (на примере города Ростова-на-Дону) // Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. Тамбов: Грамота, 2017. № 12(86): в 5-ти ч. Ч. 5. С. 100–103.
20. Сидоренко Н.Р. Скульптура как декоративный элемент в архитектуре зданий Ростова-

на-Дону 1960–1980-х гг. // Актуальные проблемы городов: Электронный сборник научных трудов III международной очно-заочной научно-практической конференции молодых ученых и студентов. Макеевка, ДонНАСА, 2019. С. 216–222.

21. К 30-летию первой выставки военно-исторической миниатюры в Ростове-на-Дону. [Электронный ресурс] // Новости музеев. 11.12.2016. URL: <http://zoo.ru/N64544> (дата обращения: 10 сентября 2019).

Информация об авторах

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

Поступила в сентябре 2019 г.

© Сидоренко Н.Р., 2019

Sidorenko N.R.

Academy of architecture and arts Southern Federal University
Russia, 344082, Rostov-on-Don, Budennovskiy st. 39
E-mail: ya.sinaro@yandex.ru

LOST OBJECTS OF MODERNISM IN ROSTOV-ON-DON. THE BUILDING OF THE MUSEUM OF INTERNATIONAL FRIENDSHIP IN THE PARK NAMED AFTER CITY OF PLEVEN

Abstract. *The architecture of Soviet modernism occupies an important place in the history of world architecture. Due to the relatively recent recognition of Soviet modernism as a separate architectural trend, in most regions of our country (including the South of Russia), the objects, which were implemented in the Soviet Union in the 1960s and 1980s, have not been studied. This can lead to irreparable loss of structures with compositional and artistic value. The building of the former Museum of International Friendship, located in the park named after Plevin in Rostov-on-Don, is one of such objects. The building is designed using the basic planning, artistic and urban planning techniques of Soviet modernism. The article discusses the features of the Museum from different points of view. The retrospective analysis of transformations of the town-planning situation, which has influenced formation of the volume and compositional decision of the building, is carried out. The architectural and artistic features of the Museum are determined on the basis of field research and the study of preserved historical graphic materials. The article reveals the value of the object as a structure reflecting the main trends of Soviet architecture of the 1960s-1980s. The modern state of the building of the former Museum is investigated, the lost features of architectural and town-planning decisions are fixed. The necessity of restoration and preservation of its original appearance is confirmed.*

Keywords: Soviet modernism, museum, Rostov-on-Don, architecture of the 1960–1980 years, park named after the city of Plevin, restoration.

REFERENCES

1. Anderson R. Russia. Modern architectures in history. London: Reaction Books, 2002. 352 p.
2. Bondarenko I.A., Volchok Ju.P. Red. Kazakova O.V. Aesthetics of "thaw". New in architecture, art, culture [Jestetika "ottepeli". Novoe v arhitekture, iskusstve, kul'ture]. Moscow: Russian political encyclopedia. 2013. 494 p. (rus)
3. Meuser Ph., Zadornin D., Sheina K. Towards a Typology of Soviet Mass Housing Prefabrication in the USSR 1955 – 1991. Berlin: Dom Publishers, 2015. 456 p.
4. Ritter K., Shapiro-Obermair E., Wachter A. Soviet Modernism 1955-1991. Unknown History. Zürich: Park books, 2012. 358 p.
5. Kostarev N. Bulgarian stamps [Bolgarskie maki]. Molot. 1973. No 264 (12 November). P. 3. (rus)
6. From Rostov to Plevin [Rostovchane – plevencam]. Vechernij Rostov. 1975. No 41 (18 February). P. 3. (rus)
7. Roads of international friendship. Companions and brothers [Dorogami internacionalnoj družbi. Soratniki i pobratimi]. Molot. 1974. No 188 (11 August). P. 4. (rus)
8. On the land of Plevin [Na zemle Plevenskoy]. Molot. 1974. No 206 (1 September). P. 3. (rus)
9. The museum of international friendship was open [Otkrit muzej internacionalnoj družbi]. Molot. 1975. No 212 (10 September). P. 1. (rus)
10. Panorama of Plevin [Plevenskaya panorama]. Molot. 1974. No 286 (6 December). P. 4. (rus)
11. Reban Ja. Architectural Rostov [Rostov arhitekturnij]. Molot. 1973. No 224 (23 September). P. 3. (rus)

12. Rusanov S. Confident stride [Uverennaya postup']. Vechernij Rostov. 1975. No 131 (6 June). P. 2. (rus)
13. Starkova L. The monument to the indestructible brotherhood [Monument nerushimogo bratstva]. Molot. 1974. No 213 (10 September). P. 3. (rus)
14. Serov K. Friendship is forever [Druzhba – naveki]. Vechernij Rostov. 1975. No 213 (10 September). P. 3. (rus)
15. Nedery E. In honor of the growing Bulgarian-Soviet friendship [V chest' krepnushchej bolgaro-sovetskoj družbi]. Molot. 1975. No 213 (11 September). P. 4. (rus)
16. Turbina V. On the Pleven's square [Na ploshchadi Plevena]. Vechernij Rostov. 1975. No 236 (7 October). P. 3. (rus)
17. Mamaev G. New exhibits [Noviye eksponati]. Vechernij Rostov. 1976. No. 213 (8 September). P. 3. (rus)
18. Ivanova-Il'icheva A.M., Orekhov N.V. Monumental art in the decoration of Rostov-on-Don buildings of Soviet modernism [Monumental'noe iskusstvo v dekore zdaniy Rostova-na-Donu epohi sovetskogo modernizma]. Sbornik tezisov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Arhitektura i iskusstvo: ot teorii k praktike». Rostov-on-Don – Taganrog: Southern federal University. 2018. Pp. 45–50. (rus)
19. Ivanova-Il'icheva A.M., Stushnyaya I.A., Orekhov N.V. Mosaic in the decorative decoration of buildings of the Soviet modernism (on the example of the city of Rostov-on-Don) [Mozaika v dekorativnom ubranstve zdaniy epohi sovetskogo modernizma (na primere goroda Rostova-na-Donu)]. Historical, philosophical, political and legal Sciences, cultural studies and art history. Issues of Theory and Practice. Tambov: Charter. 2017. No 12(86). Part 5. Pp. 100–103. (rus)
20. Sidorenko N.R. Sculpture as a decorative element in the architecture of buildings in Rostov-on-Don in 1960-1980-ies [Skulptura kak dekorativnij element v arhitekture zdaniy Rostova-na-Donu 1960-1980-h gg.]. Aktual'nye problemy gorodov: Elektronnyj sbornik nauchnyh trudov III mezhdunarodnoj ochno-zaochnoj nauchno-prakticheskoy konferencii molodyx uchenyx i studentov. Makeevka: DonNASA. 2019. Pp. 216–222. (rus)
21. To the 30th anniversary of the first exhibition of military-historical miniatures in Rostov-on-Don [K 30-letiyu pervoj vystavki voenno-istoricheskoy miniatyury v Rostove-na-Donu]. News of Museums. 2017. Available at: <http://zoo.ru/N64544> (accessed 10 September 2019). (rus)

Information about the authors

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

Received in September 2019

Для цитирования:

Сидоренко Н.Р. Утраченные объекты модернизма в Ростове-на-Дону. Здание музея интернациональной дружбы в парке им. г. Плевен // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №10. С. 101–110. DOI:10.34031/article_5db3e38f6cb0d3.88051873

For citation:

Sidorenko N.R. Lost objects of modernism in Rostov-on-Don. The building of the museum of international friendship in the park named after city of Pleven. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 10. Pp. 101–110. DOI:10.34031/article_5db3e38f6cb0d3.88051873

DOI: 10.34031/article_5db3e5064806a9.03183140

Дудченко М.Ю., Попов А.Д.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова**Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46***E-mail: mdudchenko15@gmail.com*

КОЛОРИСТИКА КАК ФАКТОР ЭСТЕТИЧЕСКОГО ПЕРЕЖИВАНИЯ

Аннотация. В данной статье описывается важность колористики. Цвет – неотъемлемая часть, формирующая полную картину мира. Он может объединять городские ансамбли, нести эмоциональную и эстетическую нагрузку. Благодаря цвету мир наполняется выразительностью. Разнообразные функции света в жизни человека помогают раскрыть понятия цветового феномена, содержащего в себе смешение цветов, теорию цветовых гармоний, проявляющиеся в духовных и материальных качествах бытия. Цветовой феномен подразумевает под собой сформировавшиеся в сознании ассоциации. Важным аспектом в формировании архитектурного пространства является колористика предметно-пространственной среды. Она понимается как система, включающая в себя цветное окружение природных объектов и созданную человеком архитектуру. Для успешного проектирования предметно-пространственной среды использовался творческий опыт и научные исследования в области цветового решения. В архитектуре цвет проявлялся с точки зрения эстетического и психологического подходов. Любая деятельность по созданию колористических решений архитектурного пространства преследует цель удовлетворения эстетических требований. Кроме этого, чтобы колористика была направлена на широкий спектр решения проблем, она должна учитывать и функцию объектов, их конструкцию и особенности концепции объекта.

Ключевые слова: цвет, колористика, эстетическое переживание, городская среда, цветоведение.

Введение. С самого рождения человека окружает цвет. Такой сложный феномен сопровождает людей повсюду. Все увиденное человеческим глазом происходит благодаря цветовой оценке. Это помогает в формировании чувственного восприятия индивида. Общество привыкло расценивать окрас всего как нечто привычное. Однако, колорит не является чем-то обыденным, а во многом до сих пор не раскрыт. Значимость цвета в жизни разнообразна. Он сопровождает человека повсюду. Окружающая среда имеет свои цветовые свойства. Большинство информации из предметного мира индивид получает через зрительное восприятие. Благодаря колориту картина мира наполняется выразительностью и получается наиболее полной и ясной. В своих сочинениях Аристотель говорит, что «все живое стремится к цвету» [1–3, 5].

В природном и городском пространстве всё имеет свой колорит. Все, что образовано природой, для человеческого восприятия является гармоничным. В естественной среде сочетание цветов и форм зачастую успокаивает. Однако, в городской среде добиться правильного сочетания не просто. Городу часто дается оценка по его колористическому облику. А.В. Ефимов раскрывает проблему отсутствия единства колорита в городе. Автор говорит о том, что городские жители привыкают к скудности и однообразию, «лишаются полноценного общения с природой», в следствие чего происходит эстетическая неудовлетворенность [2, 5]. Недостаток цветовых кон-

тактов с природой, игнорирование правил использования цветов в городской среде приводит к неудовлетворенности населенными пунктами. У жителей теряется способность к эстетическому переживанию, к восприятию цветового образа города, что свидетельствует о социально-чувственной и воспитательной роли цвета в среде.

Разнообразные функции света в жизни человека помогают раскрыть понятия цветового феномена, содержащего в себе смешение цветов, теорию цветовых гармоний, проявляющиеся в духовных и материальных качествах бытия. Цветовой феномен подразумевает под собой сформировавшиеся в сознании ассоциации. Для каждой отдельной личности цвет несет особую эмоциональную и эстетическую нагрузку, образуя цветовую культуру. В работе А.А. Исаева подробно рассматривается цветовой феномен. Цветовой феномен и культура неразрывно связаны с социально-пространственными процессами города. Восприятие цвета неразрывно связано с органами чувств людей, при малейшем дисбалансе меняется композиция, что приводит к эстетическому голоданию общества.

Методы. В исследовании используется научная литература, касающаяся цветоведения и связи цвета в архитектуре с настроением и поведением людей. Основной целью работы является анализ колористических решений на основе исторических и географических аспектов формирования архитектуры, а также влияния цвета на кар-кас и ткань города.

Основная часть. С пониманием влияния цвета на состояние человека сформировался термин «колористика». Его можно трактовать в двух значениях: как наука о цвете, изучающая физические свойства цвета, а также его восприятие, и цветность, образующая окружающую предметную цветовую среду. Цветность несет в себе утилитарные функции, эстетические переживания, помогает наполнить мир духовным содержанием. Колористика опирается на эстетику и символику цвета. Научно доказано, что цвет влияет на процессы в организме человека. В работах Р. Арнхейма «Искусство и визуальное восприятие» и «Архитектурно-пространственная среда как объект зрительного восприятия» Беляевой Е.Л. поднимается вопрос эстетического восприятия окружающей среды через зрительные органы. Исследования показали, что около 80 % поглощаемого цвета оказывает действие на нервную систему, а остальные - на зрение. Исходя из этого, при проектировании городской среды, необходимо учитывать психологические особенности колористики.

Важно рассмотреть колористику предметно-пространственной среды. Она понимается как система, включающая в себя цветовое окружение природных объектов и созданную человеком архитектуру, произведения монументального искусства. В искусственной цветовой среде используются как факторы, отражающие закономерности природы, так и эстетические нормы, и идеология. При правильной проработке всех трех аспектов колористика благоприятно влияет на психологическое состояние жителей.

Колористика должна соответствовать трем аспектам: структуре, хроматическому содержанию, динамике. Структура понимается как связь цветовых пятен в среде. Хроматическое содержание – цветовая палитра предметно-пространственной структуры, а динамика – движение двух первых аспектов в пространстве и времени.

Основными функциями предметно-пространственной колористики являются утилитарная и художественно-эстетическая. Для их образования необходимо подчиняться свойствам колористики как науки и иметь профессионализм в области дизайна архитектурной среды. Проектирование подразумевает под собой понимание основных цветов, их влияния на психику человека. Для создания благоприятной эстетической обстановки учитывают различные свойства цвета. Он может выполнять психологическую, утилитарную, информативную и эстетическую функции. Благодаря цвету создаются акценты, нюансы и композиции.

Художественно-эстетическая функция колористики заключается в порождении чувств у

участника городского пространства. Это помогает запомнить художественные образы той или иной среды, воссоздать ассоциации с определенным местом.

Цветовая гамма архитектурного пространства может создать целостность композиции, а может внести диссонанс. Подбор цветового решения зависит от природно-климатических особенностей, традиций и религии народов, исторической ценности, структуры города и предпочтения дизайнеров. Проектировщики подбирают акцентные цвета, выделяющие наиболее важные объекты и создают цветовые доминанты, формирующие единый колорит пространства, а также не забывают о символическом значении цвета. Для создания уникальной колористики города учитываются все особенности.

Географические особенности расположения местности обуславливают применения определенных оттенков цветовой палитры. Воздействие определенных климатических факторов влияет на образование комфортной цветовой среды. Колористика также влияет на окружение: зрительно увеличивает или уменьшает пространство, подчеркивает ценность природы, выявляет каркас города.

Благодаря историческим аспектам формирования городской среды, город приобрел свой неповторимый колорит. Для территории с мусульманской или буддийской религией характерно глиняное строительство. Глиняные города имели красно-коричневый или охристый окрас. Города Йемена или Мексики окрашены в красный цвет с яркой росписью, а купола церквей и мечетей выделялись белой побелкой. Для средней Азии также характерны цветные изразцы. Психология этого городского колорита говорит об их духовной культуре.

В искусстве появляются каноны, диктующие, что можно использовать в цвете и форме, а что запрещено. Символика цвета в христианском искусстве канонизирована. Здесь закрепились строгие цветопредпочтения: золотой, символ света и величия, а также слава и достоинство; красный – символ жизни; белый – святость и духовность. Кроме этого, используется синий-цвет гармонии, истины и смирения, черный – зла, греха и смерти, и зеленый – земного начала и юности. Использование в большей степени этих цветовых канонов привело к замедлению в развитии цветовой культуры, но при этом развивались материальные и духовные ценности цвета.

До XIX века развитие европейских городов происходило медленно. Здания европейских улиц имели серый оттенок. Вопреки разнообразию форм и смене стилей, колористика имела

«земляные» цвета. На смену средневековым канонам пришла раскрепощенная цветовая культура эпохи Возрождения. Однако, процесс этот оказался непростой, нес в себе утраты и деградацию колористической культуры.

Значимые открытия в области цвета состоялись в XX веке, при создании физиологической оптики и голографии. Результаты этих работ использовали как последователи кубизма и поп-арта, так и стали применяться в прикладном цветоведении.

Для успешного проектирования предметно-пространственной среды использовался творческий опыт и научные исследования в области цветового решения. Цвет – это формообразующая часть пространства. В архитектуре он проявлялся с точки зрения эстетического и психологического подходов. Любая деятельность по созданию колористических решений архитектурного пространства преследует цель удовлетворение эстетических требований. Кроме этого, чтобы колористика была направлена на широкий спектр решения проблем, она должна учитывать и функцию объектов, их конструкцию и особенности концепции объекта.

Для проектирования конкретной среды обязательно учитывается психологическое воздействие цвета. Важно понимать функции цвета и цветовые предпочтения в различных обстановках. Для детских садов, больниц или особых психологических групп разработаны колористические решения, подходящие конкретным местам. Однако, при создании более сложных пространств влияния цвета учитываются с разных сторон – колористический выбор человека.

Колористический выбор человека способствует развитию цветовой науки, помогает изменить сложившиеся стереотипы. Данный выбор создается на основе концептуального цвета, с учетом эстетики, психологического влияния на человека и символики. Цветовые предпочтения – идеал в сознании человека, при создании материального объекта может видоизмениться. Один и тот же любимый цвет индивид не будет использовать во всех предметах обихода. Соответственно, цвет учитывает тип объекта, к которому он применяется.

Проблема колористического выбора – объект исследования дизайнеров и архитекторов. С течением времени, изменением стилей в архитектуре, разнообразием материалов для создания красок в цветовых предпочтениях происходят изменения. Для архитектуры древнего Египта и Греции характерны яркие цвета, в эпоху Ренессанса преобладали однообразные цвета, русское барокко снова внесло яркость колористического решения.

Исследования в области цветового предпочтения проходили как в России, так и за рубежом. Венгерский ученый А. Немчик выделил три условия, воздействующие на колористический выбор индивидов: физиология – достаточная сформированность цветового восприятия зрительных процессов человека; веяния в области дизайна и архитектуры определенного исторического периода, влияющие на духовность человека; наличие красителей и материалов, как средств реализации колористических решений. Отсюда следует, что колористический выбор и его эстетические переживания характерны для каждого исторического периода в отдельности.

Важной отраслью в науке о цвете является колористика города. У нее есть своя специфика. Главная задача городской колористики – создание гармонии в городе за счет малого количества цветов, подходящих каждому географическому району.

Архитектура города и его цветовые предпочтения влияют на композиционную особенность колористики города. Городская колористика склонна к раскрытию структуры городского пространства, при создании акцентных пятен или создании полихромии в зависимости от значимости объекта городской структуры. Она также способна создавать целостную композицию в городе: за счет цвета возможно создание городского ансамбля в целом, привнесении своих неповторимых особенностей каждому отдельному населенному пункту. Примером является концепция «Белый город» в городе Белгороде, способствующая колористическому решению улиц и архитектурных объектов через использования светлых оттенков колера. Это создаст единую атмосферу города, свяжет исторические особенности формирования Белгорода (город на меловых холмах), привнесет отличительные черты, характерные только городу Белгороду.

Для реализации социально-культурных потребностей пространственной среды используются полихромия, устанавливающая свои принципы в формировании колористического решения города. Следовательно, цвет объединен со средой, то есть колористика есть культура данной среды. Значение цвета в городе увеличивается за счет развития города, количества проживающих в нем людей. Колористика непосредственно развивается с городом. Его функциональные и исторические особенности накладывают свои требования на цветовую культуру. Она созревает вместе с градостроительным каркасом и тканью города. Цветовое влияние на каркас и ткань способствуют развитию колористики, полихромия ткани является фоном, для каркаса.

На городскую колористику также влияет образ жизни города: сферы деятельности и производства города, досуг жителей, быт, социальные группы и слои. Важной функцией городской жизни является разделение социальных процессов. Для этого необходимо разграничить городское пространство по сфере деятельности и выявить цветовые характеристики структуры города. Это присуще каркасу города, развивающему основные районы. Полихромия центра наиболее сложна, требует большей продуманности, развития динамики, отражения культурных и исторических ценностей, внедрению эстетики. Для центра характерна уникальность, благоприятная эмоциональная и эстетическая атмосфера.

Выводы. Колористика – наука, развивающаяся с течением времени. Она должна учитывать:

1) Исторически сложившиеся особенности данной территории.

2) Географические и климатические влияния (использование ярких цветов в районах крайнего севера и светлых – в жарких странах).

3) Цветовое проектирование невозможно без развития пространства, эстетической выразительности, создания благоприятного психологического климата, выбора определенной социальной группы.

4) Обоснование средового подхода колористики, для которых важны социальные и пространственные требования, и специфику эстетического восприятия предметно-пространственной среды.

5) Средовой подход реализуется посредством всех факторов колористического решения среды.

6) Для более зрелой цветовой среды процесс развития фрагментов и их функционирования в городе протекает наиболее насыщенно и разнообразно.

7) Цветовое влияние каркаса города на ткани и наоборот приводят к циклическому изменению колористики города, внося новое даже в старые городские районы.

8) Разносторонние исследования в области колористики города как пространственно-временное явление повлияло на рассмотрение проблем в области архитектуры и дизайна, взаимодействия архитектурных объектов с архитектурными ансамблями в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аристотель. Физика // Сочинения в 4 т. М.: Мысль. 1981. С. 59–262.
2. Ефимов А.В. Колористика города. М.: Стройиздат. 1990. 272 с.
3. Исаев А. А. Феномен цвета: опыт онтологического анализа // Философские вопросы естественных, технических и гуманитарных наук Сборник статей Международной научной конференции в 2 т. Магнитогорск: МаГУ. 2006. Т. 2. С. 290–297.
4. Арнхейм Р. Искусство и визуальное восприятие. М.: Архитектура-С. 2012. 392 с.
5. Беляева Е.Л. Архитектурно-пространственная среда города как объект зрительного восприятия. М.: Стройиздат. 1977. 65с.
6. Немчик А. Цветовая система КОЛОРОИД // Техническая эстетика. 1982. № 1. С. 12–14.
7. Агостон Ж. Теория цвета и ее применение в искусстве и дизайне. М.: Мир. 1982. С. 16.
8. Бассевода Ноннель Х. Антонио Гауди. Под ред. В.И. Глазычева. М.: Стройиздат. 1986. 208 с.
9. Бычков В.В. Эстетическое значение цвета в восточно-христианском искусстве // Вопросы истории и теории эстетики. М.: МГУ. 1975. 124с.
10. Мельник У.В. Цвет в дизайне городской среды // Вестник славянских культур. 2013. № XXX. С. 86–89.
11. Михайлов С.М. Дизайн городской среды феномен современной проектно-художественной культуры. В сб. научных трудов: Дизайн. Выпуск IV. М. НИИ Российской академии художеств. 1996. С. 124–141.
12. Петров Г.А. Проблема цвета в архитектуре городов. Г. А. Петров; отв. ред. А. Г. Молот. Гомель. [б. и.]. 1957. 90 с.
13. Щепетков Н. Цветовой свет в городе. Проблемы цветоцветовой среды. Материалы международного семинара: Колористика города. М. 1990. С. 182–190.
14. Юстова Е.Н. Научные задачи колориметрии. Техническая эстетика. 1988. №11. С. 21–23.
15. Norman R.D., Skott W.A. Color and affect: A review and semantic evaluation // J. of General psychology. 1952. № 46. Pp.185–223.
16. Tosca F. I am the space where I belong. Материалы международного семинара: Колористика города. М. 1990. С.67–74.

Информация об авторах

Дудченко Марина Юрьевна, магистрант
E-mail: mdudchenko15@gmail.com. Белгородский
им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

кафедры дизайна архитектурной среды.
государственный технологический университет

Попов Александр Дмитриевич, кандидат экономических наук, профессор кафедры дизайна архитектурной среды. E-mail: design_bgtu@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в мае 2019 г.

© Дудченко М.Ю., Попов А.Д., 2019

***Dudchenko M.Y., Popov A.D.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

**E-mail: mdudchenko15@gmail.com*

COLORISTICS AS A FACTOR OF AESTHETIC EXPERIENCE

Abstract. *The article describes the importance of coloristics. Color is an integral part that forms a complete image of the world. It can unite urban ensembles, to bear the emotional and aesthetic burden. Color fills the world with expressiveness. The various functions of light in a person's life help to reveal the concepts of a color phenomenon, which contains a mixture of colors, the theory of color harmonies, manifested in the spiritual and material qualities of being. The color phenomenon is association formed in the consciousness. An important aspect in the formation of architectural space is the color of the object-spatial environment. This is a system that includes the color environment of natural objects and the human made architecture. Creative experience and scientific research in the field of color solutions are used for the successful design of the subject-spatial environment. In architecture, color is manifested in terms of aesthetic and psychological approaches. Any activity to create color solutions of the architectural space aims to meet the aesthetic requirements. In addition, coloristics must consider the function of objects, their design and features of the object concept in order to solve a wide range of issues.*

Keywords: *color, coloristics, aesthetic experience, urban environment, color science.*

REFERENCES

1. Aristotle. Physics [Fizika]. M.: Thought. 1981. Pp. 59–262. (rus)
2. Efimov A.B. The color of the city [Koloristika goroda]. M.: Stroizdat. 1990. 272 p. (rus)
3. Isaev A. A. The Phenomenon of Color: The Experience of Ontological Analysis [Fenomen cveta: opyt ontologicheskogo analiza]. Philosophical Questions of Natural. Technical and Humanitarian Sciences: Coll. International articles, scientific conf. in 2 t. Magnitogorsk: MAGU. 2006. Pp. 290–297. (rus)
4. Arnheim Rudolph. Art and visual perception [Iskusstvo i vizual'noe vospriyatie]. M.: Architecture-C. 2012. 392p. (rus)
5. Belyaeva E.L. The architectural and spatial environment of the city as an object of visual perception [Arhitekturno-prostranstvennaya sreda goroda kak ob"ekt zritel'nogo vospriyatiya]. M.: Stroizdat, 1977. 65p. (rus)
6. Nemchich A. Color system COLOROID [Cvetovaya sistema KOLOROID]. Technical aesthetics. 1982. No. 1. Pp. 12–14. (rus)
7. Agoston J. Theory of color and its application in art and design [Teoriya cveta i ee primeneniye v iskusstve i dizajne]. M.: Mir. 1982. Pp. 16.
8. Bassegoda Nonnell X. Antonio Gaudi [Antonio Gaudi]. Ed. B.II. Glazycheva. M.: Sroyizdat. 1986. 208 p.
9. Bychkov V.V. Aesthetic value of color in Eastern Christian art [Esteticheskoe znachenie cveta v vostochno-hristianskom iskusstve]. Questions of history and theory of aesthetics. M.: MGU. 1975. 124 p. (rus)
10. Melnyk U.V. Color in the design of the urban environment. [Cvet v dizajne gorodskoj sredy]. Bulletin of Slavic cultures. 2013. No. XXX. Pp. 86–90. (rus)
11. Mikhailov S.M. The design of the urban environment the phenomenon of modern design and artistic culture [Dizajn gorodskoj sredy fenomen sovremennoj proektno-hudozhestvennoj kul'tury]. In Sat. scientific papers: Design. Release IV. M.: Research Institute of the Russian Academy of Arts. 1996. Pp. 124–141. (rus)
12. G. Petrov. The Problem of Color in the Architecture of Cities [Problema cveta v arhitekture gorodov]. Gomel: [b. i.], 1957. 90 p. (rus)
13. Shchepetkov N. Color light in the city. Problems of the light-color environment [Cvetovoj svet v gorode. Problemy svetocvetovoj sredy]. Materials of the international seminar: City Coloring. M. 1990. Pp. 182–190. (rus)
14. Yustova E.H. Scientific tasks of colorimetry. Technical Aesthetics [Nauchnye zadachi kolorimetrii. Tekhnicheskaya estetika]. 1988. No. 11. Pp. 21–23. (rus)
15. Norman R.D., Scott W.A. Color and affect: A review and semantic evaluation. J. of General psychology. 1952. No. 46. Pp. 185–223.
16. Tosca F. I am the space where I belong. Proceedings of the international seminar: Coloring the city. M. 1990. Pp. 67–74.

Information about the authors

Dudchenko, Marina Yu. Master student. E-mail: mdudchenko15@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Popov, Aleksandr D. PhD, Professor. E-mail: design_bgtu@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in May 2019

Для цитирования:

Дудченко М.Ю. Попов А.Д. Колористика как фактор эстетического переживания // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 10. С. 111–116. DOI: 10.34031/article_5db3e5064806a9.03183140

For citation:

Dudchenko M.Y., Popov A.D. Coloristics as a factor of aesthetic experience. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 10. Pp. 111–116. DOI: 10.34031/article_5db3e5064806a9.03183140

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/article_5db3e74c458638.24216673

^{1,*}Власова Л.А., ¹Пугачева И.Н., ^{1,2}Никулин С.С.¹Воронежский государственный университет инженерных технологий²Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил

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

* E-mail : vllar65@yandex.ru

ПРИМЕНЕНИЕ СОЛЕЙ d-МЕТАЛЛОВ 4-го ПЕРИОДА В КАЧЕСТВЕ КОАГУЛЯНТОВ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЭМУЛЬСИОННЫХ КАУЧУКОВ

Аннотация. Совершенствованию технологии каучуков, получаемых эмульсионной полимеризацией, в настоящее время отводится большое внимание. Одной из проблематичных стадий данного производства является стадия выделения каучука из латекса. Разработка более совершенных коагулирующих систем остается актуальной. В работе впервые была рассмотрена возможность применения в качестве коагулянтов при выделении каучука из латекса солей d-металлов четвертого периода периодической системы им. Д.И. Менделеева: хлоридов цинка, никеля и кобальта. Исследовано влияние расхода данных солей на полноту выделения каучука, оценены свойства каучуков. Выявлено, что наилучшей коагулирующей способностью обладает хлорид цинка. Установлено образование нерастворимых комплексных соединений между коагулирующим агентом и поверхностно-активными веществами латексной системы. Выявлено, что подкисление коагулирующей системы приводит к выделению высших карбоновых кислот в свободном виде и образованию сернокислых солей цинка, кобальта и никеля, которые остаются в водной фазе (серуме). Присутствие данных солей в серуме создает возможность его использования в технологическом процессе производства эмульсионных каучуков для приготовления водных растворов хлоридов этих солей, а также подкисляющего агента (серной кислоты). Положительное решение рассмотренных вопросов способствует и решению ряда экологических проблем. Исследованные резиновые смеси и вулканизаты, приготовленные на основе экспериментальных каучуков, по своим показателям соответствуют нормативным требованиям.

Ключевые слова: латекс, коагулирующие агенты, выделение, каучук, показатели.

Введение. Выпуск синтетических эмульсионных каучуков и латексов неуклонно возрастает, что обосновано широким применением их при изготовлении шинной и резинотехнической продукции, выпуске композиционных материалов различного назначения [1–7]. Совершенствование технологии их производства, внедрение нового аппаратного оформления, инициирующих и коагулирующих систем позволяет интенсифицировать процесс, повысить производительность, снизить материальные и энергетические затраты.

Однако технологический процесс по их изготовлению несет значительную экологическую нагрузку, так, как и в настоящее время на ряде предприятий нефтехимической отрасли в процессе выделения каучуков из латекса в качестве коагулирующего агента используется водный раствор хлорида натрия, расход которого достигает 200 кг на тонну каучука. Это объясняется тем, что применение других коагулирующих агентов сопряжено с существенным изменением технологии выделения каучука, а, следовательно, и аппаратного оформления процесса. Поэтому

важной и актуальной является задача, направленная на разработку новых технологий и технических решений, позволяющих снизить расход хлорида натрия или полностью исключить его применение в технологии производства эмульсионных каучуков [8–12].

Так в работе [8] показана возможность применения в технологии производства каучуков из латексов низкомолекулярных и высокомолекулярных четвертичных солей аммония, расход которых меньше, чем хлорида натрия и других солей. Однако высокая стоимость данных соединений, их токсичность, а также отсутствие возможности их применения в некоторых технологических процессах в значительной степени сдерживает их использование в промышленности синтетического каучука, получаемого эмульсионной полимеризацией.

Анализ имеющихся литературных данных показал отсутствие сведений о применении в технологии выделения каучука из латекса в качестве коагулянтов солей на основе d-металлов 4-го периода периодической системы Д.И. Менделеева. Интерес к применению этих солей в технологии выделения каучуков из латексов базируется на

том, что они присутствуют в качестве отходов на некоторых химических, нефтехимических предприятиях, а оксид цинка активно используется и в настоящее время в качестве одного из компонентов резиновых смесей. Поэтому поиск новых направлений по использованию данных соединений имеет как научное, так и прикладное значение.

В настоящей работе исследована возможность применения солей d-металлов 4-го периода периодической системы Д.М. Менделеева в

технологии выделения синтетического каучука СКС-30 АРК из латекса, проведена сравнительная оценка их влияния на процесс коагуляции в сравнении с хлоридом натрия, дана оценка получаемых каучуков и вулканизатов.

Методология. Объектом исследования являлся бутадиен-стирольный латекс марки СКС-30 АРК, характеристика которого представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика бутадиен-стирольного латекса производства каучука СКС-30 АРК

Наименование показателей	Значение
Сухой остаток, % мас.	20,2
Поверхностное натяжение, $[\sigma]$, мН/м	61,3
рН латекса	9,5
Размер латексных частиц, нм	53,6
Содержание связанного стирола, % мас.	22,1

Коагуляцию каучукового латекса СКС-30 АРК проводили по общепринятой методике [13] с использованием в качестве коагулирующих агентов водные растворы солей, обладающих следующей концентрацией:

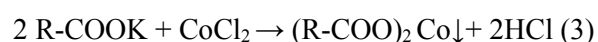
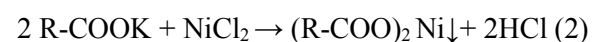
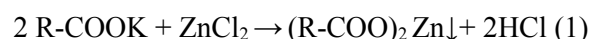
хлорид натрия – 10,0 % мас.,
хлорид цинка – 11,0 % мас.,
хлорид никеля – 8,0 % мас.,
хлорид кобальта – 7,5 % мас.

В качестве подкисляющего агента применяли 2,0 – ный % по массе водный раствор серной кислоты с расходом 15 кг на 1 тонну каучука. Выделение каучука из латекса проводили при температуре 20 ± 2 °С, 40 ± 2 °С, и 60 ± 2 °С на коагуляционной установке, представляющей собой емкость, снабженную перемешивающим устройством, помещенную в термостат для поддержания заданной температуры. Проведение коагуляции при более высокой температуре объясняется тем, что данный температурный режим имеет место на реальном производстве. Полноту выделения каучука из латекса оценивали визуально по прозрачности серума и гравиметрически – по массе получаемой крошки каучука. Образующуюся крошку отделяли от серума, промывали водой и после частичного обезвоживания досушивали в сушильном шкафу при температуре 82 ± 2 °С.

Основная часть. Полученные экспериментальные результаты показали (табл. 2), что масса выделяемой крошки каучука закономерно возрастала с повышением расхода коагулянта. Однако полнота выделения каучука из латекса достигалась при разных расходных нормах коагу-

лянтов. В случае применения в качестве коагулирующих агентов хлоридов таких d-металлов как цинк, никель, кобальт полнота выделения достигалась при расходе 30–50 кг/т каучука, что соответствует правилу Шульца-Гарди, это в 5–6 раз меньше, чем расход хлорида натрия.

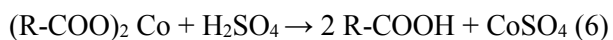
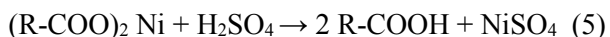
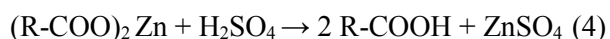
Теоретические и экспериментальные исследования указывают на то, что в системе реализуется нейтрализационный механизм коагуляции за счет химического взаимодействия анионов эмульгатора с солями d-металлов 4-го периода периодической системы Д.М. Менделеева с образованием ионно-солевого комплекса [14]. Продукты данного взаимодействия (реакции 1, 2, 3) теряют растворимость в водной фазе и могут частично захватываться образующейся крошкой каучука:



Протекание данных реакций подтверждается изменением окраски вводимых водных растворов солей никеля (зеленая окраска) и кобальта (фиолетовая окраска) в раствор поверхностно-активных веществ, которая затем исчезает. Раствор теряет прозрачность, приобретает молочно-белый цвет вследствие образования данных комплексов.

Завершающаяся стадия выделения каучука из латекса сопровождается подкислением коагулируемой системы водным раствором серной кислоты с целью перевода мыл карбоновых кислот и полученного нерастворимого продукта в карбоновые кислоты. Данное взаимодействие

приводит к образованию водорастворимых солей d-металлов 4-го периода периодической системы Д.М. Менделеева по следующим реакциям:



Подтверждением данного процесса служит изменение окраски коагулируемой системы: водная фаза (серум) приобретает в случае с применением соли никеля зеленое окрашивание, а соли кобальта – фиолетовое.

Таким образом, проведенные исследования указывают на тот факт, что соединения никеля, кобальта и цинка преимущественно не захватываются крошкой каучука в виде нерастворимых в воде солей смоляных жирных кислот. Это позволяет использовать серум для приготовления водных растворов этих солей и для приготовления раствора подкисляющего агента с последующим использованием их в процессе выделения каучука из латекса, что создает условия для создания замкнутого технологического цикла с минимизацией экологических рисков.

Таблица 2

Выделение каучука из латекса СКС-30 АРК различными коагулянтами

Вид коагулянта	хлорид натрия						
Расход хлорида натрия, кг/т каучука	10	30	50	70	100	120	150
рН водной фазы (серума) 20 / 40 / 60 °С	3,0 / 3,2 / 3,0						
Выход коагулюма, % 20 °С	34,5	56,3	74,7	80,5	85,6	90,5	97,1
40 °С	33,0	54,8	74,2	81,0	83,9	91,0	97,5
60 °С	32,3	55,1	75,2	79,6	84,9	89,6	98,0
Оценка полноты коагуляции	кн	кн	кн	кн	кн	кп	кп
Вид коагулянта	Хлорид цинка						
Расход хлорида цинка, кг/т каучука	5	10	20	30	40	–	–
рН водной фазы 20 / 40 / 60 °С	2,4 / 2,5 / 2,5						
Выход коагулюма, % 20 °С	55,8	70,3	88,7	92,3	96,4	–	–
40 °С	54,2	70,9	88,2	93,1	95,8		
60 °С	53,9	71,0	89,04	93,0	96,7		
Оценка полноты коагуляции	кн	кн	кн	кп	кп	–	–
Вид коагулянта	хлорид никеля						
Расход хлорида никеля, кг/т каучука	5	10	20	30	40	50	–
рН водной фазы 20 / 40 / 60 °С	3,6 / 3,5 / 3,6						
Выход коагулюма, % 20 °С	41,0	65,6	69,2	81,1	84,9	94,8	–
40 °С	41,3	65,0	70,9	81,0	84,7	92,9	
60 °С	42,3	64,9	70,5	79,9	85,6	93,8	
Оценка полноты коагуляции	кн	кн	кн	кн	кн	кп	
Вид коагулянта	хлорид кобальта						
Расход хлорида кобальта, кг/т каучука	5	10	20	30	40	50	–
рН водной фазы 20 / 40 / 60 °С	3,6 / 3,5 / 3,5						
Выход коагулюма, % 20 °С	61,2	74,6	81,3	86,5	91,9	94,0	–
40 °С	61,5	75,8	81,5	88,1	92,3	93,9	
60 °С	60,9	74,9	82,0	89,1	92,5	94,8	
Оценка полноты коагуляции	кн	кн	кн	кн	кп	кп	–

Примечание: кн – коагуляция неполная; кп – коагуляция полная.

Исследования по влиянию температуры на полноту выделения каучука из латекса с применением солей d-металлов 4 периода периодической систем Д.И. Менделеева показали, что данный фактор не оказывает влияния на процесс коагуляции. Полнота выделения каучука из латекса достигалась при одних и тех же расходных количествах коагулирующих агентов.

Новизна проведенных результатов позволяет внести ряд новых представлений в теорию

агрегативной устойчивости синтетических латексов и расширить сведения по влиянию различных видов солей на процесс выделения каучуков из латексов.

На основе каучука, выделенного из латекса с применением солей d-металлов 4-го периода периодической системы Д.М. Менделеева, приготовлены резиновые смеси и вулканизаты по общепринятой методике с использованием стандартных ингредиентов. Испытания показали, что

по основным физико-механическим характеристикам экспериментальные образцы соответствуют требованиям, предъявляемым к стандартным смесям [15]. Следовательно, в технологии выделения каучуков из латексов соли d-металлов 4-го периода периодической системы Д.М. Менделеева могут быть использованы.

Выводы. Расход хлоридов d-металлов 4 периода на выделение 1 т каучука составляет 30–45 кг, что в 5–6 раз меньше расхода хлорида натрия. Температурный режим не оказывает влияния на полноту коагуляции. В процессе выделения каучука из латекса могут быть использованы отходы, содержащие в своем составе соли d-металлов 4 группы периодической системы. По своим основным показателям вулканизаты на основе экспериментальных образцов соответствовали требованиям ГОСТ [16], предъявляемым к каучуку СКС-30 АРК. Предлагаемая технология создает предпосылки возможности снижения экологической нагрузки на окружающую среду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Папков В.Н., Ривин Э.М., Блинов Е.В. Бутадиен-стирольные каучуки. Синтез и свойства. Воронеж: ВГУИТ. 2015. 315 с.
2. Аверко-Антонович Л.А., Аверко-Антонович Ю.О., Давлетбаева И.М., Кирпичников П.А. Химия и технология синтетического каучука М.: Химия, КолосС, 2008. 357 с.
3. Гришин Б.С. Резиновая промышленность России – от настоящего, через прошлое к будущему // Промышленное производство и использование эластомеров. 2015. № 1. С. 3–9.
4. Vezhnikov V.N., Zorina A.V., Ermolaeva A.K., Kretinina N.I., Nikulin S.S. Effect of mechanical treatment on the aggregative stability of latex and on consumption of coagulants in rubber recovery // Russian Journal of Applied Chemistry. 2016. Т. 89. № 10. Pp. 1662–1666.
5. Аксенов В.И., Рахматуллин А.И., Золотарев В.Л. Российская промышленность синтетических каучуков в XXI веке Анализ работы в период 2000 – 2017 гг. Перспективы развития отрасли. // Промышленное производство и использование эластомеров. 2017. № 3–4. С. 3–22.
6. Амелина Н.В., Беляев П.С., Клишков А.С., Соколов М.В. Кинетика и аппаратно-технологическое оформление процесса изготовления резиновых нитей из латекса. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2015. 80 с.
7. Шеламова Е.Ю., Челноков П.А., Журихина М.А., Користина Л.А., Котова Т.В. Синтез и свойства бутадиен-стирольных карбоксилированных латексов, полученных методом полунепрерывной полимеризации // Каучук и резина. 2019. Т. 78. № 1. С. 16–21.
8. Никулина Н.С., Булатецкая Т.М., Провоторова М.А., Никулин С.С., Пугачева И.Н., Вережников В.Н. Изучение возможности применения в производстве эмульсионных каучуков неорганических солей аммония // Вестник ВГУ, серия: Химия. Биология. Фармация. 2017. № 4. С. 18–22.
9. Vezhnikov V.N., Minkova T.V., Poyarkova T.N. Flocculation of butadiene-styrene latex with polymeric ammonium salts of N, N – dimethylaminoethyl methacrylate and mineral acid // Russian Journal of Applied Chemistry. 2004. Vol. 77. № 5. Pp. 830–834.
10. Vezhnikov V.N., Ostankova I.V., Kuznetsov V.A. Peculiarities of the coagulation mechanism of a nanocrystalline cellulose hydrosol and latex // Colloid Journal. 2014. Vol. 76. № 6. С. 668–674.
11. Vezhnikov V.N., Tekucheva A.E., Korystina L.A., Grinfeld E.A. Agglomeration of particles in a binary latex mixture, according to dynamic light scattering data // Russian Journal of Applied Chemistry. 2009. Vol. 82. № 12. Pp. 2197–2200.
12. Nikulin S.S., Shul'gina Yu.E., Poyarkova T.N., Popov V.M., Latynin A.V., Nikulina N. S. Specific features of rubber recovery from a latex with N, N-dimethyl-N, N-diallylammonium chloride under the action of magnetic field // Russian Journal of Applied Chemistry. 2014. Vol. 87. № 7. Pp. 972–977. DOI: 10.1134/S1070427214070209
13. Нейман Р.Э. Коагуляция синтетических латексов: (Физ.-хим. основы) // М-во высш. и сред. спец. образования РСФСР. Воронежский гос. ун-т. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1967. 187 с.
14. Вережников В.Н., Гермашева И.И., Крысин М.Ю. Коллоидная химия поверхностно-активных веществ. СПб: Лань. 2015. 304 с.
15. Гришин Б.С. Материалы резиновой промышленности (информационно-аналитическая база данных). Казань: КГТУ. 2010. 994 с.
16. ГОСТ 15627-79 Каучуки синтетические бутадиен метилстирольный СКМС – 30АРК и бутадиен-стирольный СКС-30АРК. Технические условия. Изменения 12.09.2018. Москва: Издательство стандартов. 52 с.

Информация об авторах

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

Пугачева Инна Николаевна, доктор технических наук, декан факультета экологии и химической технологии. E-mail: eso-inna@yandex.ru. Воронежский государственный университет инженерных технологий. Россия, 394036, Воронеж, Революции проспект, 19.

Никулин Сергей Саввович, доктор технических наук, профессор кафедры технологии органических соединений, переработки полимеров и техносферной безопасности. E-mail: nikulin.nikuli@yandex.ru. Воронежский государственный университет инженерных технологий. Старший научный сотрудник военного учебно-научного центра военно-воздушных сил. Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина. Россия, 394036, Воронеж, Революции проспект, 19.

Поступила в июне 2019 г.

© Власова Л.А, Пугачева И.Н, Никулин С.С., 2019

^{1,*}Vlasova L.A., ¹Pugacheva I.N., ^{1,2}Nikulin S.S.

¹Voronezh state University of engineering technologies

²Military training and research center of the air force "Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Gagarin

*E-mail: vllar65@yandex.ru

THE USE OF SALTS OF D-METALS OF THE 4th PERIOD AS COAGULANTS IN THE PRODUCTION TECHNOLOGY OF EMULSION RUBBERS

Abstract. Currently, much attention is paid to improving the technology of rubbers obtained by emulsion polymerization. The stage of isolation of rubber from latex is one of the problematic stages of this production. The development of more advanced coagulating systems remains relevant. For the first time, the possibility of using d-metal salts of the fourth period of the periodic table of Mendeleev's salts as coagulants in rubber isolation is considered: chloride of zinc, nickel and cobalt. The influence of the consumption of these salts on the completeness of rubber isolation is investigated, the properties of rubbers are estimated. It is found that zinc chloride has the best coagulating ability. The formation of insoluble complex compounds between the coagulating agent and surfactants of the latex system is established. It is revealed that the acidification of the coagulating system leads to the release of higher carboxylic acids in free form and the formation of sulfuric salts of zinc, cobalt and nickel, which remain in the aqueous phase (serum). The presence of these salts in the serum allows its usage in the technological process of emulsion rubbers production for the preparation of aqueous solutions of chlorides of these salts, as well as acidifying agent (sulfuric acid). The positive outcome of the considered issues contributes to the solution of a number of environmental problems. The studied rubber mixtures and vulcanizates prepared on the basis of experimental rubbers meet the regulatory requirements.

Keywords: latex, coagulating agents, isolation, rubber, indicators.

REFERENCES

1. Papkov V.N., Rivin E.M., Blinov E.V., Butadiene-styrene rubbers. Synthesis and properties [Butadien-stirol'nye kauchuki. Sintez i svoystva]. Voronezh: VGUI. 2015, 315 p. (rus)
2. Averko-Antonovich L.A., Averko-Antonovich Yu.O., Davletbaeva I.M., Kirpichnikov P.A. Chemistry and technology of synthetic rubber [Himiya i tekhnologiya sinteticheskogo kauchuka]. M.: Chemistry, Colossus, 2008, 357 p. (rus)
3. Grishin B.S. Rubber industry of Russia – from the present, through the past to the future [Rezinovaya promyshlennost' Rossii – ot nastoyashchego, cherez proshloe k budushchemu]. Industrial production and use of elastomers. 2015. No. 1. Pp. 3–9. (rus)
4. Verezhnikov V.N., Zorina A.V., Ermolaeva A.K., Kretinina N.I., Nikulin S.S. Effect of mechanical treatment on the aggregative stability of latex

and on consumption of coagulants in rubber recovery. Russian Journal of Applied Chemistry. 2016. Vol. 89. No. 10. Pp. 1662–1666.

5. Aksenov V.I., Rakhmatullin A.I., Zolotarev V.L. Russian industry of synthetic rubbers in the 21st century. Analysis of the work in the period 2000 – 2017. Prospects for the development of the industry [Rossijskaya promyshlennost' sinteticheskikh kauchukov v XXI veke Analiz raboty v period 2000–2017 gg. Perspektivy razvitiya otrasli]. Industrial production and use of elastomers. 2017. No. 3–4. Pp. 3–22. (rus)

6. Amelina N.V., Belyaev P.S., Klinkov A. S., Sokolov M.V. Kinetics and hardware and technological registration of the production of rubber threads of latex [Kinetika i apparaturno-tekhnologicheskoe oformlenie processa izgotovleniya rezinovykh nitej iz lateksa]. Tambov: Publishing house TGTU. 2015. 80 p. (rus)

7. Shelamova E.Y., Chelnokov P.A., Zhurikhina M.A., Korystina L.A., Kotova T.V. Synthesis and properties butadiene – the styrene carboxylated latexes reseived by method of semi–continuous polymerization [Sintez i svojstva butadien-stirol'nyh karboksilirovannyh lateksov, poluchennyh metodom polunepriyvnnoy polimerizacii]. Rubber and Rubber. 2019. Vol. 78. No. 1. Pp. 16–21. (rus)
8. Nikulina N.S., Bulatetskaya T.M., Provotorova M.A., Nikulin S.S., Pugacheva I.N., Verezhnikov V.N. Study of a possibility of application in production of emulsion rubbers of inorganic salts of ammonium. Vestnik VGU, series: Chemistry. Biology. Pharmacy. 2017. No. 4. Pp. 18–22. (rus)
9. Verezhnikov V.N., Minkova T.V., Poyarkova T.N. Flocculation of butadiene-styrene latex with polymeric ammonium salts of N, N – dimethylaminoethyl methacrylate and mineral acid. Russian Journal of Applied Chemistry. 2004. No. 77. No. 5. Pp. 830–834.
10. Verezhnikov V.N., Ostankova I.V., Kuznetsov V.A. Peculiarities of the coagulation mechanism of a nanocrystalline cellulose hydrosol and latex. Colloid Journal. 2014. Vol. 76. No. 6. Pp. 668–674.
11. Verezhnikov V.N., Tekucheva A.E., Korystina L.A., Grinfeld E.A. Agglomeration of particles in a binary latex mixture, according to dynamic light scattering data. Russian Journal of Applied Chemistry. 2009. Vol. 82. No. 12. Pp. 2197–2200.
12. Nikulin S.S., Shul'gina Yu.E., Poyarkova T.N., Popov V.M., Latynin A.V., Nikulina N. S. Specific features of rubber recovery from a latex with N, N-dimethyl-N,N-diallylammonium chloride under the action of magnetic field. Russian Journal of Applied Chemistry. 2014. Vol. 87. No. 7. Pp. 972–977. DOI: 10.1134/S1070427214070209
13. Neiman R.E. Coagulation of synthetic latex: (Phys.-chem. bases) [Koagulyaciya sinteticheskikh lateksov: (Fiz.-him. osnovy)]. M-vo vyssh. i sred. spec. ob-razovaniya RSFSR. Voronezhskij gos. un-t. Voronezh: Izd-vo Voronezh. un-ta, 1967, 187 p. (rus)
14. Verezhnikov V.N., Germasheva I.I., Krysin M.Yu. Colloidal chemistry of surfactants [Kolloidnaya himiya poverhnostno-aktivnyh veshchestv]. Saint Petersburg: LAN. 2015. 304 p. (rus)
15. Grishin B. S. Materials of the rubber industry (information and analytical database) [Materialy rezinovoj promyshlennosti (in-formacionno-analiticheskaya baza dannyh)]. Kazan: Kazan state technological University. 2010, 994 p. (rus)
16. GOST 15627-79. Synthetic Rubber butadiene metilstirolny SCMS – 30ARK and butadiene-styrene SCS-30ARK. Technical conditions. Changes 12.09.2018 [Kauchuki sinteticheskie butadien metilstirol'nyj SKMS – 30ARK i butadien-stirol'nyj SKS-30ARK. Tekhnicheskie usloviya. Izmeneniya 12.09.2018]. Moscow: Publishing house of standards, 52 p. (rus)

Information about the authors

Vlasova, Larisa A. PhD, Assistant professor. E-mail: vllar65@yandex.ru. Voronezh State University of Engineering Technologies. Russia, 394036, Voronezh, Revolution Avenue, 19.

Pugacheva, Inna N. DSc, Professor. E-mail: eco-inna@yandex.ru. Voronezh State University of Engineering Technologies. Russia, 394036, Voronezh, Voronezh, Revolution Avenue, 19.

Nikulin, Sergey S. DSc, Professor. E-mail: nikulin.nikuli@yandex.ru. Voronezh State University of Engineering Technologies. Military training and research center of the air force Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Gagarin. Russia, 394036, Voronezh, Revolution Avenue, 19.

*Received in June 2019***Для цитирования:**

Власова Л.А., Пугачева И.Н., Никулин С.С. Применение солей d-металлов 4-го периода в качестве коагулянтов в технологии производства эмульсионных каучуков // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 9. С. 117–122. DOI: 10.34031/article_5db3e74c458638.24216673

For citation:

Vlasova L.A., Pugacheva I.N., Nikulin S.S. The use of salts of d-metals of the 4th period as coagulants in the production technology of emulsion rubbers. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 9. Pp. 117–122. DOI: 10.34031/article_5db3e74c458638.24216673

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/article_5db43db55dc701.66246266

**Загороднюк Л.Х., Уральский В.И., Уральский А.В., Сумской Д.А.,
Непризванный А.Е., Шкулев А.С.*

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46*

**E-mail: LHZ47@mail.ru*

ПОЛУЧЕНИЕ ВЯЖУЩИХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ БЕТОНОВ В ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ПОМОЛЬНОЙ МЕЛЬНИЦЕ

Аннотация. Приведены результаты исследований по измельчению отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов (ММС) Лебединского горно-обогатительного комбината в центробежном помольном агрегате, определена специфика их измельчения. Разработаны вяжущие композиции с разным процентным содержанием портландцемента и отходов мокрой магнитной сепарации в центробежном помольном аппарате. Исследована специфика процессов помола, установлены физико-механические и технологические характеристики разработанных вяжущих. Полученные данные свидетельствуют, что использование минерального наполнителя до 10% обеспечивает уплотнение структуры за счет наличия тонкодисперсного минерального наполнителя, что позволит сократить расход портландцемента до 10%. При измельчении полученных составов происходит резкое увеличение количества дефектов на поверхности, которое объясняется нарушением связей между кристаллами, сопровождающееся разрывом связей между кремнием и кислородом. Проявление активности отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов, по-видимому, связано с присутствием на их поверхности значительного числа обменных центров, существенную долю которых составляют основания и кислоты. Процессы гидратации и формирование цементного камня при использовании вяжущих композиций требует дальнейшего тщательного изучения.

Ключевые слова: вяжущие композиции, центробежный помольный агрегат, отходы мокрой магнитной сепарации, гранулометрический состав, физико-механические показатели.

Введение. На мировом рынке строительных материалов ведущее место занимает бетон. Ежегодно в мировых масштабах используют примерно 15 млрд. м³ бетона, в двадцатом столетии только в Российской Федерации было применено около 21 млрд. м³ бетона и железобетона [1–3]. На его изготовление было затрачено более 65 % всего произведенного цемента и 35 % нерудных стройматериалов. В денежном выражении бетон и железобетон составляют около 60 % стоимости всех материалов, используемых в строительстве. Эффективность бетонной и железобетонной промышленности во многом определяет уровень всей индустрии стройматериалов.

При смене безграничного «технического прогресса» всемирное сообщество предложило гипотезу устойчивого развития современной цивилизации с учетом интересов будущих поколений. В этих условиях материалы и технологии в области строительства должны характеризоваться всеми признаками пятого технологического уклада в мире, который утвердился в развитых странах. Данный подход подразумевает гуманизацию и экологизацию технологий, значи-

тельный уровень автоматизации и компьютеризации процессов, ресурсоемкий и трудосберегающий вид воспроизводства, децентрацию производства, что является основой для концепции «устойчивого развития строительства», заложенных критериев – ресурсосбережение и энергосбережение, защита окружающей среды.

Очень важно с экологической точки зрения использование отходов энергетики, металлургии и других областей при производстве бетона. Накопление данных отходов в РФ со всеми негативными результатами значительно опережает объемы их утилизации. Цементная индустрия является одной из основных отраслей стройматериалов, где максимально применяются техногенные продукты. В качестве сырья обширно используются отходы различных отраслей промышленности. Нередко для производства портландцемента используют вскрышные породы горно-обогатительных комбинатов. Известно использование в качестве сырьевого компонента железорудных хвостов, шлаков электротермофосфорных, но чаще доменного гранулированного шлака в качестве активной минеральной добавки. Комплексное применение материалов и

техногенных продуктов дает возможность увеличить выпуск многочисленных разновидностей продукции на 35–55 %, уменьшить ее первоначальную стоимость в 2–4 раза. Вопрос утилизации крупнотоннажных отходов носит международный характер. В Соединенных Штатах Америки объем переработки отходов составляет 20 %, во Франции – 62 %, в Германии – 76,5 %. Объем переработки отходов в Польше и Болгарии составляет около 40 %.

Особое развитие в современных условиях приобретает использование в строительных технологиях композиционных вяжущих для производства сухих строительных смесей различного назначения, мелкозернистых бетонов, для тяжелых бетонов специального назначения [4–15].

Таким образом, последующее формирование технологий бетона и железобетона, в рамках концепции «стабильного развития», сопряжено с использованием композиционных цементов, в вещественном составе которых возможно применение тонкодисперсных техногенных наполнителей.

Формирование данной тенденции ускорило с введением нового европейского стандарта EN 197-1, который в настоящее время стандартизировал 27 различных видов цемента общего назначения для строительных целей. Согласно EN 197-1, в качестве основных компонентов цемента наряду с клинкером могут использоваться гранулированные доменные шлаки, пуццоланы, зола-унос, горючие сланцы и силикатная пыль.

Одним из способов увеличения производства цемента является использование местных природных ресурсов, а также техногенных ресурсов в дополнение к подземным ресурсам.

Таким образом, на сегодняшний день остро назрела проблема использования техногенного сырья, а также создание композиционных вяжущих с требуемыми функциональными свойствами [16–21].

Особый интерес в связи с вышеизложенным представляют отходы металлургического производства Лебединского горно-обогатительного комбината, ежегодный выход которых составляет десятки млн. тонн.

Методология. В качестве сырьевых материалов использованы: цемент ЦЕМ 1 42,5Н (ГОСТ 31108-2003) ЗАО «Белгородский цемент» и отходы ММС Лебединского горно-обогатительного комбината. Композиционное вяжущее получали в центробежном помольном агрегате. Гранулометрический анализ проводили на установке MicroSizer 201. Физико-механические свойства вяжущих композиций определяли в соответствии с нормативными требованиями.

Основная часть. Установлено, что для получения высококачественных бетонов и повышения эффективности использования цемента в бетонах целесообразно применять композиционные вяжущие с использованием отходов мокрой магнитной сепарации [22–24]. Особый интерес в связи с приготовлением композиционного вяжущего представляет помольный агрегат, в котором происходит измельчение и механоактивация портландцемента и отходов мокрой магнитной сепарации.

На территории БГТУ им. В.Г. Шухова в инновационно-технологическом комплексе «Рецикл» установлен разработанный на кафедре технологических комплексов, машин и механизмов центробежный помольный агрегат, предназначенный для тонкого измельчения техногенных материалов различной прочности [25]. Схема агрегата представлена на рисунке 1.

Центробежный помольный агрегат работает следующим образом. Подается материал через загрузочный бункер (1), который работает как вибробункер, бункер фиксирован на стойках (2, 3), прикрепленных к раме (4), при открытых клапанах (5, 6) равномерно поступает по монтажным патрубкам (7, 8) в загрузочные патрубки верхних помольных камер (9). Продвижение материала осуществляется посредством верхней (9), средней (10) и нижней (11) помольных камер, объединенных между собой монтажными патрубками (12), это обеспечивает активное измельчение за счет ударного и абразивного воздействия помольных шаров на материал. Вследствие различных траекторий движения материала и помольных шаров в камерах и, соответственно, различных динамических нагрузок мелющих тел на исходный материал, и сочетаний ударных и истирающих нагрузок происходит измельчение материала. Измельченный материал высыпается через выпускные трубы (13, 14). Перемещение шарнирно соединенных с парами ползунов (15, 16) рам (17, 18) с установленными на них камерами помола реализуется от вращения эксцентриковых валов (19, 20), установленных на стойках опор (21, 22).

Установка эксцентриковых валов на необходимый угол α (в данном случае $\alpha = 180^\circ$) и скоординированное их вращение обеспечивается через промежуточный вал (23) и зубчатые колеса (24, 25, 26), установленные на эксцентриковых и промежуточном валах. Динамические нагрузки, которые возникают при перемещении двух параллельных рычажных механизмов, уравниваются, что обеспечивает равномерное измельчение материала при одинаковых режимах работы обеих частей агрегата, что обеспечивает повышение производительности агрегата.

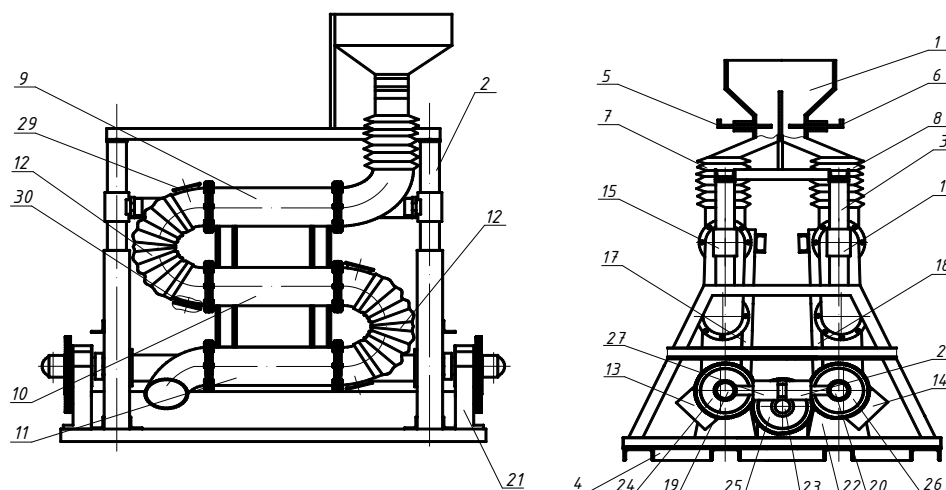


Рис. 1. Центробежное помольное устройство

Схема центробежного помольного агрегата: 1 – загрузочный бункер; 2, 3 – цилиндрические направляющие; 4 – станина; 5, 6 – заслонки; 7, 8 – соединительные патрубки; 9 – верхняя помольная камера; 10 – средняя помольная камера; 11 – нижняя помольная камера; 12 – соединительный патрубок; 13, 14 – разгрузочные патрубки; 15, 16 – ползуны; 17, 18 – подвижные рамы; 19, 20 – эксцентриковые валы; 21, 22 – опорные стойки; 23 – промежуточный вал; 24, 25, 26 – зубчатые колеса; 27, 28 – регулируемые противовесы; 29 – загрузочное окно; 30 – разгрузочное окно

Принципиальный подход в предлагаемом помольном устройстве гарантирует одновременное измельчение и перемешивание составных частей смесей, кроме того, конструктивные особенности агрегата позволяют изменять режимы динамического воздействия мелющих шаров на сы-

рьевой измельчаемый материал за счет изменения траекторий движения материала и помольных камер.

Основные технические характеристики центробежного помольного устройства приведены в таблице 1.

Таблица 1

Техническая характеристика центробежного помольного агрегата

№ п/п	Характеристика	Размерность	Обозначение	Значение
1.	Диаметр камеры помола	М	$D_{\text{вн}}$	$150 \cdot 10^{-3}$
2.	Длина камеры помола	М	$L_{\text{к}}$	$500 \cdot 10^{-3}$
3.	Коэффициент загрузки камер		φ	0,25–0,35
4.	Производительность	кг/ч	Q	50–250
5.	Частота вращения эксцентрикового вала	мин ⁻¹	N	350–420
6.	Величина эксцентриситета	М	E	$20 \cdot 10^{-3}$
7.	Потребляемая мощность	кВт	$P_{\text{пот}}$	2,4
8.	Габаритные размеры: -длина -ширина -высота	М	L B H	2,34 1,4 1,286
9.	Масса	Кг	M	950

В соответствии с поставленной целью в центробежном помольном агрегате готовили составы вяжущих композиций при разных соотношениях компонентов на основе портландцемента ЦЕМ I 42,5Н (ГОСТ 31108-2003) ЗАО «Белгородский цемент» и отходов мокрой магнитной сепарации при различных продолжительностях помола 15, 30 и 45 мин (таблица 2).

Гранулометрический состав портландцемента и вяжущих композиций изменялся от 0,1 до 100 мкм и более (рис. 2-3). Удельная поверхность исходного портландцемента составляла $9807 \text{ см}^2/\text{см}^3$. При измельчении в течение 15 минут удельная поверхность увеличивается в 1,87 раза – до $18302 \text{ см}^2/\text{см}^3$. При помоле 30 минут

удельная поверхность рядового портландцемента достигает $19093 \text{ см}^2/\text{см}^3$, что возрастает в 1,95 раза по сравнению с исходным портландцементом. При последующем увеличении длительности времени помола до 45 минут удельная поверхность измельченного портландцемента увеличивается до $20098 \text{ см}^2/\text{см}^3$ – в 2,1 раз. Полученные данные свидетельствуют о высокой эффективности измельчения в центробежном помольном агрегате

Состав вяжущей композиции №5 имеет удельную поверхность $9463 \text{ см}^2/\text{см}^3$. Измельчение в течение 15 минут вяжущей композиции с

соотношением компонентов портландцемент – отходы мокрой магнитной сепарации = 90/10 % в центробежном помольном агрегате дает увеличение удельной поверхности в 1,81 раз ($17176 \text{ см}^2/\text{см}^3$). При помоле в течение 30 минут удельная поверхность повышается до $19479 \text{ см}^2/\text{см}^3$ (состав №7) т.е. в 2,06 раза по сравнению с исходной вяжущей композицией. С увеличением времени измельчения до 45 минут удельная поверхность увеличивается в 2,16 раза – до $20436 \text{ см}^2/\text{см}^3$ (состав №8).

Таблица 2

Составы вяжущих композиций

№ составов	Состав, %		Время измельчения, мин	Плотность, $\text{г}/\text{см}^3$	Удельная пов-ть, $\text{см}^2/\text{см}^3$	$R_{\text{сж}}$ в возрасте 28 сут, МПа
	портландцемент	отходы мокрой магнитной сепарации				
1	100	0	0	2,4	9807	37,8
2	100	0	15	2,55	18302	48,3
3	100	0	30	2,55	19093	48,9
4	100	0	45	2,4	20098	52,9
5	90	10	0	2,55	9463	32,4
6	90	10	15	2,55	17176	44,8
7	90	10	30	2,48	19479	45,7
8	90	10	45	2,4	20436	49,8
9	80	20	0	2,4	9693	26,5
10	80	20	15	2,4	13918	31,1
11	80	20	30	2,48	17109	37,6
12	80	20	45	2,5	18964	43,8
13	70	30	0	2,3	9913	22,1
14	70	30	15	2,5	15004	30,0
15	70	30	30	2,48	17599	35,7
16	70	30	45	2,4	20871	40,1

Вяжущая композиция состава №9 имеет удельную поверхность $9693 \text{ см}^2/\text{см}^3$. Измельчение в течение 15 минут вяжущей композиции с соотношением компонентов портландцемент – отходы мокрой магнитной сепарации = 80/20 % в центробежном помольном агрегате дает увеличение удельной поверхности в 1,4 раза ($13918 \text{ см}^2/\text{см}^3$). При помоле в течение 30 минут удельная поверхность повышается до $17109 \text{ см}^2/\text{см}^3$ (состав №9) т.е. в 1,77 раза по сравнению с исходной вяжущей композицией. С увеличением времени измельчения до 45 минут удельная поверхность увеличивается в 1,96 раза – до $18964 \text{ см}^2/\text{см}^3$ (состав №10).

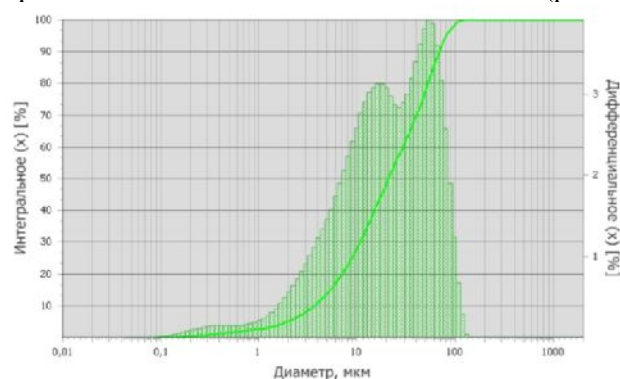
Вяжущая композиция не измельченная с соотношением компонентов портландцемент – отходы мокрой магнитной сепарации = 70/30%

имеет удельную поверхность $9913 \text{ см}^2/\text{см}^3$ (состав 13). При измельчении в течение 15 минут в центробежном помольном агрегате удельная поверхность повышается до $15004 \text{ см}^2/\text{см}^3$ (состав №12) т.е. в 1,51 раза. Увеличивая время измельчения до 30 минут удельная поверхность повысится до $17599 \text{ см}^2/\text{см}^3$ (в 1,81 раза по сравнению с составом №13). При времени измельчения – 45 минут удельная поверхность будет увеличена в 2,15 раза ($20871 \text{ см}^2/\text{см}^3$). Анализ приведенных данных свидетельствует о том, что центробежный помольный агрегат создает наилучшие условия для измельчения мелкозернистых материалов.

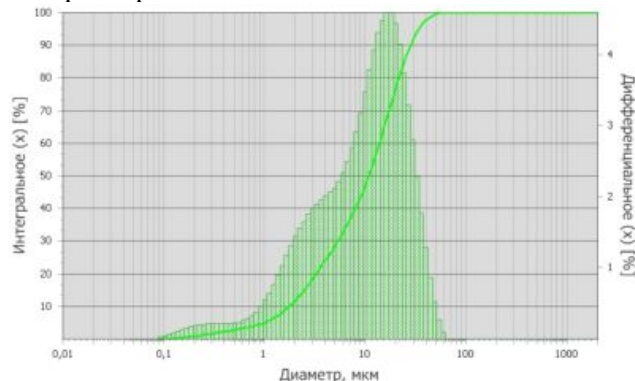
На рис. 4–7 представлены сравнительные кривые гранулометрических составов портландцементов и вяжущих композиций до и после помола. Установлено, что при увеличении времени

измельчения с 15 до 45 минут фракционный состав портландцемента сужается и преобладающей является фракция 10–30 мкм. Сравнительные кривые гранулометрических составов вяжущих композиций с соотношением компонентов портландцемент – отходы ММС = 90–10 % (рис.

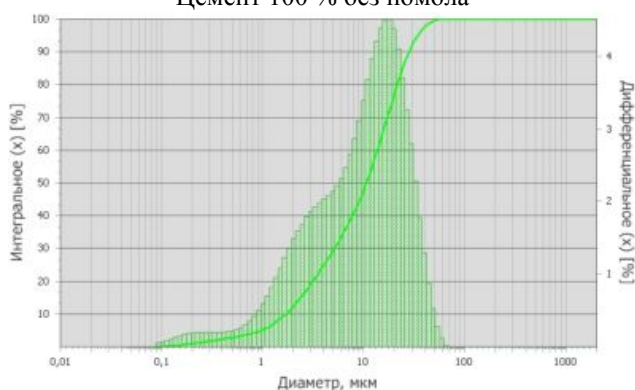
5) идентичны сравнительным кривым гранулометрических составов портландцементов (рис. 4). Отличительной особенностью является то, что с увеличением продолжительности измельчения кривые смещаются влево в область наименьших размеров.



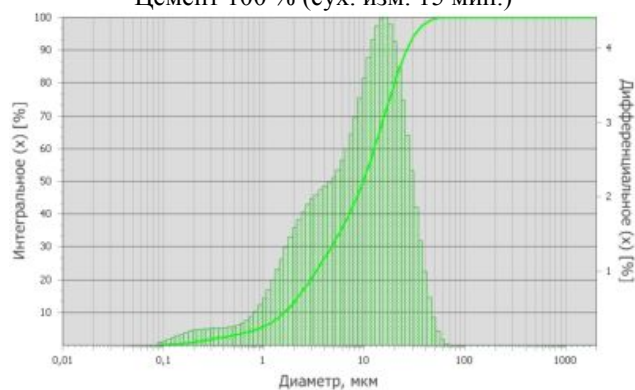
Цемент 100 % без помола



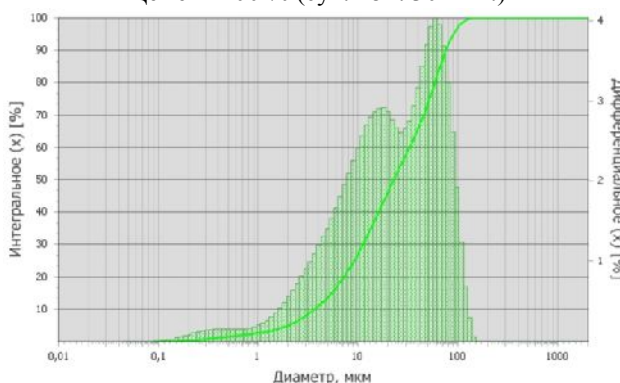
Цемент 100 % (сух. изм. 15 мин.)



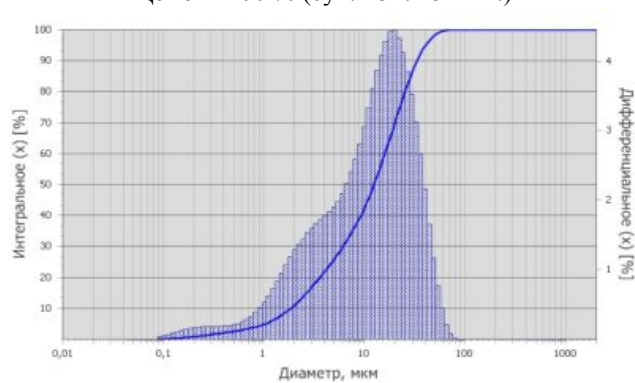
Цемент 100 % (сух. изм. 30 мин.)



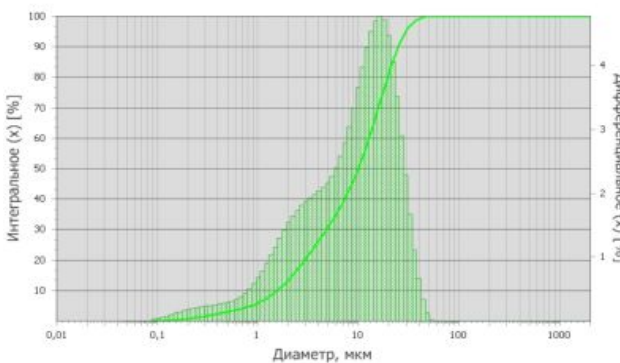
Цемент 100 % (сух. изм. 45 мин.)



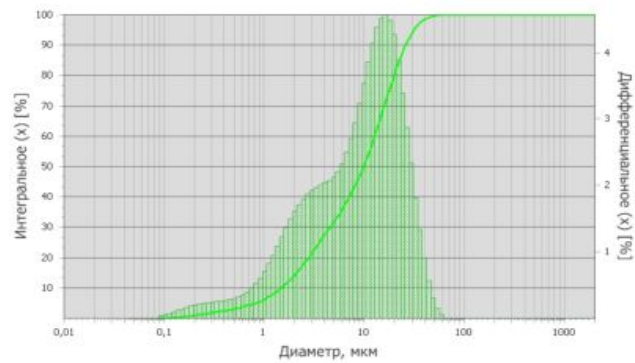
Цемент 90 % + ММС 10 % без помола



Цемент 90 % + ММС 10 % (сух. изм. 15 мин.)



Цемент 90 % + ММС 10 % (сух. изм. 30 мин.)

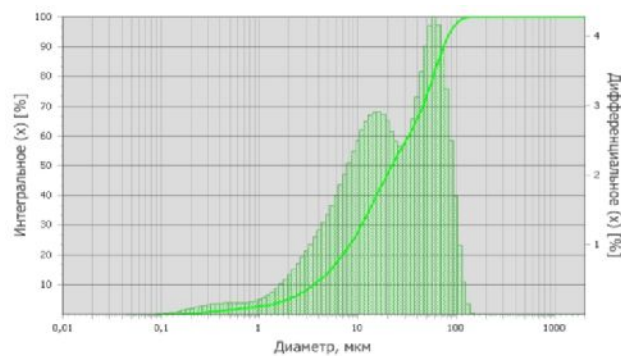


Цемент 90 % + ММС 10 % (сух. изм. 45 мин.)

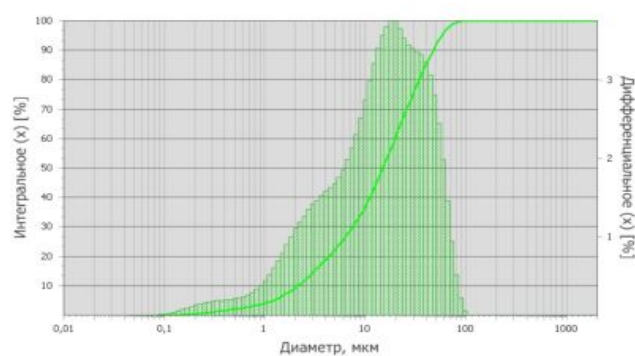
Рис. 2. Гранулометрический состав портландцемента и вяжущих композиций

Для вяжущих композиций (рис. 6–7) с содержанием минерального компонента 20 и 30 % отмечается, что с увеличением длительности помола кривые гранулометрического состава стабильно смещаются влево, что свидетельствует о приросте дисперсной фазы в этих составах, отмечается, что в составах с повышенным содержанием ММС прирост дисперсной фазы более интенсивный. Вышеизложенное свидетельствует

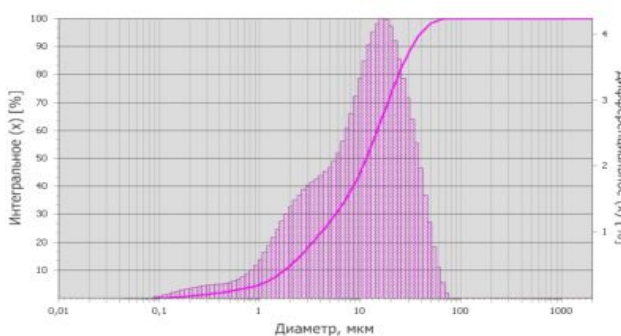
об эффективности применения центробежного помольного агрегата для составов, содержащих цемент и твердую минеральную составляющую, представленную отходами ММС, содержащими до 30 % железистой составляющей, что придает хрупкость и обеспечивает высокую размолоспособность зернам вяжущей композиции.



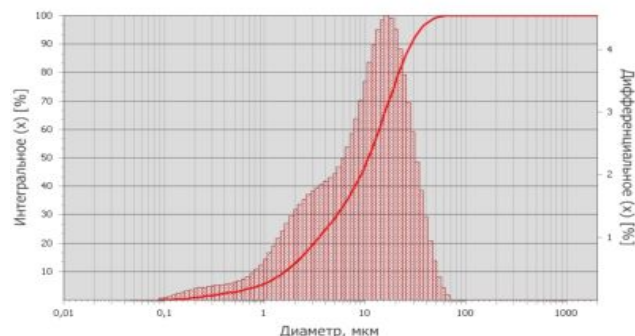
Цемент 80 % + ММС 20 % без помола



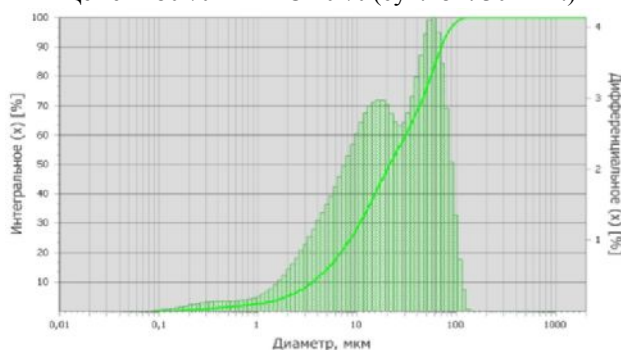
Цемент 80 % + ММС 20 % (сух.изм. 15 мин.)



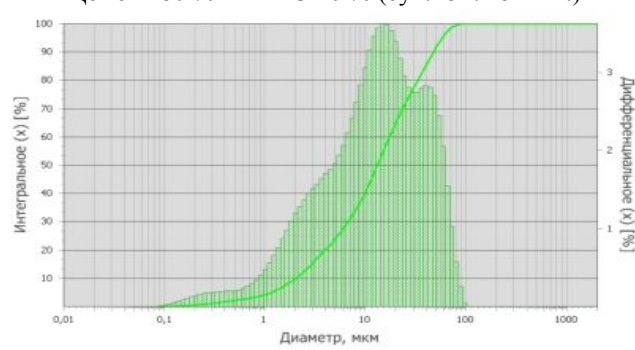
Цемент 80 % + ММС 20 % (сух.изм. 30 мин.)



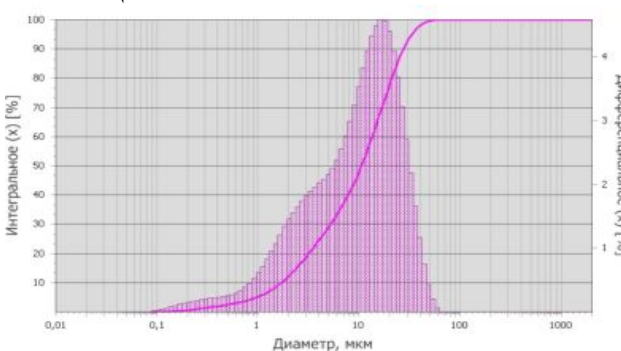
Цемент 80 % + ММС 20 % (сух.изм. 45 мин.)



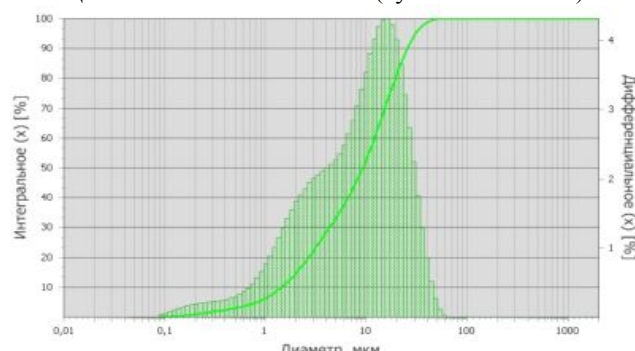
Цемент 70 % + ММС 30% без помола



Цемент 70 % + ММС 30 % (сух. изм. 15 мин.)



Цемент 70 % + ММС 30 % (сух. изм. 30 мин.)



Цемент 70 % + ММС 30 % (сух. изм. 45 мин.)

Рис. 3. Гранулометрический состав вяжущих композиций

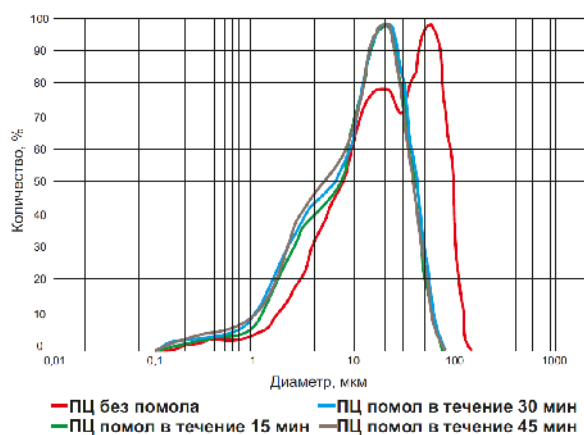


Рис. 4. Сравнительные кривые гранулометрических составов портландцементов

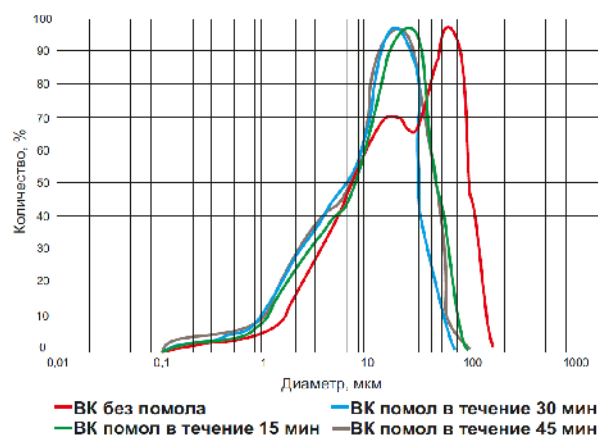


Рис. 5. Сравнительные кривые гранулометрических составов вяжущих композиций с соотношением компонентов портландцемент – отходы ММС = 90–10 %

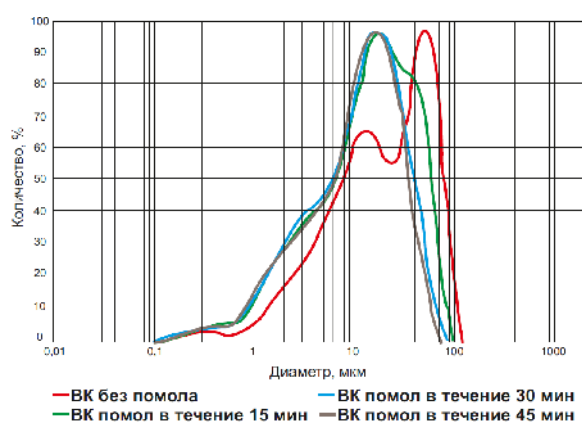


Рис. 6. Сравнительные кривые гранулометрических составов вяжущих композиций с соотношением компонентов портландцемент – отходы ММС = 80–20 %

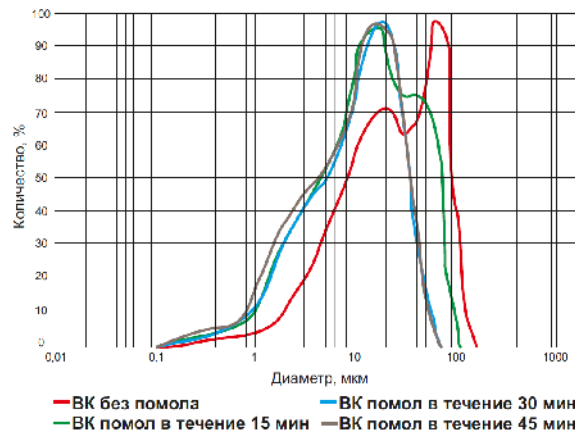


Рис. 7. Сравнительные кривые гранулометрических составов вяжущих композиций с соотношением компонентов портландцемент – отходы ММС = 70–30 %

Из всех составов вяжущих композиций были отформованы образцы-балочки размером 4×4×16 см (по 6 шт), которые хранились в нормальных условиях. Физико-механические испытания образцов вяжущих композиций проводили в возрасте 28 суток (рис. 8).

Установлено, что при увеличении длительности измельчения портландцемента в центробежном помольном агрегате удельная поверхность значительно увеличивается, что положительно сказывается на создании благоприятных условий для формирования прочного цементного камня, о чем свидетельствует увеличение прочности от 28 до 40 %. Такая же тенденция сохраняется при содержании в вяжущей композиции 10 % добавки ММС. Сравнение прочностных характеристик вяжущих композиций при соотношении компонентов портландцемент – отходы

ММС = 90–10 % при увеличении длительности измельчения от 15 до 45 мин показывает прирост прочности от 38 до 60 %. Для составов с соотношением компонентов портландцемент – отходы ММС = 80–20 % прирост прочности составляет 36–65 %; для составов с соотношением компонентов портландцемент – отходы ММС = 70–30 % – 36–81 %. Изложенное свидетельствует об эффективности работы центробежного помольного агрегата.

Полученные данные свидетельствуют, что использование минерального наполнителя до 10 % обеспечивает уплотнение структуры за счет наличия тонкодисперсного минерального наполнителя, что позволит сократить расход портландцемента до 10 %.

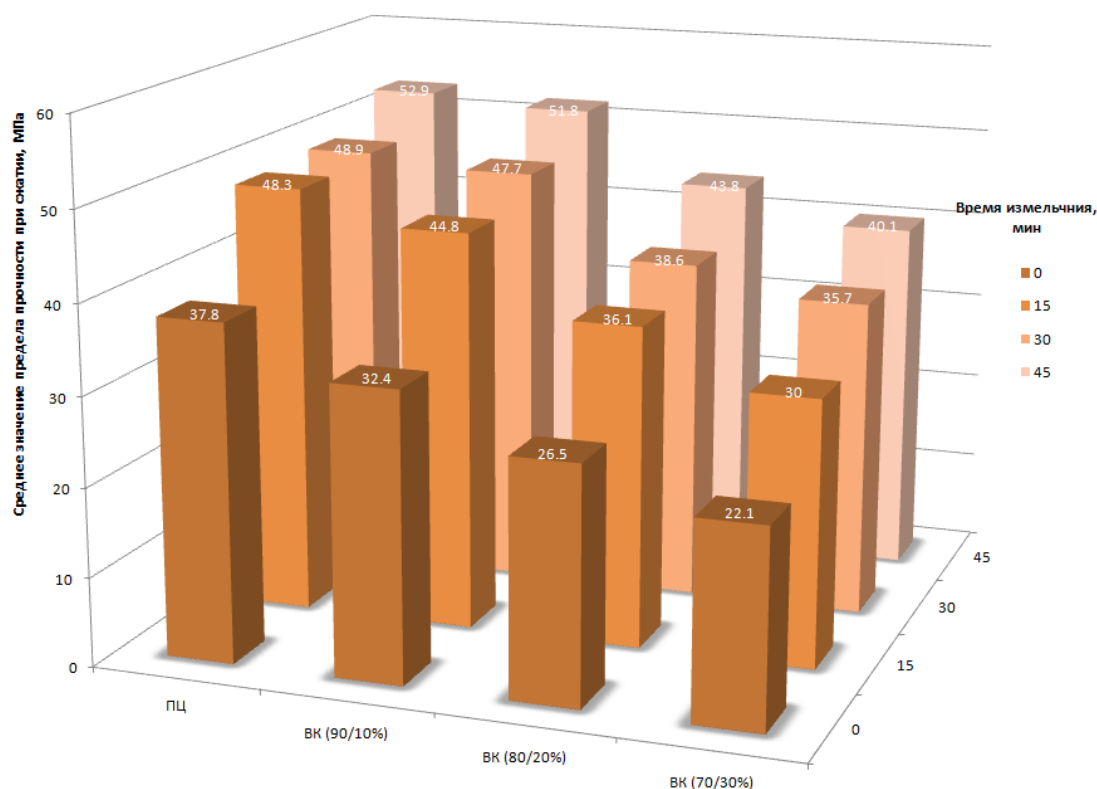


Рис. 8. Сравнительные прочностные характеристики портландцементов и вяжущих композиций, измельченных в центробежном помольном агрегате

При механоактивации составов вяжущих композиций происходит резкое возрастание концентрации поверхностных дефектов, обусловленное нарушением контактов между кристаллами с разрывом кремнекислородных валентных связей.

Проявление активности отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов, по-видимому, связано с наличием на их поверхности большого количества обменных центров, значительную часть которых составляют кислоты и основания по Бренстеду. Процессы гидратации и формирование цементного камня при использовании вяжущих композиций требует дальнейшего тщательного изучения.

Выводы. Полученные результаты исследований по измельчению отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов (ММС) Лебединского горно-обогатительного комбината в центробежном помольном агрегате показали, что данный помольный агрегат обеспечивает высокую размолоспособность зернам вяжущей композиции, состоящей из портландцемента и твердой минеральной составляющей, представленной отходами ММС. Вяжущие композиции, приготовленные в центробежном помольном агрегате с дозировкой минеральной добавки до 10 % позволяют сократить расход дорогостоящего энергоемкого портландцемента.

Источник финансирования. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-29-24113.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Несветайло В.М. Многофункциональные бетоны нового поколения // Технологии бетонов. 2018. № 11-12. С. 46–49.
2. Строительева Е.А. Мелкозернистые бетоны с минеральными добавками // Проектирование развития региональной сети железных дорог. 2018. № 6. С. 58–62.
3. Хасимова А.С., Морозова Н.Н., Хозин В.Г. Литой бетон на основе композиционного гипсового вяжущего // Технологии бетонов. 2015. № 3-4. С. 23-25.
4. Загороднюк Л.Х., Лесовик В.С., Шамшу-ров А.В., Беликов Д.А. Композиционные вяжущие на основе органо-минерального модификатора для сухих ремонтных смесей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 5. С. 25–31.
5. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Tolmacheva M.M., Smolikov A.A., Shekina A.Y., Shakarna M.H.I. Structure-formation of contact layers of composite materials // Life Science Journal, 2014. № 11. С. 948–953.
6. Kuprina A.A., Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Elistratkin M.Y. Anisotropy of Materials Properties of Natural and Man-Triggered Origin // Research Journal of Applied Sciences, 2014. №9. Pp. 816–819.

7. Volodchenko A.A., Lesovik V.S., Zagorodnjuk L.H., Volodchenko A.N. and Kuprina A.A. The control of building composite structure formation through the use of multifunctional modifiers // Research journal of applied sciences. 2015. № 10. С. 931-936.

8. Volodchenko A.A., Lesovik V.S., Zagorodnjuk L.H., Volodchenko A.N. and Prasolova E.O. Influence Of The Inorganic Modifier Structure On Structural Composite Properties // International Journal of Applied Engineering Research 2015. Т. 10. № 19. С. 40617-40622.

9. Попов А.Л., Строкова В.В. Фибропенобетон автоклавного твердения с использованием композиционного вяжущего // Строительные материалы. 2019. № 5. С. 38-44.

10. Федоров В.И., Абдимерзиев М.К., Дьяконов А.А., Попов А.Л., Местников А.Е. Легкие бетоны из отходов производства автоклавного пенобетона // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 11-1. С. 61-65.

11. Строкова В.В., Жерновский И.В., Нелюбова В.В., Сумин А.В. Фазовые трансформации при гидратации модифицированного цементного камня // Труды Кольского научного центра РАН. 2017. Т. 8. № 5-1. С. 199-204.

12. Сумской Д.А. Теплоизоляционный раствор на основе композиционного вяжущего // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2018. Т. 80. №2. С. 283-289.

13. Капуста М.Н., Нецвет Д.Д., Дягель И.А., Любимов Д.Н. Повышение эффективности поризованных композитов на основе наноструктурированного вяжущего // Технологии бетонов. 2013. № 3. С. 32-33.

14. Барышников В.Г., Горелов А.М., Панков Г.И. Вторичные материальные ресурсы черной металлургии: справочник, Т. 2. Шлаки, шламы, отходы обогащения железных и марганцевых руд, отходы коксохимической промышленности, железный купорос, образование и использование. М.: Экономика, 1986. 344 с.

15. Рахимбаев Ш.М., Моспан В.И., Яшуркова Л.И., Тарарин В.К. Кинетика помола компо-

нентов портландцементной сырьевой смеси с использованием вторичных продуктов ГОКов КМА // Современные проблемы строительного материаловедения: материалы седьмых академических чтений РААСН. Белгород, 2001. Ч. 1. С. 450-453.

16. Демьянова В.С., Калашников В.И., Борисов А.А. Об использовании дисперсных наполнителей в цементных системах // Жилищное строительство. 1999. № 1. С. 17-18.

17. Терликовский Е.В., Третник В.Ю. Использование механической активации для модифицирования неорганических материалов // Тезисы докладов V Всесоюзного семинара 8-10 сентября 1987 г. Таллин, 1987. С. 27-28.

18. Комохов П.Г., Шангина Н.Н. Модифицированный цементный бетон его структура и свойства // Цемент и его применение. 2002. №1. С. 43-46.

19. Рахимбаев Ш.М., Тарарин В.К., Каушанский В.Е., Панкратов В.Л., Шелудько В.П., Ежова С.Н., Моспан В.И. Производство цемента с использованием отходов железнорудных предприятий Курской магнитной аномалии // Цемент. 1987. № 8. С.16-17

20. Елистраткин М.Ю., Минакова А.В., Джамиль А.Н., Куковицкий В.В., Эльян И.Ж.И. Композиционные вяжущие для отделочных составов // Строительные материалы и изделия. 2018. Т. 1. № 2. С. 37-44.

21. Чернышева Н.В., Шаталова С.В., Евсюкова А.С., Фишер Ханц-Бертрам. Особенности подбора рационального состава композиционного гипсового вяжущего // Строительные материалы и изделия. 2018. Т. 1. № 2. С. 45-52.

22. Бессмертный В.С., Кочурин Д.В., Бондаренко Д.О., Брагина Л.Л., Варфоломеева С.В. Теплоизоляционные блочные материалы с защитно-декоративными покрытиями // Строительные материалы и изделия. 2019. Т. 2. № 1. С. 4-10.

23. Патент №2381837 РФ, 11.03.2008. Гридчин А.М., Севостьянов В.С., Лесовик В.С., Уральский В.И., Уральский А.В., Сеница Е.В. Помольно-смесительный агрегат. 2010. Бюл. №5.

Информация об авторах

Загороднюк Лилия Хасановна, доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: LHZ47@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Уральский Владимир Иванович, кандидат технических наук, профессор кафедры технологических комплексов, машин и механизмов. E-mail: wiural@msil.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Уральский Алексей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологических комплексов, машин и механизмов. E-mail: wiural@msil.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Сумской Дмитрий Алексеевич, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: pr9nik2011@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Непризваннов Александр Евгеньевич, магистрант кафедры технологических комплексов, машин и механизмов. E-mail: Neprizvannov@bk.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Шкулев Андрей Сергеевич, магистрант кафедры технологических комплексов, машин и механизмов. E-mail: shkulev.andrey@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в июне 2019 г.

© Загороднюк Л.Х., Уральский В.И., Уральский А.В., Сумской Д.А., Непризваннов А.Е., Шкулев А.С., 2019

***Zagorodnyuk L.Kh., Uralsky V.I., Uralskiy A.V., Sumskoy D.A.,
Neprizvannov A.E., Shkulev A.S.**

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

**E-mail: LHZ47@mail.ru*

PREPARATION OF BINDING COMPOSITIONS FOR CONCRETE IN A CENTRIFUGAL GRINDING MILL

Abstract. *The results of studies on the grinding of waste wet magnetic separation of ferruginous quartzites of the Lebedinsky mining and processing plant in a centrifugal grinding unit are given, their grinding features are established. Binder compositions are obtained at different ratios of cement and wet magnetic separation waste in a centrifugal grinding mill at different grinding modes. The features of grinding processes are studied, the technological and physicomachanical properties of the obtained binding compositions are determined. The data obtained indicate that the use of mineral filler up to 10% provides compaction of the structure due to the presence of fine mineral filler, which will reduce the consumption of Portland cement to 10%. During mechanical activation of the compositions of binding compositions, a sharp increase in the concentration of surface defects occurs, due to the violation of contacts between crystals with the rupture of silicon-oxygen valence bonds. The activity of the wet magnetic separation waste of ferruginous quartzites is apparently due to the presence of a large number of exchange centers on their surface, a significant part of which are Bronsted acids and bases. The processes of hydration and the formation of cement with the use of binders requires further detailed study.*

Keywords: *binding composition, centrifugal grinding unit, waste of wet magnetic separation, particle size distribution, physical and mechanical properties.*

REFERENCES

1. Nesvetilo V.M. Multifunctional concretes of a new generation [Mnogofunkcionalnie betoni novogo pokoleniya]. Concrete Technologies. 2018. No. 11-12. Pp. 46–49. (rus)
2. Stroiteleva E.A. Fine-grained concretes with mineral additives [Melkozernistie betoni s mineralnimi dobavkami]. Designing the development of a regional railway network. 2018. No. 6. Pp. 58–62. (rus)
3. Khasimova A.S., Morozova N.N., Khozin V.G. Cast concrete on the basis of composite gypsum binder [Litoi beton na osnove kompozitsionnogo gipsovogo vyajushego]. Concrete technologies. 2015. No. 3–4. Pp. 23–25. (rus)
4. Zagorodnyuk L.Kh., Lesovik V.S., Shamshurov A.V., Belikov D.A. Composite binders on the basis of organo-mineral modifier for dry repair mixtures [Kompozitsionnye vyajushchie na osnove organo_mineralnogo modifikatora dlya suhih remontnih smesei]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2014. No. 5. Pp. 25–31. (rus)
5. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Tolmacheva M.M., Smolikov A.A., Shekina A.Y., Shakarna M.H.I. Life Science Journal. 2014. No. 11. Pp. 948–953.
6. Kuprina A.A., Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Elistratkin M.Y. Anisotropy of Materials and Natural Resources. Mans-Trigged Origin. Research Journal of Applied Sciences. 2014. No. 9. Pp. 816–819.
7. Volodchenko A.A., Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Volodchenko A.N. and Kuprina A.A. The use of multifunctional modifiers. Research journal of applied sciences. 2015. No. 10. Pp. 931–936.

8. Volodchenko A.A., Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Volodchenko A.N. and Prasolova E.O. Influence Of Inorganic Modifier Structural Composite Properties. *International Journal of Applied Engineering Research*. Vol. 10. No. 19. Pp. 40617–40622.
9. Popov A.L., Strokov V.V. Autoclaved fibrous foam concrete using a composite binder [Fibropenobeton avtoklavnogo tverdeniya s ispol'zovaniem kompozitsionnogo vyazhushchego] // *Building Materials*. 2019. No. 5. Pp. 38–44. (rus)
10. Fedorov V.I., Abdimezhitov M.K., Dyakonov A.A., Popov A.L., Mestnikov A.E. Lightweight concrete from waste production of autoclaved foam concrete [Legkie betony iz otkhodov proizvodstva avtoklavnogo penobetona]. *Modern high technology*. 2016. No. 11–1. Pp. 61–65. (rus)
11. Strokov V.V., Zhernovsky I.V., Nelyubova V.V., Sumin A.V. Phase transformations during hydration of modified cement stone [Fazovye transformatsii pri gidratatsii modifitsirovannogo tsementnogo kamnya]. *Transactions of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences*. 2017. Vol. 8. No. 5-1. Pp. 199–204. (rus)
12. Sumskoy D.A. Thermal insulation solution based on a composite binder [Teploizolyatsionnyy rastvor na osnove kompozitsionnogo vyazhushchego]. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2018. Vol. 80. No. 2. Pp. 283–289. (rus)
13. Cabbage M.N., Netsvet D.D., Diagal I.A., Lyubimov D.N. Improving the efficiency of porous composites based on nanostructured binder [Povyshenie effektivnosti porizovannykh kompozitov na osnove nanostrukturirovannogo vyazhushchego]. *Concrete Technologies*. 2013. No. 3. Pp. 32–33. (rus)
14. Baryshnikov V.G., Gorelov A.M., Pankov G.I. Secondary material resources of ferrous metallurgy: a handbook, T. 2. Slag, sludge, waste iron and manganese ores, waste from the coking industry, iron sulphate, formation and use [Vtorichnie materialnie resursy chernoi metallurgii spravochnik T. 2. Shlaki shلامي othodi obogascheniya jeleznih i margancevih rud othodi koksohimicheskoi promishlennosti jeleznii kuporos obrazovanie i ispolzovanie]. M.: Economics, 1986. 344 p. (rus)
15. Rakhimbaev Sh.M., Mospan V.I., Yashurkaeva L.I., Tararin V.K. Kinetics of grinding the components of the Portland cement raw mix using secondary products from mining enterprises of the KMA [Kinetika pomola komponentov portlandcementnoi sirevoi smesi s ispolzovaniem vtorichnih produktov GOKov KMA] *Modern problems of building materials science: materials of the seventh academic readings of the RAACS*. Belgorod, 2001. Part 1. Pp. 450–453. (rus)
16. Demyanova V.S., Kalashnikov V.I., Borisov A.A. On the use of dispersed fillers in cement systems [Ob ispolzovanii dispersnih napolnitelei v cementnih sistemah]. *Housing construction*. 1999. No. 1. Pp. 17–18. (rus)
17. Terlikovsky E.V., Tretnik V.Yu. The use of mechanical activation for modifying inorganic materials [Isolzovanie mehanicheskoi aktivatsii dlya modifitsirovaniya neorganicheskikh materialov]. Abstracts of the V All-Union Seminar of September 8–10, 1987. Tallinn. 1987. Pp. 27–28. (rus)
18. Komokhov P.G., Shangina N.N. Modified cement concrete its structure and properties [Modifitsirovannii cementnii beton ego struktura i svoystva]. *Cement and its application*. 2002. No. 1. Pp. 43–46. (rus)
19. Rakhimbaev Sh.M., Tararin V.K., Kaushansky V.E., Pankratov V.L., Sheludko V.P., Ezhova S.N., Mospan V.I. Cement production using waste iron enterprises of the Kursk Magnetic Anomaly [Proizvodstvo cementa s ispolzovaniem otkhodov jeleznorudnih predpriyatii Kurskoi magnitnoi anomalii]. *Cement*. 1987. No. 8. Pp. 16–17. (rus)
20. Elistratkin M.Yu., Minakova A.V., Jamil A.N., Kukovitsky V.V., Elyan I.ZH.I. Composite binders for finishing compositions [Kompozitsionnye vyajuschie dlya otdelochnih sostavov]. *Building materials and products*. 2018. Vol. 1. No. 2. Pp. 37–44. (rus)
21. Chernysheva N.V., Shatalova S.V., Evsyukova A.S., Fisher Hanz-Bertram. Features of the selection of a rational composition of a composite gypsum binder [Osobennosti podbora racionalnogo sostava kompozitsionnogo gipsovogo vyajushego]. *Construction materials and products*. 2018. Vol. 1. No. 2. Pp. 45–52. (rus)
22. Bessmertny V.S., Kochurin D.V., Bondarenko D.O., Bragina L.L., Varfolomeeva S.V. Thermal insulation block materials with protective and decorative coatings [Teploizolyatsionnye blochnie materialy s zaschitno-dekorativnymi pokritiyami]. *Construction materials and products*. 2019. Vol. 2. No. 1. Pp. 4–10. (rus)
23. Gridchin A.M., Sevostyanov V.S., Lesovik V.S., Uralsky V.I., Uralsky A.V., Sinita E.V. Pomolno-smesitelnii agregat. Patent RF, no. 2381837, 2008.

Zagorodnyuk, Liliya Kh. DSc, Professor. E-mail: zagorodnyuk.lh@bstu.ru Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Uralskiy, Vladimir I. PhD, Professor. E-mail: wiural@msil.ru. Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Uralskiy, Alexey V. PhD, Assistant professor. E-mail: wiural@msil.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Sumskoy, Dmitry Alekseevich, Postgraduate student. E-mail: pr9nik2011@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Neppravzannov, Alexander E. Master student. E-mail: Neprizvannov@bk.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Shkulev, Andrey S. Master student. E-mail: shkulev.andrey@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in June 2019

Для цитирования:

Загороднюк Л.Х., Уральский В.И., Уральский А.В., Сумской Д.А., Непризованов А.Е., Шкулев А.С., Получение вяжущих композиций для бетонов в центробежной помольной мельнице // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 10. С. 123–134. DOI: 10.34031/article_5db43db55dc701.66246266

For citation:

Zagorodnyuk L.Kh., Uralsky V.I., Uralskiy A.V., Sumskoy D.A., Neprizvannov A.E., Shkulev A.S. Obtaining binding compositions for concrete in a centrifugal grinding mill. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 10. Pp. 123–134. DOI: 10.34031/article_5db43db55dc701.66246266

DOI: 10.34031/article_5db3f6c82c1ea9.69942788

***Ерыгин Е.В., Дуюн Т.А.**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

*E-mail: erygin.evgeny@gmail.com

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ЧИСТОВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Аннотация. В данной статье рассмотрена задача прогнозирования шероховатости при чистовом фрезеровании с помощью нейросетевого моделирования. В качестве базы для создания и обучения искусственной нейронной сети выбрана прогрессивная формула для определения шероховатости при чистовом фрезеровании. В качестве одного из параметров для расчета шероховатости используется термоЭДС обрабатываемого и обрабатываемого материалов. Применение термоЭДС в качестве входного параметра позволяет учитывать материал заготовки и режущего инструмента, что сказывается на точности получаемых результатов. Создана обучающая выборка с данными на пять входов и один выход. Описана архитектура, особенности и алгоритм обучения сети. Создана и настроена нейронная сеть, определяющая шероховатость для чистового фрезерования. Наглядно отображен процесс обучения и отладки нейронной сети посредством выведенных графиков. Произведена проверка работоспособности сети на тестовых данных, позволившая получить хорошие результаты.

Ключевые слова: искусственные нейронные сети (ИНС), шероховатость, чистовое фрезерование, термоЭДС, Байесовская регуляризация.

Введение. Применение искусственных нейронных сетей дает большой скачок к развитию различных областей наук, в том числе и машиностроения. Разработка и использование искусственных нейронных сетей для повышения эффективности процессов механической обработки набирает все большую популярность среди ученых всего мира [1–5]. Использование искусственных нейронных сетей (ИНС) обусловлено их способностью к обучению на основе создания связей между входными и выходными данными. Одним из главных преимуществ является производительность сети, которая характеризуется

временем обучения и отклонением выходного сигнала от эталонного. Основное влияние на производительность оказывает архитектура сети и метод обучения. При грамотной настройке такая сеть дает возможность решать задачи без использования сложного математического аппарата.

Методология. В решении задач интерполяции хорошо себя зарекомендовали ИНС с обратным распространением ошибки [6], архитектура такой сети представлена на рис. 1. Сеть состоит из двух слоев (скрытого и выходного), с сигмоидальной и линейной функциями активации соответственно.

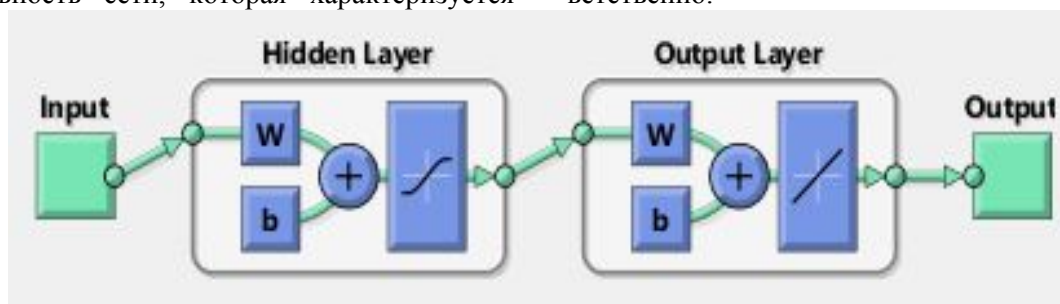


Рис. 1. Схема ИНС с обратным распространением ошибки

Для научного исследования и получения простой математической модели процесса резания была взята работа «Способ определения параметра шероховатости Ra на фрезерных станках с ЧПУ при получистовой и чистовой обработке углеродистых, конструкционных и низколегированных сталей сборным многолезвийным твердосплавным инструментом при торцевом фрезеровании» авторов Плотникова А.Л., Сергеева А.С. и Зайцевой Н.Г. [12].

Для прогнозирования шероховатости при чистовом фрезеровании использованы приведенные в патенте экспериментальные данные, которые были сведены в массив (рис. 2). Авторы патента предлагают формулу расчета шероховатости, используя в качестве одного из входных параметров термо ЭДС:

$$Ra = C_{Ra} \cdot \left[\frac{z \cdot \arccos \left(1 - 2 \cdot \left(\frac{B}{D} \right)^2 \right)}{360} + 1 \right]^{K_1} \cdot \frac{E^{K_2} \cdot t^{K_3} \cdot S^{K_4}}{V^{K_5}} \quad (1)$$

где C_{Ra} – коэффициент, учитывающий вид обработки; V – скорость резания, м/мин; z – количество режущих кромок сборного многолезвийного твердосплавного инструмента; S – подача на зуб сборного многолезвийного твердосплавного инструмента, мм/зуб; t – глубина резания, мм; K_1 – K_5 – показатели степени для определения шероховатости поверхности; E – среднеарифметическое значение термоЭДС, мВ; B – ширина фрезерования, мм; D – диаметр сборного многолезвийного твердосплавного инструмента, мм [12].

В научной работе авторов Плотникова А.Л., Сергеева А.С. и Зайцевой Н.Г. для более точного определения параметра шероховатости Ra при чистовом и получистовом фрезеровании предложено использовать в качестве одного из параметров расчета сигнал термоЭДС E , учитывающий физико-механические свойства контактируемых при обработке пар (тела заготовки и режущей кромки инструмента), полученный в аналогичных условиях пробного прохода по различным сочетаниям контактных пар, среди группы низколегированных, углеродистых и конструкционных сталей при обработке их твердосплавным

инструментом. Учитывать материал заготовки и режущего инструмента при определении параметра шероховатости Ra позволяет применение в качестве одного из входных параметров термоЭДС, что в свою очередь значительно позволяет повысить точность выходных значений.

Основная часть. Для создания и обучения нейронной сети производятся следующие шаги:

- выбор входных и выходных данных
- настройка числа нейронов скрытого слоя
- выбор алгоритма тренировки нейронной сети.

В качестве входных параметров для определения шероховатости поверхности Ra при чистовом фрезеровании были взяты глубина резания t , мм, скорость резания V , м/мин, количество зубьев фрезы n , шт, подача S , мм/зуб, а также термоЭДС, мВ. В качестве выходного параметра получаем шероховатость обработанной поверхности Ra , мкм.

Фрагмент выборки представлен в табл. 1. Полная выборка содержит 108 строк. В табл. 2 представлены диапазоны входных и выходных данных.

Таблица 1

Выборка входных и выходных данных для обучения нейронной сети

Скорость V , м/мин	Подача S , мм/зуб	Глубина t , мм	Режущих кро- мок n , шт	ТермоЭДС E , мВ	Шероховатость Ra , мкм
159	0,05	1	2	9,3	1,12
159	0,05	1,5	2	9,3	1,37
232	0,05	0,5	2	9,3	0,54
232	0,05	1	2	9,3	0,81
232	0,05	1,5	2	9,3	0,88
159	0,08	0,5	8	13,3	4,55
159	0,08	1	8	13,3	4,89
159	0,08	1,5	8	13,3	5,18

Таблица 2

Диапазоны входных и выходных данных для чистового фрезерования

Скорость V , м/мин	Подача S , мм/зуб	Глубина t , мм	Режущих кро- мок n , шт	ТермоЭДС E , мВ	Шероховатость Ra , мкм
159–232	0,05–0,08	0,5–1,5	2–8	9,3–17,3	0,8–7,21

В качестве материалов заготовки используются углеродистая, конструкционная и низколегированная стали. Для решения нашей задачи было взято тридцать нейронов скрытого слоя, что вполне достаточно. Для тренировки нейронной сети была выбрана Байесовская регуляризация из соображений, что в этом алгоритме нейронная

сеть проходит полное число итераций, в отличие от алгоритма Левенберга-Марквардта, позволяет получить более точную модель. Использование других алгоритмов дает более искаженные результаты. На рис. 2 приведена схема применяемой сети.

В результате обучения нейронной сети были рассмотрены следующие данные: для обучающих, тестовых и проверочных выборок были получены коэффициент корреляции (R) и среднеквадратическое отклонение (MSE) между целевыми значениями и выходами сети. На основе полученных значений, удалось построить графики, характеризующие качество обучения.

На рис. 3, а представлены графики обучения сети (на тренировочных и тестовых выборках). Данные графики отражают зависимость величины среднеквадратического отклонения от числа эпох (количества раз, когда полученный алгоритм видит полный набор данных). Здесь мы видим, что за 823 эпохи величина среднеквадратической ошибки достигла 0,003673. Процесс обучения был закончен, когда ошибка на проверочных данных перестала уменьшаться на 400-й эпохе.

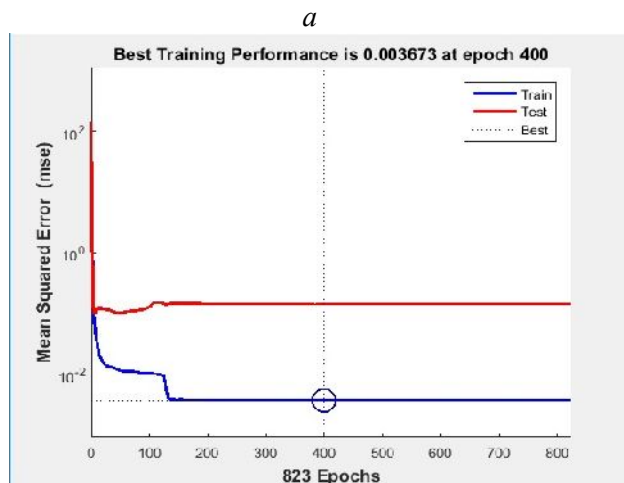


Рис. 3. Процесс тренировки ИНС для чистового фрезерования:
а – графики обучения сети; б – графики состояния обучения

Далее мы видим изменение градиента ошибки обучения по весам сети Gradient и среднеквадратическое отклонение ssX.

Гистограмма ошибок представлена на рис. 4, а. Она показывает зависимость погрешности от числа примеров. Разность между целевыми (target) и выходными (output) значениями сети и есть величина погрешности. Погрешности для обучающего (Training) и тестового (Test) множеств отображены на графике. Из графика следует, что большая часть ошибок лежит в диапазоне от -0,1184 до 0,1264.

На рис. 4, б показаны графики регрессии. На графиках линейная регрессия для обучающего (Training), тестового (Test) и всех вместе множеств. Для каждого результата был рассчитан коэффициент корреляции (R), построен график и выведено уравнение регрессии в виде:

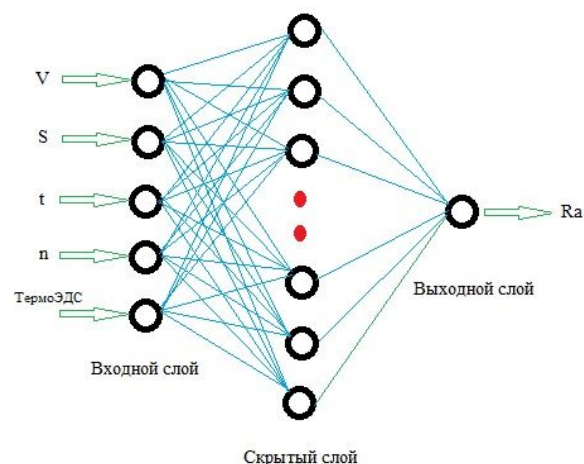
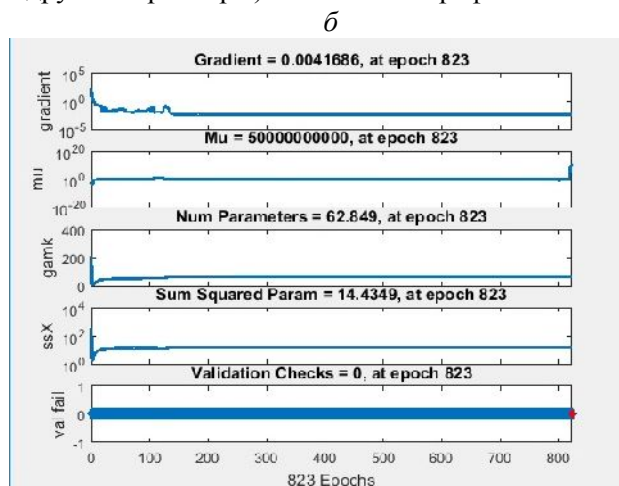


Рис. 2. Архитектура ИНС

Графики состояния обучения представлены на рис. 3, б. Изменение ошибки на контрольном множестве (Val fail) равно нулю. Изменение параметра обучения μ метода Байесовской регуляризации (в альтернативных методах отражаются другие параметры) показано на графике Mu.



$$Output = a \times Target + b \quad (2)$$

где *Output* – выходные значения функции; *Target* – целевые значения функции; *a* и *b* – коэффициенты линейной функции активации.

При полном совпадении выходных значений (*Output*) с целевыми (*Target*) $R=1$, $a=1$, $b=0$ – это идеальный вариант, в нашем же случае имеются небольшие отклонения коэффициента *b*.

Для проверки работоспособности сети были использованы данные контрольной выборки (табл. 3).

На выходе нейронная сеть выдала значение шероховатости $Ra = 0,8886$, при целевом $Ra = 0,82$.

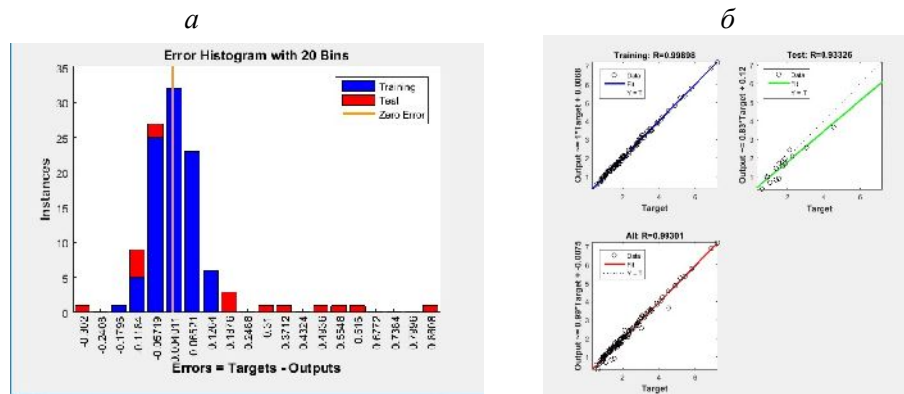


Рис. 4. Результаты тренировки ИНС для чистового фрезерования:
а – гистограмма ошибок обучения сети; б – графики регрессии

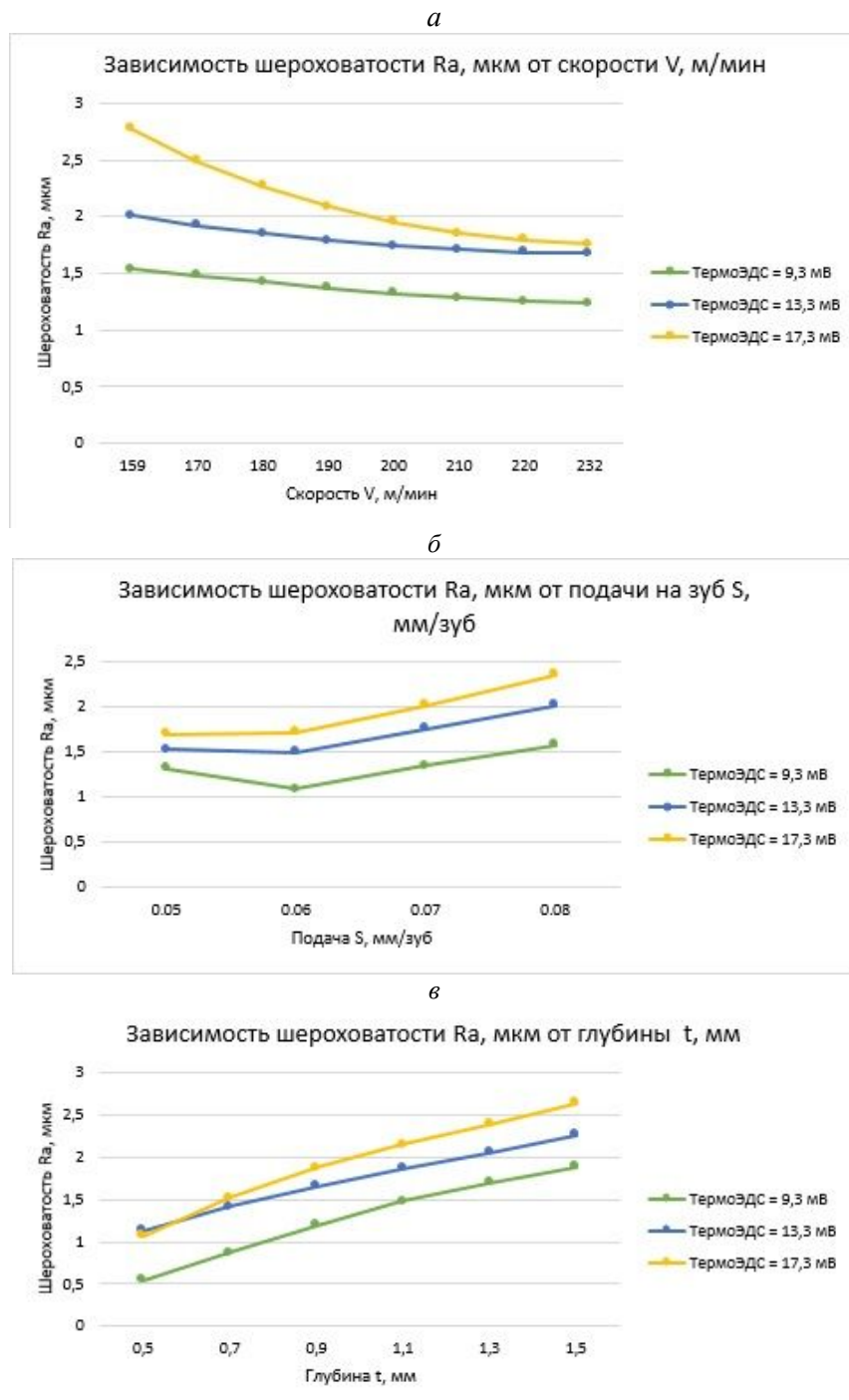


Рис. 5. Графики зависимости шероховатости R_a , мкм при различных термоЭДС E , мВ от:
а – скорости V , м/мин; б – подачи S , мм/зуб; в – глубины фрезерования t , мм

Таблица 3

Контрольная выборка для проверки работоспособности нейронной сети

Скорость V, м/мин	Подача S, мм/зуб	Глубина t, мм	Режущих кромок n, шт	ТермоЭДС E, мВ
232	0.08	0.5	2	13.3

Выводы. ИНС принятой архитектуры показала хороший результат. Сеть имеет пять нейронов входного слоя и тридцать нейронов скрытого, обучена по алгоритму Байесовской регуляризации. Относительная погрешность составила 8,32 %. Подобные расхождения связаны с недостаточным количеством входных данных, а также погрешностями при их измерении в ходе эксперимента. Повысить точность данной сети возможно, применив более крупную выборку. Входные данные для обучения ИНС позволили построить графики зависимости величины шероховатости Ra, мкм, от термоЭДС E, мВ при определенных значениях остальных параметров (рис. 5). Можно сделать вывод, что величина шероховатости существенно зависит от величины термоЭДС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дуюн Т.А., Гринек А.В. Математическое моделирование процессов механической обработки как средство управления технологическими параметрами на основе нейросетевых и нечетких моделей // Труды международной конференции «Современные направления и перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении», Севастополь – 2016, №3 (3). С. 28–33.
2. Кабалдин Ю.Г., Лаптев И.Л., Шатагин С.В., Серый С.В. Диагностика выходных параметров процесса резания в режиме реального времени на основе фрактального и вейвлетанализа с использованием программно-аппаратных средств National Instruments и Nvidia CUDA // Вестник машиностроения. 2014. № 8. С. 80–82.
3. Алтунин К.А., Соколов М.В. Применение нейронных сетей для моделирования процесса токарной обработки // Вестник ТГТУ. 2016. Том 22. №1. С. 122–133.
4. Хоанг В.Ч., Сальников В.С. Моделирование температуры резания в условиях неопределенности с применением искусственной нейронной сети // В сб. Известия ТулГУ. Технические науки. 2014. Вып. 11. Ч. 2. С. 386–395.
5. Briceno J.F., El-Mounayri H., Mukhopadhyay S. Selecting an artificial neural network for efficient modeling and accurate simulation of the milling process // International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2002. Vol. 42, №6. Pp. 663–674.
6. Yang H., Ni J. Dynamic neural network modeling for nonlinear, nonstationary machine tool thermally induced error // International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2005. Vol. 45 № 4–5. Pp. 455–465.
7. Kim H.Y., Ahn J.H. Chip disposal state monitoring in drilling using neural network based spindle motor power sensing // International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2002. Vol. 42 № 10. Pp. 1113–1119.
8. Kwak J.S., Ha M.K. Neural network approach for diagnosis of grinding operation by acoustic emission and power signals // Journal of Materials Processing Technology. 2004. Vol. 147, № 1. Pp. 65–71.
9. Bernandos P.G., Mosialos S., Vosniakos G.C. Prediction of work piece elastic deflections under cutting forces in turning // Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2006. Vol. 22, № 5–6. Pp. 505–514.
10. Cus F., Zuperl U. Approach to optimization of cutting conditions by using artificial neural networks // Journal of Materials Processing Technology. 2006. Vol. 173, № 3. Pp. 281–290.
11. Бураков М.В. Нейронные сети и нейроконтролеры: учеб. Пособие. СПб.: ГУАП, 2013. 284 с.
12. Пат. 2509633, Российская Федерация, МПК В23С3/00. Способ определения параметра шероховатости Ra на фрезерных станках с ЧПУ при получистовой и чистовой обработке углеродистых, конструкционных и низколегированных сталей сборным многолезвийным твердосплавным инструментом при торцевом фрезеровании / А.Л. Плотников, А.С. Сергеев, Н.Г. Зайцева; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Волгоградский государственный технический университет" (ВолГТУ), №2012129424; заявл. 11.07.2012; опубл. 20.03.2014.

Информация об авторах

Ерыгин Евгений Вячеславович, аспирант кафедры технология машиностроения. E-mail: erygin.evgeny@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Дуюн Татьяна Александровна, доктор технических наук, профессор кафедры технология машиностроения. E-mail: tanduun@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в июне 2019 г.

© Ерыгин Е.В., Дуюн Т.А., 2019

***Erygin E.V., Dujun T.A.**

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

**E-mail: erygin.evgeny@gmail.com*

FORECASTING OF THE SURFACE ROUGHNESS IN FINISHING MILLING USING NEURAL NETWORKS

Abstract. This article describes the task of predicting roughness when finishing milling using neural network modeling. As a basis for the creation and training of an artificial neural network, a progressive formula for determining the roughness during finishing milling is chosen. The thermoEMF of the processing and processed materials is used as one of the parameters for calculating the roughness. The use of thermoEMF allows to take into account the material of the workpiece and the cutting tool, which affects the accuracy of the results. A training sample is created with data for five inputs and one output. The architecture, features and network learning algorithm are described. A neural network that determines the roughness for finishing milling has been created and configured. The process of learning and debugging of the neural network by means of graphs is clearly displayed. The network operability is checked on the test data, which allows obtaining positive results.

Keywords: artificial neural networks (INS), roughness, finishing milling, thermoEMF, Bayesian regularization.

REFERENCES

1. Dujun T.A., Grinek A.V. Mathematical modeling of machining as control system instrument of technological parameters based on the fuzzy logic and neural networks [Matematicheskoe modelirovanie processov mekhanicheskoy obrabotki kak sredstvo upravleniya tekhnologicheskimi parametrami na osnove nejrosetevykh i nechetkikh modelej]. Trudi mezhdunarodnoy konferencii «Sovremennye napravleniya i perspektivi razvitiya tekhnologii obrabotki i oborudovaniya v mashinostroenii», Sevastopol. 2016, No. 3. Pp. 28–33. (rus)
2. Kabaldin U.G., Laptev I.L., Shatahin S.V., Seriy S.V. Diagnostics of the output parameters of the cutting process in real time based on fractal and wavelet analyzes using software and hardware National Instruments and Nvidia CUDA [Diagnostics vyhodnykh parametrov processa rezaniya v rezhime real'nogo vremeni na osnove fraktal'nogo i vejvletanalizaov s ispol'zovaniem programmno-apparatnykh sredstv National Instruments i Nvidia CUDA]. Bulletin of engineering. 2014. No. 8. Pp. 80–82. (rus)
3. Altunin K.A., Sokolov M.V. Application of Neural Networks to Modeling of the Turning Process [Primenenie nejronnykh setej dlya modelirovaniya processa tokarnoj obrabotki]. Transactions of the TSTU. 2016. No. 1. Pp. 122–133. (rus)
4. Hoang V.C., Salnikov V.S. Modelling of temperature of cutting in the conditions of uncertainty with application of the artificial neural network [Modelirovanie temperatury rezaniya v usloviyah neopredelennosti s primeneniem iskusstvennoj nejronnoj seti]. V sb. Izvestia TulGU. Tekhnicheskie nauki. 2014. No. 11. P. 2. Pp. 386–395. (rus)
5. Briceno J.F., El-Mounayri H., Mukhopadhyay S. Selecting an artificial neural network for efficient modeling and accurate simulation of the milling process. International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2002. Vol. 42, No. 6. Pp. 663–674.
6. Yang H., Ni J. Dynamic neural network modeling for nonlinear, nonstationary machine tool thermally induced error. International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2005. Vol. 45. No 4–5. Pp. 455–465.
7. Kim H.Y., Ahn J.H. Chip disposal state monitoring in drilling using neural network based spindle motor power sensing. International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2002. Vol. 42. No.10. Pp. 1113–1119.
8. Kwak J.S., Ha M.K. Neural network approach for diagnosis of grinding operation by acoustic emission and power signals. Journal of Materials Processing Technology. 2004. Vol. 147. No. 1. Pp. 65–71.
9. Bernandos P.G., Mosialos S., Vosniakos G.C. Prediction of work piece elastic deflections un-

der cutting forces in turning. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 2006. Vol. 22. No. 5–6. Pp. 505–514.

10. Cus F., Zuperl U. Approach to optimization of cutting conditions by using artificial neural networks. *Journal of Materials Processing Technology*. 2006. Vol. 173. No. 3. Pp. 281–290.

11. Burakov M.V. Neural networks and neuro-controllers [Нейронные сети и нейроконтроль]: учеб. Posobie. SPb.: GUAP, 2013, 284 p. (rus)

12. Plotnikov A.L., Sergeev A.S., Zaitsev N.G. The method of determining the roughness parameter Ra on milling machines with CNC in the semi-finishing and finishing of carbon, structural and low-alloy steels with multi-blade assembled carbide tools for face milling. Patent RF, no. 2509633, 2014.

Information about the authors

Dujun, Tatiana A. DSc, Professor. E-mail: tanduun@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Erygin, Evgeny V. Postgraduate student. E-mail: erygin.evgeny@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in June 2019

Для цитирования:

Дуюн Т.А., Ерыгин Е.В. Прогнозирование шероховатости поверхности при чистовом фрезеровании с использованием нейронных сетей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 10. С. 135–141. DOI: 10.34031/article_5db3f6c82c1ea9.69942788

For citation:

Erygin E.V., Dujun T.A. Forecasting of the surface roughness in finishing milling using neural networks. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2019. No. 10. Pp. 135–141. DOI: 10.34031/article_5db3f6c82c1ea9.69942788

DOI: 10.34031/article_5db43fa622b135.74427811

^{1,*}Дудукало Д.В., ¹Чепчуров М.С., ²Вагнер М.Ю.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

²ОАО «Оскольский электрометаллургический комбинат»

Россия, 309454, Старый-Оскол, ул. Алексея Угарова, д. 218

*E-mail: denis.dudukalo@yandex.ru

МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ПЛОСКОСТЕЙ, ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ОСИ ВРАЩЕНИЯ ЗАГОТОВКИ НА ТОКАРНЫХ АВТОМАТАХ

Аннотация. В статье рассмотрен метод получения поверхностей путем перемещения режущей кромки инструмента в поперечном направлении на токарных автоматах. Применение данного способа обработки позволяет по-новому взглянуть на применение и модернизацию современного оборудования и расширить его технологические возможности, что позволяет увеличить производительность, расширить номенклатуру выпускаемых изделий. Рассчитаны перемещения инструмента за один оборот заготовки, построена модель перемещения траектории инструмента, с помощью программного пакета построен график перемещения резца при формировании плоскости, параллельной оси изделия. Установлено, что полученная модель перемещения инструмента позволяет анализировать изменение скорости от нулевого до максимального значения, т.к. для реализации метода перемещения резца в обратном направлении требуется решение проблемы реверса инструмента. Метод позволяет анализировать перемещения и траектории, для обеспечения реализации получения плоскостей и различных сложнопрофильных изделий на токарных автоматах.

Ключевые слова: токарная обработка, токарный автомат, траектория инструмента, функциональная зависимость, адаптивное оборудование, моделирование траектории.

Введение. Автоматы продольного точения или прутковые автоматы нашли своё применение в массовом и крупносерийном производстве. Обладая высокой производительности и гибкостью при переналадке на крупную партию продукции, они позволяют обеспечить массовый выпуск мелкоразмерных деталей с отличным качеством. Диаметры выпускаемых изделий составляют от десятых долей миллиметра, например, в приборной промышленности, до 20...30 мм, например, при производстве различных крепёжных изделий в строительстве.

Обработка заготовок в прутковых автоматах позволяет получать в массовом производстве изделия, обладающие высокими качественными характеристиками, имеющие при этом только форму тел вращения [1]. Трудности при получении детали вызывают имеющиеся плоскости, параллельные оси обработки [2], для получения которых требуется дооснащать оборудование фрезерными головками и использовать дополнительные фрезерные операции, что снижает темп производства изделий и приводит к удорожанию его производства. Авторы предлагают свою реализацию метода получения на этом же оборудовании плоскостей изделий, параллельных оси вращения заготовки [3, 4]. Теоретическое обоснование этого метода уже было изложено в различных работах авторов [5]. Подробная схема приведена на рис. 1.

Методика и оборудование. Метод основан на использовании токарного резца для снятия

припуска не по окружности заготовки [6], а перемещением в процессе съема припуска в поперечном направлении f_c , учитывая параметры полученной плоскости. При этом сам процесс уже нельзя рассматривать только как токарный, хотя съём припуска производится в продольном направлении оси вращения заготовки, но один из резцов (рис. 1) совершает дополнительно поперечные возвратно-поступательные движения, что приводит к появлению кривой профиля отличной от окружности [7, 8].

Заготовка в виде прутка подается цанговым патроном через люнетную втулку, расположенную на основании. На правом торце люнетной втулки располагается плоскость обработки, при этом резец совершает возвратно-поступательные движения.

Расчёт перемещения инструмента выполняется по методике, приведенной в [5]. Согласно этой методике вычислим перемещение резца за 1 оборот заготовки,

$$T = 2 \frac{30}{nS}, \quad (1)$$

где nS – частота вращения заготовки, об/мин.

Дальнейшие расчеты проведем в системе координат изделия, расположение которой (согласно рис. 2) принимается в соответствии с учетом расположения осей при токарной обработке, где ось вращения заготовки – Z , ось по нормали к оси вращения заготовки X [9]. Следовательно, в течении одного оборота резец совершает возвратно-поступательные движения вдоль оси X ,

при этом происходит съем припуска на максимальную величину Δx . Таким образом, получается плоскость с углом φ , при этом положение вершины резца изменяется от R до $(R - \Delta x_{\max})$ и от $(R - \Delta x_{\max})$ до R в течении одного оборота [10,

11]. Т.е. резец успевает достигнуть максимальной глубины, а затем возвратиться в исходное положение.

Заготовка, вращаясь против часовой стрелки, перемещает свою наружную поверхность относительно оси X, или режущей кромки резца для получения лыски [12].

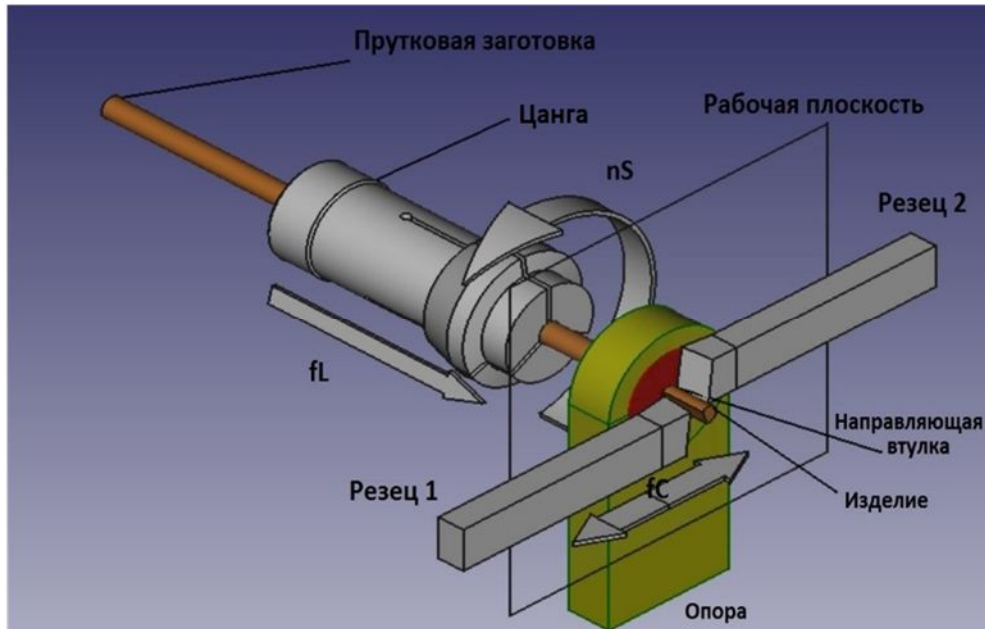


Рис. 1. Схема получение плоскостей параллельных оси вращения заготовки

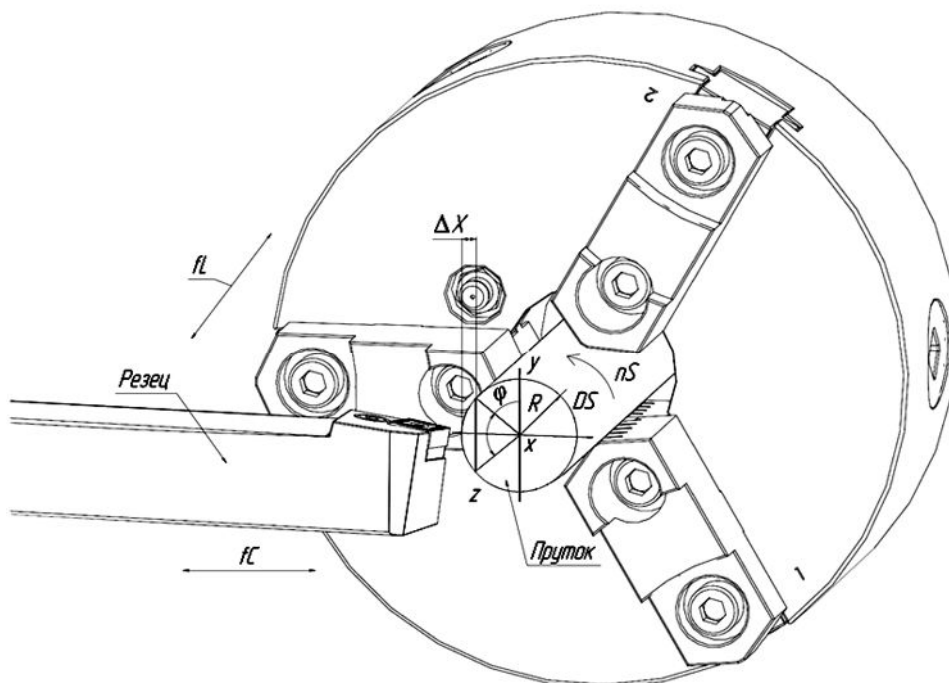


Рис. 2. Схема снятия припуска для получения плоскостей, параллельных оси изделия

На основе расчетных данных и методики, изложенной в [13], построим модель траектории перемещения инструмента, являющуюся функ-

циональной зависимостью положения инструмента по оси X, относительно получаемой плоскости.

Упростив, получим выражение:

$$f(x) = \frac{Ds}{2} - X(x) - \left(\frac{Y(x)}{\operatorname{tg}\left(\frac{180-\varphi}{2} + x - 1\right)} \right), \quad (2)$$

где Ds – диаметр заготовки, мм; X – текущая координата по оси X ; Y – текущая координата по оси Y ; φ – угол плоскости, градуса.

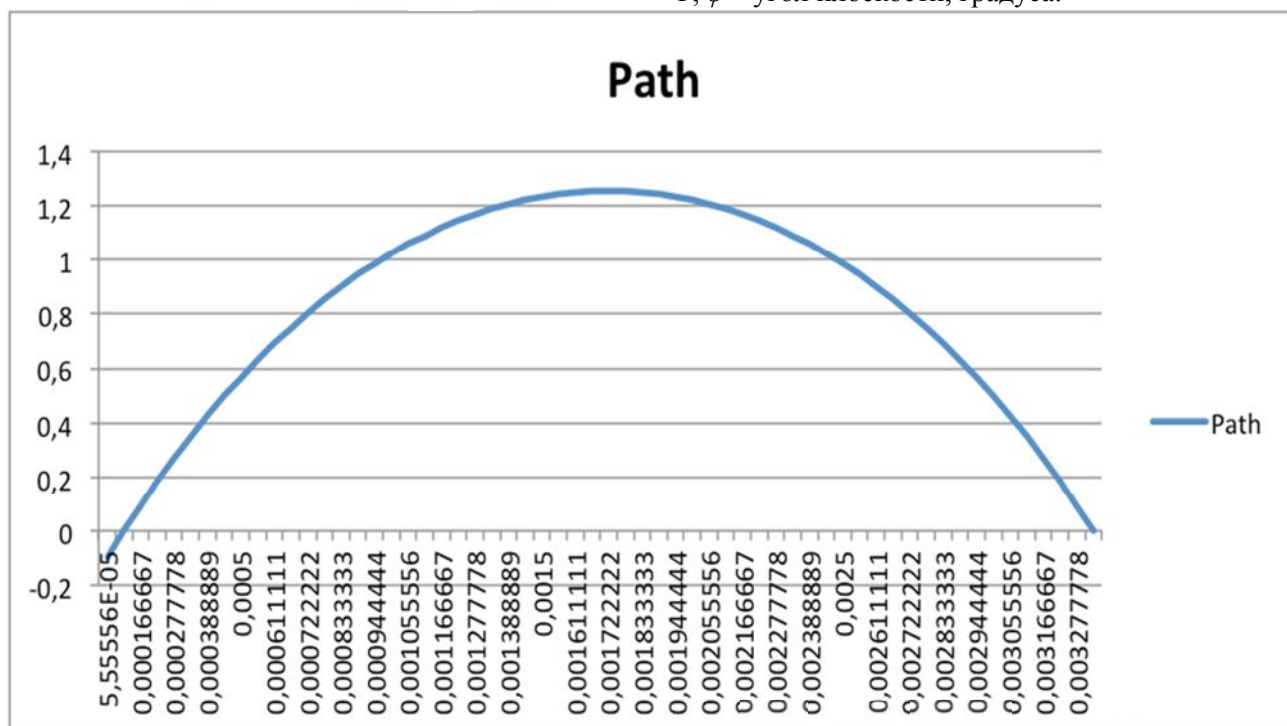


Рис. 3. Фрагмент расчета перемещения инструмента при формировании плоскости, параллельной оси изделия

С помощью программного пакета *SMathStudio*, выполним проверку модели и построим график перемещения резца при формировании плоскости, параллельной оси изделия [14, 15]. Расчеты, а также график перемещения резца отображены на рис. 3.

Для аналитической оценки перемещения режущего инструмента относительно поверхности заготовки вычислим цену одного градуса в секундах:

$$\Delta T = 2 \frac{30}{nS \cdot 360} = \frac{1}{6nS}, \text{ с}, \quad (3)$$

где M – частота вращения заготовки, об/мин.

Аналогично модели перемещения резца по оси X построим модель скорости резца [16]. На рисунке 4 показан график изменения расстояния по оси X в зависимости от времени t в течении одного оборота заготовки при следующих условиях: диаметр заготовки $D=20$ мм, частота вращения $nS=3000$ об/мин, угол получаемой плоскости $\varphi=60^\circ$.

Старт режущего инструмента происходит с максимального значения скорости, а потом, в соответствии с тангенциальным законом скорость постепенно становится равной нулю [17]. После чего происходит полная остановка инструмента, включение реверса и постепенное увеличение скорости до максимальной. Скорость перемещения определяется как производная от выражения (2), отражающего модель перемещения инструмента при формировании плоскости [6]:

$$V = \frac{d}{dt} \left(\frac{Ds}{2} - X(t) - \frac{Y(t)}{\operatorname{tg}\left(\frac{180-\varphi}{2} + \alpha(x) - 1\right)} \right), \quad (4)$$

где $\alpha(x)$ – изменение угла плоскости за время ее получения.

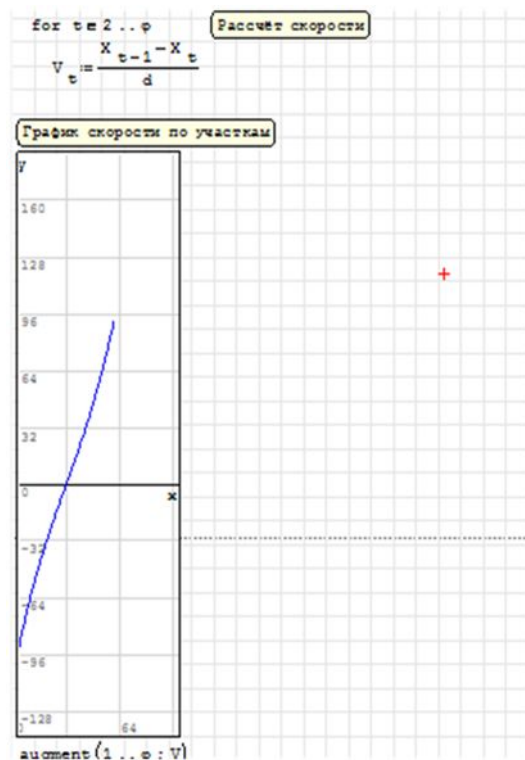


Рис. 4. График изменения расстояния по оси X от времени t в течении одного оборота заготовки ($D=20$ мм, $nS=3000$ об/мин, $\varphi=60^\circ$)

Основная часть. Общее время цикла получения изделия можно подсчитать по методике, изложенной в [9]. Но, следует отметить, что практическая реализация метода требует соблюдения некоторых особенных условий, для каждого способа реализации. Например, изложенная в статье остановка перед реверсом инструмента в стартовой точке требует определенного времени выстоя, в зависимости от используемого привода, что приводит к пропуску одного или нескольких оборотов заготовки. При этом обороты должны составлять целое число, в противном случае – отсутствует синхронизация движений, и получение плоскости не представляется возможным [18]. При реверсе в конечной точке траектории скорость перемещения режущего инструмента уменьшается плавно до нуля, а затем инструмент меняет направление движения. Один из вариантов решения задачи реверса в стартовые точки назначения дополнительного пути для торможения и разгона, т. к. приводу не может стартовать с максимальной скорости, аналогично и нет возможности плавно затормозить [19]. Авторы видят, именно, назначение дополнительного пути разгона-торможения инструмента, а не включения уже разогнанного привода при помощи муфты на максимальную скорость [20]. Такой способ позволяет избежать ударов в технологической системе, что обеспечит точность получаемого конструктивного элемента.

Таким образом, резец на максимальной скорости возвращается в исходное положение с торможением, где происходит его выстой, а затем цикл повторяется с разгоном.

Выводы. Путь достижения цели, поставленной в начале настоящей работы, позволят получить модель траектории перемещения инструмента, дающую возможность управлять приводами для обеспечения заданной скорости перемещения инструмента на различных участках траектории, включая разгон-торможение, что обеспечивает требуемую точность конструктивного элемента в виде плоскости, получаемой при токарной обработке.

Источник финансирования. Программа развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова № А-80/17.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чепчуров М.С., Тюрин А.В. Технологические системы на базе автоматов продольного точения с использованием модульной компоновки оборудования // *Технология машиностроения*. 2013. № 7. С. 64–69.
2. Li Qiang, Ai Wu, Chen Bing. Variable angle compensation control of noncircular turning. // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2014. No. 70. Pp. 735–736.
3. Чепчуров М.С., Тюрин А.В. Модернизация токарных автоматов продольного сечения с использованием мехатронных модулей // *Ремонт. Восстановление. Модернизация*. 2012. № 7. С. 10–13.
4. Максаров В.В. Теория и практика моделирования и управления в области прогнозирования динамических свойств технологических систем // *Металлообработка*. 2012. № 2. С. 7–13.
5. Chepchurov M.S., Tyurin A.V., Zhukov E.M. Getting flat surfaces in turning // *World Applied Sciences Journal*. 2014. T. 30. № 10. С. 1208–1213.
6. Бабичева И.В., Болдовская Т.Е. Справочник по математике (в формулах, таблицах, рисунках): учебное пособие. 2-е изд., исп. и доп. Омск: СибАДИ, 2010. 148 с.
7. Zhu L., Jiang Z., Shi J. [et al] An overview of turn-milling technology // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2015. № 81. Pp. 493–505.
8. Лебедев В.Б. Структурный анализ систем управления: учебное пособие для вузов. Пенза: Изд-во ПензГУ, 2000. 100 с.
9. Табекина Н.А., Чепчуров М.С. Снижение временных затрат при получении изделий на прутковых автоматах с устройством сортировки // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2016. № 6 (113). С. 64–72.
10. Чепчуров М.С., Тюрин А.В. Управление технологической системой на базе токарного автомата, содержащей адаптивный инструментальный модуль // *Информационные системы и технологии*. 2014. № 5 (85). С. 81–87.
11. Погонин А.А., Чепчуров М.С., Хуртасенко А.В. Нестационарный станочный модуль с адаптивной системой управления // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2008. № 2. С. 72–75.
12. Хуртасенко А.В., Чепчуров М.С., Маслова И.В. Модернизация специального оборудования с использованием контроля и регистрации технологических параметров. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 240 с.
13. Блудов А.Н., Чепчуров М.С., Жуков Е.М. Способы проекционной оценки геометрии объектов в машиностроении и их реализация. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. 150 с.
14. Маслова И.В., Чепчуров М.С., Хуртасенко А.В. Автоматизированный контроль прогиба державки режущего инструмента при токар-

ной обработке // Вестник Брянского государственного технического университета. 2009. № 2. С. 13–16.

15. Manos N.P., Bedi S., Miller D. [et al] Single controlled axis lathe mill // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2007. № 32. Pp. 55–65.

16. Погонин А.А., Чепчуров М.С., Белянкина О.В. Моделирование параметров технологического процесса обработки с использованием метода Монте-Карло // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2003. № 2. С. 217–218.

17. Погонин Д.А., Чепчуров М.С., Старостин С.В. Определение оптимальных технологических параметров токарной обработки с ударом // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2010. № 10. С. 9–11.

18. Иванов М.Н. Детали машин. М.: Высшая школа, 1991. 382 с.

19. Tabekina N.A., Chepchurov M.S., Evtushenko E.I., Dmitrievsky B.S. Solution of task related to control of swiss-type automatic lathe to get planes parallel to part axis B сборнике: Journal of Physics: Conference Series Сер. "International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018 - Techniques and Technologies of the Automated Mechanical Engineering" 2018. Pp. 32.

20. Табекина Н.А., Чепчуров М.С., Вороненко В.П. Контроль геометрических параметров в технологической системе на базе автоматов продольного точения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 4. С. 89–95.

Информация об авторах

Дудукало Денис Васильевич, аспирант кафедры технологии машиностроения. E-mail: denis.dudukalo@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Чепчуров Михаил Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения. E-mail: avt.post@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Вагнер Максим Юрьевич, кандидат технических наук, заместитель начальника СПЦ ОАО «ОЭМК». E-mail: vagner76@yandex.ru. ОАО «Оскольский электрометаллургический комбинат». Россия, 309454, Старый Оскол, ул. Алексея Угарова, д. 218.

Поступила в августе 2019 г.

©Дудукало Д.В., Чепчуров М.С., 2019

^{1,*}**Dudukalo D.V., ¹Chepchurov M.S., ²Vagner M.Y.**

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, Kostukovast., 46

²OJSC «Oskol electrometallurgical plant».
Russia, 309454, Stary-Oskol, st. Alexeya Ugarova, 218

*E-mail: denis.dudukalo@yandex.ru

METHOD FOR PRODUCING PLANES PARALLEL TO THE ROTATION AXIS OF BLANK OF AUTOMATIC LATHES

Abstract. The article describes the method of obtaining surfaces by moving the cutting edge of the tool in the transverse direction on automatic lathes. This method allows to take a fresh look at the use and modernization of modern equipment, to enlarge its technological capabilities. this allows to increase productivity and expand the range of products. The tool movements for one turn of the workpiece are calculated, a model for moving the tool path is built, using the software package, a tool moving graph is constructed when a plane is formed parallel to the axis of the product.

It is established that the obtained model of tool movement allows to analyze velocity variation in speed from zero to maximum value, since the method's implementation of moving the tool in the opposite direction, a solution to the problem of reverse tool is required. The method allows to analyze movements and trajectories for ensuring the implementation of obtaining planes and various complex products on automatic lathes.

Keywords: turning, automatic turning, tool path, functional dependence, adaptive equipment, trajectory modeling.

REFERENCES

1. Chepchurov M.S., Turin A.V. Technological systems based on automatic turning machines using modular equipment layout [Tekhnologicheskie sistemy na baze avtomatov prodol'nogo tocheniya s ispol'zovaniem modul'noj komponovki oborudovaniya]. Tekhnologiya mashinostroeniya. 2013. No. 7. Pp. 64–69. (rus)
2. Li Qiang, Ai Wu, Chen Bing. Variable angle compensation control of noncircular turning. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2014. No. 70. Pp. 735–736
3. Chepchurov M.S., Turin A.V. Modernization of longitudinal section automatic lathes using mechatronic modules [Modernizaciya tokarnyh avtomatov prodol'nogo secheniya s ispol'zovaniem mekhatronnykh modulej]. Remont. Vosstanovlenie. Modernizaciya. 2012. No. 7. Pp. 10–13. (rus)
4. Maksarov V.V. Theory and practice of modeling and control in the field of forecasting the dynamic properties of technological systems [Teoriya i praktika modelirovaniya i upravleniya v oblasti prognozirovaniya dinamicheskikh svoystv tekhnologicheskikh sistem]. Metalloobrabotka. 2012. No. 2. Pp. 7–13 (rus)
5. Chepchurov M.S., Tyurin A.V., Zhukov E.M. Getting flat surfaces in turning. World Applied Sciences Journal. 2014. Vol. 30. No 10. Pp. 1208–1213.
6. Babicheva I.V., Boldovskaya T.E. Math reference [Spravochnik po matematike (v formulah, tablicah, risunkah)]. Tutorial. Vol. 2. Omsk: SibADI, 2010. 148 p. (rus)
7. Zhu L., Jiang Z., Shi J. [et al] An overview of turn-milling technology. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2015. No 81. Pp. 493–505.
8. Lebedev V.D. Structural analysis of control systems [Strukturnyj analiz sistem upravleniya]. Tutorial. Penza: PenzGU, 2000. 100 p. (rus)
9. Tabekina N.A., Chepchurov M.S. Reduced time costs when receiving products on bar machines with a sorting device [Cnizhenie vremennykh zatrat pri poluchenii izdelij na prutkovykh avtomatah s ustroystvom sortirovki]. Bulletin of Irkutsk State Technical University. 2016. No. 6 (113). Pp. 64–72. (rus)
10. Chepchurov M.S., Tyurin A.V. Control of a technological system based on a turning machine containing an adaptive tool module [Upravlenie tekhnologicheskoy sistemoy na baze tokarnogo avtomata, soderzhashchej adaptivnyj instrumental'nyj modul']. Informacionnye sistemy i tekhnologii. 2014. No. 5. Pp. 81–87. (rus)
11. Pogonin A.A., Chepchurov M.S., Khurtasenko A.V. Non-stationary machine module with adaptive control system [Nestacionarnyj stanochnyj modul' s adaptivnoy sistemoy upravleniya]. Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Stroitel'stvo. 2008. No. 2. Pp. 72–75. (rus)
12. Khurtasenko A.V., Chepchurov M.S., Maslova I.V. Modernization of special equipment using monitoring and recording of technological parameters [Modernizaciya special'nogo oborudovaniya s ispol'zovaniem kontrolya i registracii tekhnologicheskikh parametrov]. Belgorod: BGTU, 2012. 240 p. (rus)
13. Bludov A.N., Chepchurov M.S., Zhukov E.M. Methods of projection estimation of the geometry of objects in mechanical engineering and their implementation [Sposoby proekcionnoj ocenki geometrii ob'ektov v mashinostroenii i ih realizaciya]. Belgorod: BGTU, 2015. 150 p. (rus)
14. Maslova I.V., Chepchurov M.S., Khurtasenko A.V. Automated control of the deflection of the cutting tool holder during turning [Avtomatizirovannyj kontrol' progiba derzhavki rezhushchego instrumenta pri tokarnoj obrabotke]. Bulletin of the Bryansk State Technical University. 2009. No. 2. Pp. 13–16 (rus)
15. Manos N.P., Bedi S., Miller D. Single controlled axis lathe mill. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2007. No. 32. Pp. 55–65.
16. Pogonin A.A., Chepchurov M.S., Belyankina O.V. Modeling of technological process parameters using the Monte Carlo method [Modelirovanie parametrov tekhnologicheskogo processa obrabotki s ispol'zovaniem metoda monte-karlo]. Mountain News and Analysis Bulletin. 2003. No. 2. Pp. 217–218. (rus)
17. Pogonin D.A., Chepchurov M.S., Starostin S.V. Determination of optimal technological parameters of turning with impact. [Opredelenie optimal'nykh tekhnologicheskikh parametrov tokarnoj obrabotki s udarom]. Remont. Vosstanovlenie. Modernizaciya. 2010. No. 10. Pp. 9–11. (rus)
18. Ivanov M.N. Machine parts. [Detali mashin]. Moscow. High school, 1991. Pp. 382 (rus)
19. Tabekina N.A., Chepchurov M.S., Evtushenko E.I., Dmitrievsky B.S. Solution of task related to control of swiss-type automatic lathe to get planes parallel to part axis. Journal of Physics: Conference Series. "International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018 - Techniques and Technologies of the Automated Mechanical Engineering" 2018. Pp. 32 (rus)
20. Tabekina N.A., Chepchurov M.S., Voronenko V.P. Control of geometric parameters in a technological system based on longitudinal turning machines [Kontrol' geometricheskikh parametrov v tekhnologicheskoy sisteme na baze avtomatov prodol'nogo tocheniya]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 4. Pp. 89–95. (rus)

Information about the authors

Dudukalo, Denis V. Postgraduate student. E-mail: denis.dudukalo@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Chepchurov, Mikhail S. DSc, Professor. E-mail: avtpost@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Vagner, Maxim Y. PhD, Deputy chief SPC. E-mail: vagner76@yandex.ru. OJSC «Oskol electrometallurgical plant». Russia, 309454, Sary-Oskol, st. Alexeya Ugarova, 218

Received in August 2019

Для цитирования:

Дудукало Д.В., Чепчуков М.С., Вагнер М.Ю. Метод получения плоскостей, параллельных оси вращения заготовки на токарных автоматах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 10. С. 142–148. DOI: 10.34031/article_5db43fa622b135.74427811

For citation:

Dudukalo D.V., Chepchurov M.S., Vagner M.Y. Method for producing planes parallel to the rotation axis of blank of automatic latches. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 10. Pp. 142–148. DOI: 10.34031/article_5db43fa622b135.74427811

DOI: 10.34031/article_5db3fdb0e8c532.45857437

*Герасимов М.Д., Воробьёв Н.Д., Иванов В.И.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

*E-mail: mail_mihail@mail.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ВИБРАЦИОННОГО МЕХАНИЗМА С АСИММЕТРИЧНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ ПО КОЭФФИЦИЕНТУ ДИНАМИЧНОСТИ

Аннотация. Приоритетным направлением разработки и создания вибрационных устройств для технологических процессов в ближайшие годы являются механизмы с асимметричными колебаниями. Механизмы с асимметричными колебаниями конструктивно создаются на базе вибраторов с направленными колебаниями в виде ступеней, которые отличаются друг от друга массой дебалансов, радиусом смещения центра массы от оси вращения и частотой вращения дебалансного вала. Простейшим устройством с асимметричными колебаниями является двухступенчатый механизм. Оптимизация параметров вибраторов каждой ступени может проводиться по коэффициенту динамичности колебательной системы. Рациональные параметры механизма согласуются с наибольшей величиной коэффициента динамичности системы. Для перевода круговых, эллиптических и равнонаправленных колебаний в асимметричные в настоящее время отсутствует методика проектного расчёта. В статье представлена методика расчёта, связанная с переводом параметров вибрационных устройств с круговыми, эллиптическими и равнонаправленными колебаниями в асимметричные с наибольшим коэффициентом динамичности.

Ключевые слова: дебалансный вибратор, асимметричные колебания, ступени вибрационного механизма, коэффициент динамичности, вынуждающая сила.

Методология. При проведении исследований использовалась программа для персонального компьютера, разработанная авторами для исследования влияния параметров каждой ступени вибраторов устройства с асимметричными колебаниями на коэффициент динамичности системы.

Основная часть. Вибрационные технологии, которые используются в целом ряде технологических процессов, основаны на использовании вибраторов с гармоническими колебаниями [1, 2, 3, 4]. Большинство вибраторов, занятых в промышленности генерирует вынуждающую силу F (Н), которая создаёт круговые (или эллиптические) колебания. Реже, но достаточно часто, применяются направленные, вдоль некоторой прямой линии, гармонические колебания, конструктивно согласуя два круговых колебания со встречным вращением дебалансных валов. На повестке дня технического и технологического проектирования вибрационных механизмов для производственных процессов стоит задача применения вибрационных устройств с асимметричными колебаниями [5, 6, 7, 8, 9, 10]. Асимметричные колебания генерируются вынуждающей силой, которая является, с одной стороны направленной, однако, имеющей разные по величине значения составляющих вынуждающую силу, действующих в противоположных направлениях.

$$F_{(+)} = k_d \cdot F_{(-)}$$

где $F_{(+)}$ – величина составляющей вынуждающей силы, направленная в одну сторону, например в направлении выполнения полезной работы, в положительном направлении вдоль некоторой оси, и т.п.; $F_{(-)}$ – величина составляющей вынуждающей силы, направленная в противоположную от $F_{(+)}$ сторону, например в направлении выполнения холостого хода, в отрицательном направлении вдоль некоторой оси, и т.п.; k_d – коэффициент динамичности, величиной которого оценивается соотношение величин составляющих вынуждающей силы, направленных в разные стороны в пределах одного периода. Всегда $k_d \geq 1,0$. Чем больше значение k_d тем более выражен эффект асимметрии таких колебаний.

Характер асимметричных колебаний можно представить графиком, рис. 1.

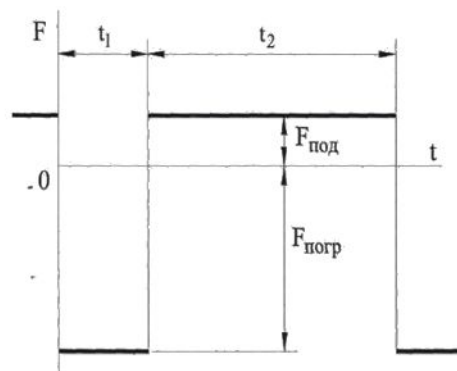


Рис. 1. Схема рабочего цикла вибратора с наличием асимметрии вынуждающей силы

На рис. 1. введены следующие обозначения:
0-t – временная ось в пределах одного периода

действия вынуждающей силы F ; $F_{\text{погр}}=F_{(+)}$ – величина рабочей составляющей вынуждающей силы, направленной на погружение, например, сваи; $F_{\text{под}}=F_{(-)}$ – величина холостой составляющей вынуждающей силы, направленной в сторону подъема сваи; t_1, t_2 – время действия, в пределах одного периода, составляющих вынуждающей силы $F_{\text{погр}}$ и $F_{\text{под}}$, соответственно.

В настоящее время созданы предпосылки конструктивных решений создания вибрационных механизмов с асимметричными колебани-

ями [9]. Однако, остаётся вопрос расчёта параметров каждой ступени вибрационного устройства, которые бы обеспечили, с одной стороны, суммарную вынуждающую силу равную величине вынуждающей силы, уже используемого механизма в технологическом процессе. С другой стороны, состоящее из двух и более ступеней вибрационное устройство, должно обеспечивать наибольшее значение коэффициента динамичности $k_d = F_{(+)} / F_{(-)}$.

Величина суммарной вынуждающей силы принята равной $F_{\text{сумм}}=0,55$ кН.

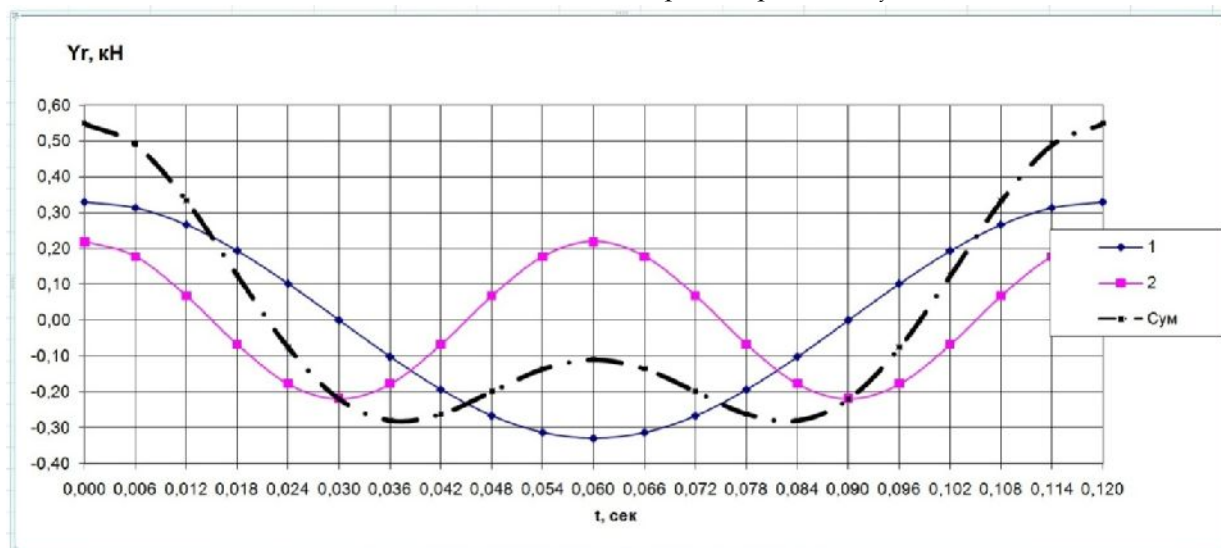


Рис. 2. График изменения суммарной вынуждающей силы, $F_{\text{сумм}}$, в пределах одного периода, $t=0,12$ с, разбитого на 20 значимых точек

Результаты расчёта внесены в таблицу 1.

Основным параметром для проектирования вибрационного устройства с асимметричными колебаниями является величина суммарной вынуждающей силы направленной в сторону выполнения полезной работы, F , кН. При одной ступени вибратора такая величина вынуждающей силы достигается при массе дебаланса $m_1 = 10$ кг. При двухступенчатой схеме вибрационного устройства с асимметричными колебаниями и соотношением статических моментов 6:1 величина вынуждающей силы равная 0,55 кН достигается при соотношении массы дебалансов $m_1/m_2 = 6$ и 1 кг, соответственно. Каждая ступень вибрационного устройства вкладывает некоторое значение в суммарную вынуждающую силу. В нашем случае, первая ступень генерирует силу $F_1=0,33$ кН, а вторая, $F_2=0,22$ кН, так что $F=0,55$ кН.

Коэффициент динамичности по средней точке периода составит $k_{d0,06} = 0,55/0,11=5,0$. Однако, в пределах периода на отрицательных значениях в моменты времени 0,36 и 0,84 имеется значение, равное (-0,28 кН).

Тогда $k_{d0,036} = k_{d0,084} = 0,55/0,28 = 1,96$. Очевидно, что в этом случае целесообразно пользоваться значением коэффициента динамичности

$k_{d0,036} = 1,96$. Следует обратить внимание, что в пределах рекомендуемых соотношений статических моментов первой и второй ступени в пределах 6:1.....10:1 имеется участок соотношения с наибольшим значением коэффициента динамичности.

В нашем случае, для двухступенчатого вибрационного устройства с асимметричными колебаниями [8,10] $m_1r_1/m_2r_2 = 7,14$. При этом $k_d = 2,05$. В случае, если более важным условием для реализации процесса является не величина коэффициента динамичности, а более гладкий характер изменения величины вынуждающей силы на отрицательных значениях ветви графика, то можно использовать другие значения соотношений статических моментов первой и второй ступени.

На рис. 3. Приведен график изменения величины вынуждающей силы при соотношении значений статических моментов $m_1r_1/m_2r_2 = 11,0$. Вклад каждой ступени составляет: 0,4 и 0,15 кН соответственно. А коэффициент динамичности составляет $k_d = 1,95$.

Таблица 1

Результаты расчёта для проектирования двухступенчатого вибрационного механизма с асимметричными колебаниями

1	Заданная суммарная величина вынуждающей силы, F , кН	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
2	Соотношение статических моментов двух ступеней дебалансов	6:1	7:1	8:1	9:1	10:1	11:1
3	Частота вращения дебалансного вала, n_1/n_2 , об/мин	500/1000	500/1000	500/1000	500/1000	500/1000	500/1000
4	Продолжительность периода колебаний, t , с	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
5	Радиус центра массы дебаланса, r_1/r_2 , см	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1
6	Масса дебаланса, m_1/m_2 , кг	6:1	6,37:0,91	6,72:0,84	6,93:0,77	7,17:0,717	7,38:0,67
7	Модуль величины суммарной вынуждающей силы в средней точке периода, $F_{0,06}$, кН	0,11	0,15	0,18	0,21	0,24	0,26
8	Коэффициент динамичности системы в средней точке периода, $k_{д0,06}$	5,0	3,67	3,0	2,6	2,33	2,14
9	Модуль величины суммарной вынуждающей силы в точке с наибольшим значением составляющей в отрицательном направлении периода, $F_{0,036,0,042,0,048}$, кН*.	0,28	0,27	0,27*	0,28*	0,28*	0,28**
10	Коэффициент динамичности системы в точках периода, $k_{д*}$	1,96	2,04	2,02	1,99	1,97	1,95

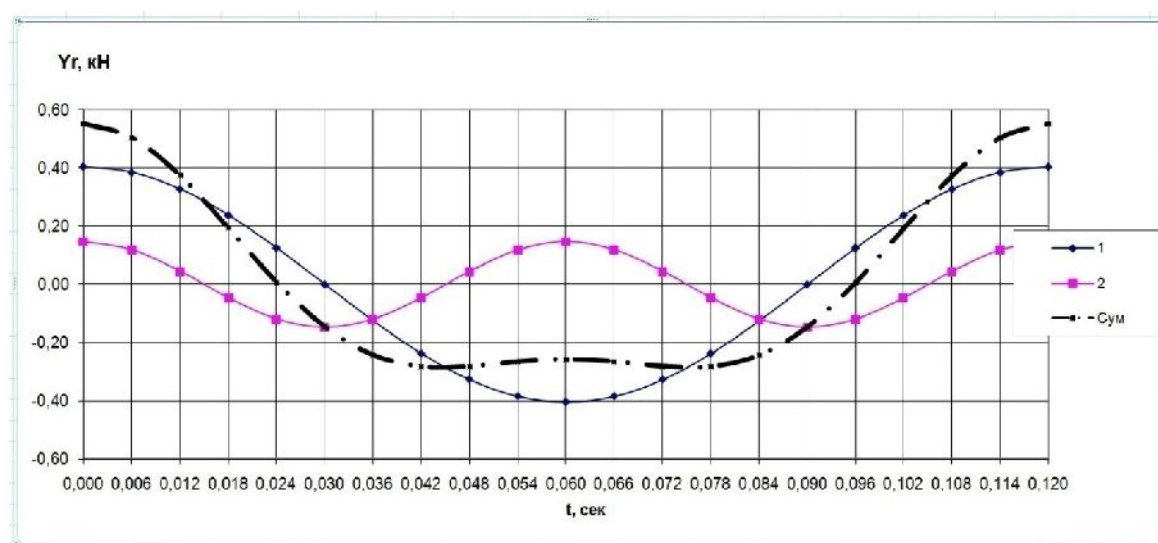


Рис. 3. График изменения суммарной вынуждающей силы при соотношении величины статических моментов вибраторов первой и второй ступени $m_1 r_1 / m_2 r_2 = 11,0$

Вывод. Разработана методика расчёта параметров двухступенчатого вибрационного устройства с асимметричными колебаниями. В качестве исходного параметра принимается величина вынуждающей силы, рассчитанной по известным методикам. Далее разбивается суммарный статический момент дебалансов в соответствии с рекомендациями в пределах 6:1.....10:1. Для реализации наибольшего значения коэффициента динамичности это соотношение рекомендуется при-

нимать равным – 7,14. Любые другие соотношения ведут к снижению коэффициента динамичности вибрационного устройства.

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках гранта А-16/17 от 24.01.2018 г. «Разработка оборудования и технологических узлов для выполнения операций современных технологий получения строительных материалов и строительного производства», действующей с 24.01.2018 г. по 31.12.2019 г.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вибрационные машины в строительстве и производстве строительных материалов. Справочник. Под ред. В.А. Баумана. Машиностроение. М.: 1970.
2. Блехман И.И. Теория вибрационных процессов и устройств. Вибрационная механика и вибрационная техника. СПб., Издательский дом «Руда и металлы», 2013. 640 с.
3. Вайсберг Л.А., Загоратский Л.П., Туркин В.Я. Вибрационные дробилки. Основы расчёта, проектирование и технологического применения. Ред. Л. А. Вайсберг СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. 2004. 306 с.
4. Герасимов М.Д. Способ получения направленных механических колебаний для практического применения в технологических процессах // Строительные и дорожные машины. 2014. №1. С. 35–38
5. Герасимов М.Д., Степанищев В.А. Теоретические исследования получения асимметричной вынуждающей силы вибропогружателей // Фундаментальные исследования. 2014. №5. Ч.3. С. 473–476.
6. Gerasimov M.D., Mkrtychev O.V., Glagolev S.N., Gerasimov D.M., Latyishev S.S. Method of Determination of Vibrating Screens Oscillation's Amplitude in a Characteristic Point for Plane Motion // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Vol.11. No 20. Pp. 12295–12301. www.arpnjournals.com
7. Gerasimov M.D., Glagolev S.N., Gerasimov D. M., Mkrtychev O. V. Determination Of The Driving Force's Asymmetry Factor And The Vibrostand's Work's Analysis // International Journal of Applied Engineering Research, 2015. V. 10. №24. Pp. 45392–45398.
8. Герасимов М.Д. Сложение колебаний в вибровозбудителях // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №3. С. 116–122
9. Patent US 7,804,211. B06B 1/16. 2010. Vibration Generator. A. Kleibl, Ch.Heichel. Prior Publication Data US2009/0243410A1, 1.10.2009.
10. Герасимов М.Д., Воробьёв Н.Д., Герасимов Д.М., Степанищев В.А. Исследование многоступенчатого вибрационного механизма с направленными колебаниями каждой ступени // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №3. С. 88–93.

Информация об авторах

Герасимов Михаил Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент кафедры подъёмно-транспортных и дорожных машин; руководитель учебно-научно-исследовательской лаборатории «Инновационные вибрационные машины и оборудование». E-mail: mail_mihail@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Воробьёв Николай Дмитриевич, кандидат технических наук, профессор кафедры теоретической механики. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. E-mail: vnd@intbel.ru. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Иванов Владислав Иванович, магистрант кафедры подъёмно-транспортных и дорожных машин. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. E-mail: vladislavivanovmts21@yandex.ru. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в июне 2019г.

© Герасимов М.Д., Воробьёв Н.Д., Иванов В.И., 2019

***Gerasimov M.D., Vorobiev N.D., Ivanov V.I.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova

Russia, 308012, Belgorod, st.Kostyukova, 46

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

OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF TWO-STAGE VIBRATION MECHANISM WITH ASYMMETRIC OSCILLATIONS BY DYNAMIC COEFFICIENT

Abstract. *The mechanisms with asymmetric vibrations is the priority direction of development and creation of vibration devices for technological processes in the coming years. Mechanisms with asymmetric vibrations are constructively created on the basis of vibrators with directional vibrations in the form of steps, which differ from each other in the mass of unbalances, the radius of displacement of the center of mass from the axis of rotation and the frequency of rotation of the unbalanced shaft. The simplest device with asymmetric oscillations is a two-stage mechanism. Optimization of parameters of vibrators of each stage can be carried out according to the coefficient of dynamism of the oscillatory system. Rational parameters of the mechanism are consistent with the highest value of the coefficient of dynamism of the system. Currently, there is no method of design calculation for the translation of circular, elliptical and equally directed oscillations into asymmetric*

ones. The article presents the method of calculation associated with the translation of the parameters of vibration devices with circular, elliptical and equally directed vibrations into asymmetric ones with the highest coefficient of dynamism.

Keywords: unbalance vibrator, asymmetrical vibrations, vibration mechanism steps, dynamic coefficient, driving force.

REFERENCES

1. Vibrating machines in the construction and production of building materials. Directory [Vibracionnye mashiny v stroitel'stve i proizvodstve stroitel'nykh materialov]. Ed. V.A. Bauman. Engineering. M., 1970. (rus)
2. Blekhman I.I. Theory of vibration processes and devices. Vibration mechanics and vibration technology [Teoriya vibracionnykh processov i ustroystv. Vibracionnaya mekhanika i vibracionnaya tekhnika]. SPb., Ore and Metals Publishing House, 2013. 640 p. (rus)
3. Weisberg L.A., Zagoratsky, L.P., Turkin, V.Ya. Vibrating crushers. Fundamentals of calculation, design and technological applications [Vibracionnye drobilki. Osnovy raschyota, proektirovanie i tekhnologicheskogo primeneniya]. Ed. L. A. Vaisberg SPb.: Publishing House VSEGEI. 2004. 306. (rus)
4. Gerasimov M.D. The method of obtaining the directed mechanical vibrations for practical application in technological processes [Sposob polucheniya napravlennykh mekhanicheskikh kolebaniy dlya prakticheskogo primeneniya v tekhnologicheskikh processah]. Construction and road machines. 2014. No. 1. Pp. 35–38. (rus)
5. Gerasimov M.D., Stepanishchev V.A. Theoretical studies of asymmetric driving force of vibratory pile drivers [Teoreticheskie issledovaniya polucheniya asimmetrichnoy vynuzhdayushchej sily vibropogruzhatel'nykh]. Fundamental research. 2014. No. 5. Part 3. Pp. 473–476. (rus)
6. Gerasimov M.D., Mkrtychev O.V., Glagolev S.N., Gerasimov D.M., Latyishev S.S. Method of Determination of Vibrating Screens Oscillation's Amplitude in a Characteristic Point for Plane Motion. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Vol.11, No 20, October. Pp. 12295–12301.
7. Gerasimov M.D., Glagolev S.N., Gerasimov D.M., Mkrtychev O.V. Determination Of The Driving Force's Asymmetry Factor And The Vibrostand's Work's Analysis. International Journal of Applied Engineering Research, 2015. Vol. 10. No. 24. Pp. 45392–45398.
8. Gerasimov M.D. Addition of oscillations in vibration exciters [Slozhenie kolebaniy v vibrovzbuditeleyah]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No.3. Pp. 116–122 (rus)
9. Kleibl A., Heichel Ch. Patent US 7,804,211. B06B 1/16. 2010. Vibration Generator. Prior Publication Data US2009/0243410A1, 1.10.2009.
10. Gerasimov M.D., Vorobev N.D., Gerasimov D.M., Stepanishchev V.A. Study of a multi-stage vibration mechanism with directional oscillations of each step [Issledovanie mnogostupenchatogo vibracionnogo mekhanizma s napravlennymi kolebaniyami kazhdoj stupeni]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No.3. Pp. 88–93. (rus)

Information about the authors

Gerasimov, Mikhail D. PhD, Associate professor. E-mail: mail_mihail@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, ul. Kostyukov, 46.

Vorobiev, Nikolay D. PhD, Professor. E-mail: vnd@intbel.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, ul. Kostyukov, 46.

Ivanov, Vladislav I. Graduate student. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, ul. Kostyukov, 46. E-mail: vladislavivanovmts21@yandex.ru.

Received in June 2019

Для цитирования:

Герасимов М.Д., Воробьев Н.Д., Иванов В.И. Оптимизация параметров двухступенчатого вибрационного механизма с асимметричными колебаниями по коэффициенту динамичности // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 10. С. 149–153. DOI: 10.34031/article_5db3fdb0e8c532.45857437

For citation:

Gerasimov M.D., Vorobiev N.D., Ivanov V.I. Optimization of parameters of two-stage vibration mechanism with asymmetric oscillations by dynamic coefficient. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 10. Pp. 149–153. DOI: 10.34031/article_5db3fdb0e8c532.45857437

Научное издание

**«Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова»
№10, 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

Подписано в печать 28.10.19. Формат 60×84/8

Усл. печ. л. 18,83. Уч.-изд. л. 20,25

Тираж 40 экз. Заказ 168. 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