

Научно-теоретический журнал

Вестник

Белгородского государственного технологического
университета им. В.Г. Шухова

ISSN 2071-7318

7

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

№ 7, 2019 год

Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова

научно-теоретический журнал

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov

scientific and theoretical journal

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

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

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

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

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

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

Главный редактор

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

Заместитель главного редактора

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

Члены редакционной коллегии

Айзенштадт Аркадий Михайлович, д-р хим. наук, проф., заведующий кафедрой композиционных материалов и строительной экологии Высшей инженерной школы, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова (РФ, г. Архангельск).
Баженов Юрий Михайлович, академик РААСН наук, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой технологии вяжущих веществ и бетона НИУ МГСУ (РФ, г. Москва).

Благоевич Деян, PhD, проф. Высшей технической школы по профессиональному образованию в Нише (Республика Сербия, г. Ниш).
Богданов Василий Степанович, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой механического оборудования Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

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

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

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

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

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

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

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., (Германия, г. Веймар).

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

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

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

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

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

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).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Hans Bertram Fischer, Dr.-Ing., (Germany, Weimar).

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

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

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

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

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

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Логанина В.И., Фролов М.В. ИССЛЕДОВАНИЕ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ ГИДРОСИЛИКАТОВ И ГИДРОАЛЮМОСИЛИКАТОВ КАЛЬЦИЯ	8
Дмитриева Т.В., Куцына Н.П., Безродных А.А., Строкова В.В., Маркова И.Ю. ЭФФЕКТИВНОСТЬ УКРЕПЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННОГО ГРУНТА МИНЕРАЛЬНЫМИ МОДИФИКАТОРАМИ	14
Салямова К.Д., Турдикулов Х.Х., Мифтахова И.Р. РАСЧЕТ ВЫСОКОЙ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ С УЧЕТОМ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПОРОВОГО ДАВЛЕНИЯ (С УЧЕТОМ ДАННЫХ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ)	24
Прохоров С.В. ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ И ХАРАКТЕРА АРМИРОВАНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ КЛЕЕННЫХ БАЛОК НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВНУТРЕННИХ УСИЛИЙ	33
Чечель И.П., Наумов А.Е. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ ПОСТРОЕНИЯ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В ОБЛАСТИ КОНСТРУКТИВНЫХ И ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ	41
Абдразаков Ф.К., Поваров А.В. ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ МНОГОКВАРТИРНОГО ДОМА	49
Карпов Д.Ф. АКТИВНЫЙ МЕТОД ТЕПЛООВОГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ	57
Галюжин С.Д., Лобикова Н.В., Лобикова О.М. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВА УДАЛЕНИЯ КОНДЕНСАТА ИЗ РЕКУПЕРАТОРА ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКИ	63
Ярмош Т.С., Михайлова И.Д. ЛАНДШАФТНЫЙ УРБАНИЗМ – НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ КОНЦЕПЦИЙ РАЗВИТИЯ ГОРОДСКОГО ПРОСТРАНСТВА НА ПРИМЕРЕ ГОРОДОВ РОССИИ	72
Бурагба Р., Перькова М.В., Семенцов С.В. РАЗВИТИЕ ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЫ ДРЕВНИХ ГОРОДОВ МАРОККО НА ПРИМЕРЕ Г. МАРРАКЕШ	81
Горожанкин В.К. АКСИОЛОГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ АРХИТЕКТУРНЫМ ПОИСКОМ	89

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Лавров Р.В., Кликин Е.Г., Новиков Л.Б. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОКСИДА НАТРИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТЕКЛОВИДНЫХ ЩЕЛОЧНЫХ СИЛИКАТОВ	95
--	----

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Семикопенко И.А., Воронов В.П., Беляев Д.А. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СМЕШЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ КОМПОНЕНТОВ В РАБОЧЕЙ КАМЕРЕ ДЕЗИНТЕГРАТОРА	102
Пономарев Б.Б., Нгуен Ши Хьен ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССА ПЯТИКООРДИНАТНОГО КОНЦЕВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ	108
Домнина К.Л., Pivarčiová Е., Репко В.Н., Сотникова М.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ПЕНОБЕТОНЕ, АРМИРОВАННОМ ПОЛИЭТИЛЕНТЕФТАЛАТНЫМ ВОЛОКНОМ (ПЭТФ-ВОЛОКНОМ)	121
Баранов Д.С., Дуюн Т.А. ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ ЧИСТОВОМ И ПОЛУЧИСТОВОМ ТОЧЕНИИ	128
Фадин Ю.М., Хахалев П.А., Трапезникова Е.Г. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ГИДРОЦИКЛОНА ОТ ИЗНОСА	135
Петручук Е.В., Иванов Д.Я ОРГАНИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА В ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ РОЕВЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ МУЛЬТИРОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ZIGBEE	140

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Loganina V.I., Frolov M.V. STUDY OF THE SYNERGETIC EFFECT OF ADDITIVE BASED ON CALCIUM HYDROSILICATES AND HYDROALUMINOSILICATES	8
Dmitrieva T.V., Kutsyna N.P., Bezrodnykh A.A., Strokov V.V., Markova I.Yu. EFFICIENCY OF REINFORCEMENT OF TECHNOLOGICAL SOIL BY MINERAL MODIFIERS	14
Salyamova K.D., Turdikulov Kh.Kh., Miftahova I.R. CALCULATION OF HIGH EARTHEN DAM TAKING INTO ACCOUNT THE STRESSED CONDITION AND PORE PRESSURE (CONSIDERING THE DATA OF NATURAL OBSERVATIONS)	24
Prokhorov S.V. INFLUENCE OF CROSS SECTION HEIGHT AND NATURE OF REINFORCING GLUED WOODEN BEAMS ON THE DISTRIBUTION OF INTERNAL EFFORT	33
Chechel I.P., Naumov A.E. IMPROVEMENT OF METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF LEGAL BASES CONSTRUCTION OF TECHNICAL REGULATION IN THE FIELD OF CONSTRUCTIVE AND SPACE-PLANNING DECISIONS OF PUBLIC BUILDINGS	41
Abdrzakov F.K., Povarov A.V. RESEARCH EFFICIENCY OF NATURAL VENTILATION SYSTEM OF APARTMENT BUILDING	49
Karpov D.F. THE ACTIVE METHOD OF CONTROL THE THERMAL CONDUCTIVITY OF BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS	57
Galyuzhin S.D., Lobikava N.V., Lobikava O.M. DETERMINATION OF INITIAL DATA FOR DESIGNING A DEVICE TO REMOVE CONDENSATE FROM THE RECUPERATOR OF VENTILATION EQUIPMENT	63
Yarmosh T.S., Mikhailova I.D. LANDSCAPE URBANISM – A NEW DIRECTION OF MODERN CONCEPTS OF URBAN SPACE DEVELOPMENT ON THE EXAMPLE OF RUSSIAN CITIES	72
Bouragba R., Perkova M.V., Sementsov S.V. DEVELOPMENT OF THE PLANNING STRUCTURE OF ANCIENT CITIES OF MOROCCO ON THE EXAMPLE OF MARRAKESH	81
Gorzhankin V.K. AXIOLOGICAL MANAGEMENT OF ARCHITECTURAL SEARCH	89

CHEMICAL TECHNOLOGY

Lavrov R.V., Klikin E.G., Novikov L.B. USING SODIUM HYDROXIDE FOR OBTAINING ALKALI SILICATES	95
--	----

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

Semikopenko I.A., Voronov V.P., Belyaev D.A. THEORETICAL STUDY OF THE PROCESS OF MIXING THE VARIOUS COMPONENTS IN THE WORKING CHAMBER OF THE DISINTEGRATOR	102
Ponomarev B.B., Nguyen Sy Hien DYNAMICS OF FIVE-AXIS END MILLING PROCESS	108
Domnina K.L., Pivarčiová E., Repko V.N., Sotnikova M.V. HEAT EXCHANGE IN FOAM CONCRETE REINFORCED BY POLYETHYLENE TEREPHTHALATE FIBER (PET FIBER)	121
Baranov D.S., Dujun T.A. APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR THE PREDICTION OF ROUGHNESS IN FINISHING AND SEMI-FINISHING TURNING	128
Fadin Y.M., Khakhalev P.A., Trapeznikova E.G. MODERN TECHNOLOGIES OF MATERIALS FOR PROTECTION THE WORKING SURFACES OF HYDROCLONE AGAINST WEAR	135
Petruchuk E.V., Ivanov D.Y. ORGANIZATION OF INFORMATION EXCHANGE IN DECENTRALIZED SWARM CONTROL SYSTEMS OF MULTI-ROBOTIC COMPLEXES USING ZIGBEE	140

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/article_5d35d0b645d6f8.37881085

^{1,*}Логанина В.И., ¹Фролов М.В.¹Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
Россия, 4400028, Пензенская область, г. Пенза, ул. Германа Титова, д. 28

*E-mail: loganin@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ ГИДРОСИЛИКАТОВ И ГИДРОАЛЮМОСИЛИКАТОВ КАЛЬЦИЯ

Аннотация. Сухие строительные смеси различного функционального назначения находят широкое применение при проведении строительных работ. Для улучшения различных характеристик отделочных составов и покрытий на их основе в рецептуру сухих строительных смесей вводят модифицирующие добавки. В большинстве своем модифицирующие добавки поставляются иностранными компаниями, что существенно увеличивает себестоимость производства сухих строительных смесей. Поэтому актуальной задачей является разработка отечественных модифицирующих добавок. В работе предложено использовать в известковых теплоизоляционных отделочных составах для отделки газобетона модифицирующую добавку, минералогический состав которой представлен гидросиликатами и гидроалюмосиликатами кальция. Доказана целесообразность принятой двухстадийной технологии синтеза модифицирующей добавки. Установлен синергетический эффект влияния модифицирующей добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция на структурообразование известковых композитов. Выявлено, что при использовании модифицирующей добавки повышается прочность при сжатии и водостойкость известковых композитов, увеличивается скорость набора пластической прочности известкового состава. Модифицирующая добавка, минералогический состав которой представлен гидросиликатами и гидроалюмосиликатами кальция, использована в рецептуре теплоизоляционной сухой строительной смеси, предназначенной для наружной и внутренней отделки стен из газобетона.

Ключевые слова: сухие строительные смеси, известь, синергетический эффект, гидросиликаты кальция, гидроалюмосиликаты кальция, пуццоланическая активность, структурообразование.

Введение. Покрытия на основе известковых сухих строительных смесей (ССС) характеризуются высокими значениями коэффициентов паропроницаемости, обладают хорошей трещиностойкостью, способны хорошо воспринимать растягивающие усилия [1, 2]. Низкая прочность и водостойкость, долгие сроки твердения существенно ограничивают возможность использования известковых СССР для наружной отделки стен зданий. Для улучшения эксплуатационных свойств покрытий на основе известковых СССР в их рецептуру вводят модифицирующие добавки различной минеральной природы [3–7]. Введение гидросиликатов кальция позволяет повысить прочность и водостойкость известковых композитов [8]. Использование алюмосиликатов позволяет ускорить структурообразование известковых составов [9, 10]. В работе проверяется гипотеза, согласно которой использование в известковой СССР добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция позволит за счет синергетического эффекта одновременно повысить прочность и существенно ускорить структурообразование известковых составов.

Методология. Удельную поверхность определяли прибором ПСХ-12SP, работа которого основана на методе газопроницаемости Козени и

Кармана. Пуццоланическую активность, характеризующую способность добавки вступать во взаимодействие с известью, определяли методом поглощения извести из известкового раствора [11]. Прочность при сжатии получаемых в результате исследований композитов определяли с использованием испытательной машины типа ИР 5057-50. Пластическую прочность отделочной смеси определяли при помощи конического пластометра КП-3. Содержание свободной извести определяли титрованием навески измельченного образца при помощи соляной кислоты. Водостойкость образцов оценивали при помощи коэффициента размягчения.

Основная часть. Модифицирующую добавку на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция получали по двухстадийной технологии синтеза [12, 13]. На первой стадии синтеза негашеную известь гасили водой, нагретой до 60 °С. Затем полученный раствор доводили до кипения и вливали в него нагретый до 60 °С раствор жидкого натриевого стекла, содержащий 122,4 г/л SiO₂ и 47,4 г/л Na₂O. Полученную смесь перемешивали в течение 15 минут, после чего отфильтровывали образовавшийся осадок. На второй стадии синтеза полученный осадок обрабатывали 10%-ным раствором сульфата

алюминия до момента, когда показатель pH раствора опускался до 6,5. Полученную смесь отфильтровывали. Осадки, полученные на первой и второй стадии синтеза, высушивали. Проведенный РФА показал, что минералогический состав добавки, полученной на первой стадии синтеза, представлен преимущественно гидросиликатами тоберморитовой группы. Минералогический состав добавки, полученной на второй стадии синтеза, представлен гидросиликатами тоберморитовой группы и гидроалюмосиликатами кальция [14].

Для оценки синергетического эффекта от использования гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция дальнейшие исследования проводили параллельно для добавок, образовавшихся на первой и второй стадиях синтеза. Необходимо отметить, что на свойства модифицирующих добавок существенно влияние оказывает их удельная поверхность. Добавку, полученную на первой стадии синтеза, после высушивания до постоянной массы размалывали в шаровой мельнице в течение 30 минут, в результате чего её удельная поверхность $S_{уд}$ составила $480 \text{ м}^2/\text{кг}$. Добавку, полученную на второй стадии синтеза, размалывать нет необходимости, после высушивания её удельная поверхность $S_{уд}$ составила $1380 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Удельная поверхность добавки, полученной на второй стадии синтеза, выше в 2,875 раза, чем удельная поверхность добавки, полученной на первой стадии синтеза, поэтому в силу своей физической природы добавка, полученная на второй стадии синтеза, должна проявлять большее влияние на процессы структурообразования известковых композитов.

Выявлено, что пуццоланическая активность добавки, полученной на первой стадии синтеза, спустя 30 суток с начала эксперимента составила

238,6 мг/г, пуццоланическая активность добавки, полученной на второй стадии синтеза, – 762,5 мг/г. Спустя 90 суток с начала эксперимента разница между показателями пуццоланической активности добавок, полученных на первой и второй стадии синтеза, еще больше увеличилась. Установлено, что добавка, полученная на первой стадии синтеза, активно поглощала известь в течение 40 суток, после чего скорость поглощения существенно уменьшилась и спустя 90 суток с начала эксперимента пуццоланическая активность достигла 285,0 мг/г. Добавка, полученная на второй стадии синтеза, активно поглощала известь в течение всех 90 суток, и в конце эксперимента пуццоланическая активность составила 1280,0 мг/г.

Установлено, что пуццоланическая активность добавки, полученной на второй стадии синтеза, превышает пуццоланическую активность добавки, полученной на первой стадии синтеза, в 3,2 раза спустя 30 суток с начала эксперимента и в 4,49 раза спустя 90 суток с начала эксперимента. Разница между значениями пуццоланической активности добавок, полученных на первой и второй стадии синтеза, превосходит разницу между значениями удельной поверхности, что можно объяснить сложением двух факторов: увеличенной удельной поверхностью и синергетическим эффектом от использования гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция.

Для оценки синергетического эффекта и эффективности применения разрабатываемых добавок исследовали кинетику набора пластических свойств известковой смеси и кинетику набора прочности известкового композита. Содержание добавок составляло 10 % от массы извести.

Кривые набора пластической прочности известковой смеси представлены на рис. 1.

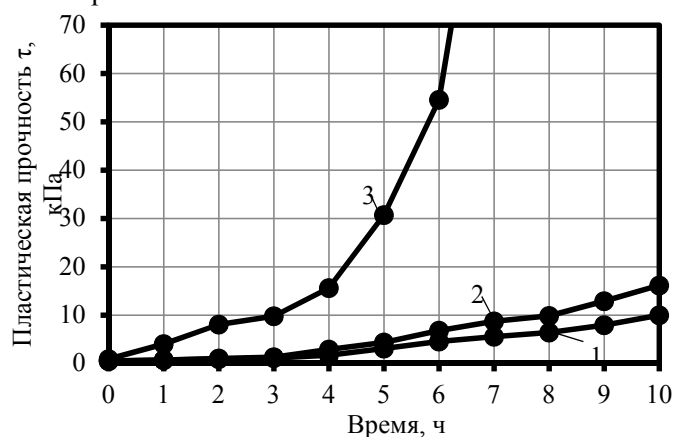


Рис. 1. Изменение пластической прочности известковой смеси: 1 – контрольный состав на известковом вяжущем, В/И=1; 2 – состав на известковом вяжущем с использованием добавки, полученной на первой стадии синтеза, В/И=1; 3 – состав на известковом вяжущем с использованием добавки, полученной на второй стадии синтеза, В/И=1

Установлено, что введение добавки, полученной на первой стадии синтеза, позволило увеличить скорость роста пластической прочности известкового состава. Спустя шесть часов после затворения пластическая прочность состава с использованием добавки, полученной на первой стадии синтеза, составила $\tau=6,80$ кПа (рис. 1, кривая 2), что в 1,5 раза выше пластической прочности контрольного состава. Введение добавки, полученной на второй стадии синтеза, позволило существенно увеличить скорость роста пластической прочности известкового состава. Спустя шесть часов после затворения пластическая прочность состава с использованием добавки, полученной на второй стадии синтеза, составила $\tau=54,56$ кПа (рис. 1, кривая 3), что в 12,04 раза

выше пластической прочности контрольного состава и в 8,02 раза выше пластической прочности состава с использованием добавки, полученной на первой стадии синтеза. Увеличение скорости структурообразования при использовании добавки, полученной на второй стадии синтеза, существенно превышает эффект, который можно было ожидать от увеличения площади удельной поверхности, что можно объяснить появлением в минералогическом составе добавки дополнительно гидроалюмосиликатов кальция.

Кинетика твердения известковых композитов с использованием добавок, полученных соответственно на первой и второй стадиях синтеза, представлена на рис. 2. Образцы твердели в воздушно-сухих условиях при температуре 18–20 °С.

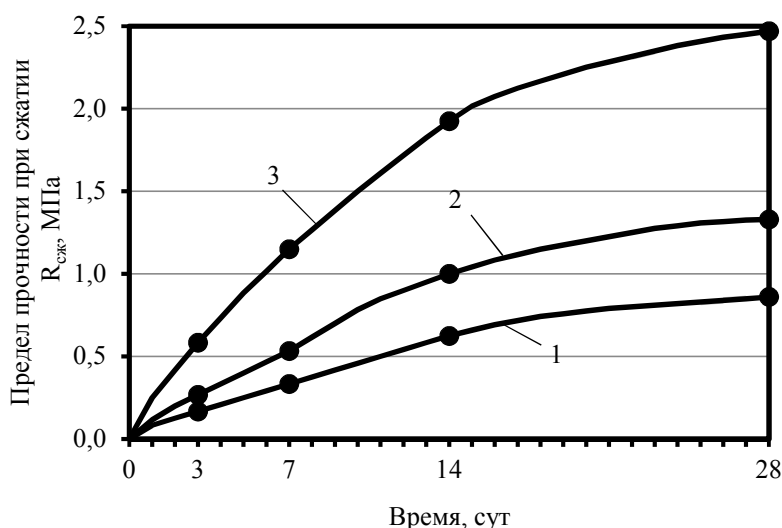


Рис. 2. Кинетика твердения известковых композитов:

1 — контрольный состав на известковом вяжущем; 2 — состав на известковом вяжущем с использованием добавки, полученной на первой стадии синтеза; 3 — состав на известковом вяжущем с использованием добавки, полученной на второй стадии синтеза

Данные, приведенные на рисунке 2, доказывают высокую эффективность добавок, полученных на первой и второй стадии синтеза. Подробные результаты оценки влияния синтезированных добавок на увеличение прочности при сжатии $\Delta R_{сж}$, %, известковых композитов при различных сроках твердения представлены в таблице 1.

Данные, представленные в таблице 1, показывают, что значение увеличения прочности при сжатии $\Delta R_{сж2}$ композитов с использованием добавки, полученной на второй стадии синтеза, значительно превосходит значение увеличения прочности при сжатии $\Delta R_{сж1}$ при использовании добавки, полученной на первой стадии синтеза. Существенную разницу между значениями увеличения прочности $\Delta R_{сж2}$ и значения увеличения

прочности $\Delta R_{сж1}$ можно объяснить, как увеличением удельной поверхности добавки, так и синергетическим эффектом от использования гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция. Наибольшая разница между значениями $\Delta R_{сж2}$ и $\Delta R_{сж1}$ отмечена на 3 и 7 сутки твердения, что, очевидно, вызвано наличием в минералогическом составе модифицирующей добавки, полученной на второй стадии синтеза, гидроалюмосиликатов кальция, значительно увеличивающих скорость структурообразования известковых композитов.

Установлено, что в известковых композитах, полученных без использования добавок, после 28 суток твердения содержание свободной извести составило 49,1 %. При этом в образцах, с использованием добавки, полученной на первой стадии синтеза, содержание свободной извести снизи-

лось до 40,2 % в образцах с использованием добавки, полученной на второй стадии синтеза: содержание свободной извести снизилось до 28,6 %.

Таблица 1

**Оценка влияния добавок на кинетику
твердения композитов**

Время, сут	Увеличение прочности при сжатии		$\Delta R_{сж2}/\Delta R_{сж1}$
	Первая стадия синтеза $\Delta R_{сж1}$, %	Вторая стадия синтеза $\Delta R_{сж2}$, %	
3	58,8	241,2	4,102
7	60,6	248,5	4,101
14	58,7	206,3	3,514
28	54,6	187,2	3,429

Исследовали влияние модифицирующих добавок на водостойкость. Выявлено, что коэффициент размягчения известковых композитов $K_{разм}$ составил 0,35. Использование добавки, полученной на первой стадии синтеза, позволило повысить водостойкость до $K_{разм}=0,50$, использование добавки, полученной на второй стадии синтеза, позволило повысить водостойкость до $K_{разм}=0,77$.

Выводы. Проведенные в работе исследования доказывают синергетический эффект влияния модифицирующей добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция на структурообразование известковых композитов. При использовании добавки, полученной на второй стадии синтеза, в количестве 10 % от массы извести, повышается прочность при сжатии известковых композитов на 287,2 %, снижается содержание свободной извести с 49,1 % до 28,6 %, увеличивается скорость набора пластической прочности в 12,04 раза спустя шесть часов после затворения, существенно возрастает водостойкость известковых композитов.

С использованием добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция разработана теплоизоляционная ССС, предназначенная для отделки наружной и внутренней отделки стен из газобетона [15, 16]. Покрытие, полученное с использованием разработанной ССС, характеризуется средней плотностью $\rho=650$ кг/м³, коэффициентом теплопроводности $\lambda=0,137$ Вт/(м·°С), коэффициентом паропроницаемости $\mu=0,15$ мг/(м·ч·Па), адгезионной прочностью $R_{адг}=0,71$ МПа, морозостойкостью F35.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пухаренко Ю.В., Харитонов А.М., Шангина Н.Н., Сафонова Н.Ю. Реставрация исторических объектов с применением современных

сухих строительных смесей // Вестник гражданских инженеров. 2011. №1(26). С. 98–103.

2. Шангина Н.Н., Харитонов А.М. Особенности производства и применения сухих строительных смесей для реставрации памятников архитектуры // Сухие строительные смеси. 2011. №4. С. 16–19.

3. Fang S.Q., Zhang H., Zhang, B.J. Zheng Y. The identification of organic additives in traditional lime mortar // Journal of Cultural Heritage. 2014. №15(2). Pp. 144–150.

4. Konakova D., Cachova M., Vejmelkova E., Keppert M. Lime-based plasters with combined expanded clay-silica aggregate: Microstructure, texture and engineering properties // Cement and Concrete Composites. 2017. №83. Pp. 144–150.

5. Баталин, Б.С. Исследования эффективности добавок, применяемых для производства сухих строительных смесей // Успехи современного естествознания. 2007. № 7. С. 60–62.

6. Гонтарь, Ю.В., Чалова А.И. Модифицированные сухие смеси для отделочных работ // Строительные материалы. 2001. № 4. С. 8–10.

7. Lagazzo A., Vicinib S., Cattaneoc C., Botter R. Effect of fatty acid soap on microstructure of lime-cement mortar // Construction and Building Materials. 2016. №116. Pp. 384–390.

8. Pyshkina I.S., Zhegera K.V., Martyashin G.V. Methods of obtaining modifying supplement based on calcium hydrosilicates for lime dry mixes // IOP Conference Series-Materials Science and Engineering. 2018. № 451(1).

9. Loganina V.I., Sadovnikova M.A., Jezierski W., Modification of Lime Mortars with Synthesized Aluminosilicates // IOP Conference Series-Materials Science and Engineering. 2017. №245.

10. Zhegera K.V. Use of amorphous aluminosilicates as modifying additive in formulations of lime mortars // IOP Conference Series-Materials Science and Engineering. 2018. № 451(1).

11. Зырянов М.С., Ахметжанов А.М., Манушина А.С., Потапова Е.Н. Определение пуццолановой активности метакаолина // Успехи в химии и химической технологии. ТОМ XXX. 2016. № 7. С. 44–46.

12. Логанина В.И., Кислицына С.Н., Фролов М.В., Рябов М.А. Разработка добавки на основе смеси синтезированных гидросиликатов кальция и алюмосиликатов для сухих строительных смесей // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2015. №2. С. 93–95.

13. Loganina V.I., Kislitsyna S.N., Frolov M.V., Addition on the Basis of Mix of the Synthesized Hydrosilicates of Calcium and Aluminosilicates for Dry Building Mixtures // Procedia Engineering. 2016. №150. Pp. 1627–1630.

14. Жерновский И.В., Логанина В.И., Кислицина С.Н., Фролов М.В. Структурообразование известковых композитов в присутствии гидросиликатов и алюмосиликатов кальция // Региональная архитектура и строительство. 2015. №4 (25). С. 42–47.

15. Loganina V.I., Frolov M.V. Heat-insulating Finishing Composition of the Optimal Structure with

Microspheres // IOP Conference Series-Materials Science and Engineering. 2019. № 471.

16. Логанина В.И., Фролов М.В. Использование зольных алюмосиликатных микросфер в известковых сухих строительных смесях для отделки // Вестник БГТУ им В.Г.Шухова. 2017. №3. С. 6–8.

Информация об авторах

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

Фролов Михаил Владимирович, младший научный сотрудник. E-mail: mihail-frolovv@yandex.ru. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. Россия, 440028, Пенза, ул. Германа Титова, д. 28.

Поступила в мае 2019 г.

© Логанина В.И., Фролов М.В., 2019

^{1,*}**Loganina V.I., ¹Frolov M.V.**

¹*Penza State University of Architecture and Construction
Russia, 440028, Penza region, Penza, Germama Titova Street, 28*

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

STUDY OF THE SYNERGETIC EFFECT OF ADDITIVE BASED ON CALCIUM HYDROSILICATES AND HYDROALUMINOSILICATES

Abstract. Dry mixes of various functional purposes are widely used in construction works. Modifying additives are introduced into the composition of dry building mixtures to improve various characteristics of finishing compositions and coatings. Foreign companies supply most modifying additives, this significantly increases the cost of production of dry building mixtures. Therefore, the urgent task is to develop domestic modifying additives. The paper proposes the use of modifying additive for the finishing of aerated concrete in calcareous heat-insulating finishing compositions, the mineralogical composition of which is consisted of hydrosilicates and calcium hydroaluminosilicates. The expediency of the adopted two-stage technology for the synthesis of the modifying additive is proved. The synergistic effect of the modifying additive influence based on a mixture of hydrosilicates and calcium hydroaluminosilicates on the structure formation of lime composites is established. It is revealed that the use of modifying additive increases the compressive strength, the water resistance of lime composites and the speed of the set of flexible strength of the lime composition. The modifying additive, the mineralogical composition of which is represented by hydrosilicates and calcium hydroaluminosilicates, is used in the formulation of thermal insulation of dry mixes designed for interior and exterior walls of aerated concrete.

Keywords: dry building mixtures, lime, synergistic effect, calcium hydrosilicates, calcium hydroaluminosilicates, pozzolanic activity, structure formation.

REFERENCES

1. Puharenko Yu.V., Kharitonov A.M., Shangina N.N., Safonova N.Yu. Restoration of historical objects using modern dry building mixtures [*Restavraciya istoricheskikh ob"ektov s primeneniem sovremennyh suhih stroitel'nyh smesey*]. Bulletin of Civil Engineers. 2011. No. 1(26). Pp. 98–103. (rus)
2. Shangina N.N., Kharitonov A.M. Features of the production and use of dry building mixtures for the restoration of architectural monuments [*Osobennosti proizvodstva i primeneniya suhihstroitel'nyh smesey dlya restavracii pamyatnikov*

arhitektury]. Dry Building Mixes. 2011. No. 4. Pp. 16–19. (rus)

3. Fang S.Q., Zhang H., Zhang B.J., Zheng Y. The identification of organic additives in traditional lime mortar. Journal of Cultural Heritage. 2014. No. 15(2). Pp. 144–150.

4. Konakova D., Cachova M., Vejmelkova E., Keppert M. Lime-based plasters with combined expanded clay-silica aggregate: Microstructure, texture and engineering properties. Cement and Concrete Composites. 2017. No. 83. Pp. 144–150.

5. Batalin B.S. Studies of the effectiveness of additives used for the production of dry building

mixtures [*Issledovaniya effektivnosti dobavok, primenyaemyh dlya proizvodstva suhikh stroitel'nykh smesey*]. Advances in current natural sciences. 2007. No. 7. Pp. 60–62. (rus)

6. Gontar Yu.V., Chalova A.I. Modified dry mixes for finishing works [*Modificirovannye suhie smesi dlya otdelochnykh rabot*]. Construction materials. 2001. No. 4. Pp. 8–10. (rus)

7. Lagazzo A., Vicinib S., Cattaneoc C., Botter R. Effect of fatty acid soap on microstructure of lime-cement mortar. Construction and Building Materials. 2016. No. 116. Pp. 384–390.

8. Pyshkina I.S., Zhegera K.V., Martyashin G.V. Methods of obtaining modifying supplement based on calcium hydrosilicates for lime dry mixes. IOP Conference Series-Materials Science and Engineering. 2018. No. 451(1).

9. Loganina V.I., Sadovnikova M.A., Jezierski W., Modification of Lime Mortars with Synthesized Aluminosilicates. IOP Conference Series-Materials Science and Engineering. 2017. No. 245.

10. Zhegera K.V. Use of amorphous aluminosilicates as modifying additive in formulations of lime mortars. IOP Conference Series-Materials Science and Engineering. 2018. No. 451(1).

11. Zyryanov M.S., Akhmetzhanov A.M., Manushina A.S., Potapova E.N. Determination of potazzolanic activity of metakaolin [*Opredelenie puccolanovoy aktivnosti metakaolina*]. Advances in chemistry and chemical technology. Book XXX. 2016. No. 7. Pp. 44–46. (rus)

12. Loganina V.I., Kislitsyna S.N., Frolov M.V., Ryabov M.A. Development of an additive based on a mixture of synthesized calcium hydrosilicates and aluminosilicates for dry building mixtures [*Razrabotka dobavki na osnove smesi sintezirovannykh gidrosilikatov kal'ciya i alyumosilikatov dlya suhikh stroitel'nykh smesey*]. Akademicheskii Vestnik UralNIIproekt RAASN. 2015. No. 2. Pp. 93–95. (rus)

13. Loganina V.I., Kislitsyna S.N., Frolov M.V., Addition on the Basis of Mix of the Synthesized Hydrosilicates of Calcium and Aluminosilicates for Dry Building Mixtures. Procedia Engineering. 2016. No. 150. Pp. 1627–1630.

14. Zhernovsky I.V., Loganina V.I., Kislitsyna S.N., Frolov M.V. Structure formation of lime composites in the presence of hydrosilicates and calcium aluminosilicates [*Strukturoobrazovanie izvestkovykh kompozitov v prisutstvii gidrosilikatov i alyumosilikatov kal'ciya*]. Regional Architecture and Construction. 2015. No. 4 (25). Pp. 42–47. (rus)

15. Loganina V.I., Frolov M.V., Heat-insulating Finishing Composition of the Optimal Structure with Microspheres. IOP Conference Series-Materials Science and Engineering. 2019. No. 471.

16. Loganina V.I., Frolov M.V. Use of ash aluminosilicate microspheres in limy dry construction mixtures for finishing [*Ispol'zovanie zol'nykh alyumosilikatnykh mikrosfer v izvestkovykh suhikh stroitel'nykh smesyakh dlya otdelki*]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 3. Pp. 6–8. (rus)

Information about the authors

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

Frolov, Mikhail V. Junior Researcher. E-mail: mihail-frolovv@yandex.ru. Penza State University of Architecture and Construction. Russia, 440028, Penza, German Titov, st. 28.

Received in May 2019

Для цитирования:

Логанина В.И., Фролов М.В. Исследование синергетического эффекта добавки на основе гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 7. С. 8–13. DOI: 10.34031/article_5d35d0b645d6f8.37881085

For citation:

Loganina V.I., Frolov M.V. Study of the synergetic effect of additive based on calcium hydrosilicates and hydroaluminosilicates. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 7. Pp. 8–13. DOI: 10.34031/article_5d35d0b645d6f8.37881085

DOI: 10.34031/article_5d14bdcc8eca43.21244159

^{1,*}Дмитриева Т.В., ²Куцына Н.П., ¹Безродных А.А., ¹Строкова В.В., ¹Маркова И.Ю.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

²ОГКУ «Управление дорожного хозяйства и транспорта Белгородской области»

Россия, 308000, Белгород, ул. Преображенская, д. 19

*E-mail: tdmtrieva-bel@yandex.ru

ЭФФЕКТИВНОСТЬ УКРЕПЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННОГО ГРУНТА МИНЕРАЛЬНЫМИ МОДИФИКАТОРАМИ

Аннотация. В статье рассмотрены основные аспекты укрепления грунтов в дорожном строительстве путем добавления к ним вяжущего компонента. Применение данной технологии позволяет решить проблему дефицита качественного сырья при улучшении физико-механических характеристик или сохранении на том же уровне, а также увеличить производительность труда и снизить затраты на производство. Изучено техногенное сырье для получения грунтобетонов, проанализированы основные физико-механические характеристики, требования, которые необходимо учитывать при подборе состава грунтобетонной смеси. В работе приведено сравнение физико-механических характеристик дорожного композита, выявлены преимущества и недостатки при введении вяжущего компонента различных типов: цемент, цемент с модификатором и комплексное вяжущее. Установлено, что введение комплексного вяжущего либо цемента с модификатором способствует повышению физико-механических характеристик при снижении расхода цемента в составе грунтобетонной смеси по сравнению с традиционным грунтобетоном с применением цемента.

Ключевые слова: дорожное строительство, укрепление грунтов, техногенный грунт, цемент, модификатор, комплексное вяжущее.

Введение. Вопрос обеспечения бесперебойного и безопасного движения транспортных средств по автомобильным дорогам Российской Федерации в связи с массовой автомобилизацией населения является актуальным, несмотря на постоянную модернизацию как дорожно-строительной отрасли, так и транспортной сети. Данный вопрос особо значим в связи с необходимостью создания единой дорожной сети с круглогодичным доступом для населения [1].

С 2019 года стартовал национальный проект «Безопасные и качественные дороги» на глобальном общероссийском уровне (утвержден президентом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24.12.2018 г №15). Основными задачами являются приведение автомобильных дорог как федерального, так областного и местного значения в соответствие с нормативными требованиями, а также снижение мест концентрации дорожно-транспортных происшествий на дорожной сети регионов страны. На основании повышенного внимания к дорожной отрасли на правительственном уровне были уточнены межремонтные сроки в сторону их значительного увеличения [2]. Данное обстоятельство способствует более пристальному вниманию к применяемым технологиям и материалам с учетом максимального использования инновационных разработок.

Решить все выше представленные задачи позволит комплексный подход, предполагающий

применение инновационных технологий с целью улучшения качественных характеристик дорожных одежд, а также снижения сроков проведения дорожно-строительных работ. Снижение материалоёмкости без потери несущей способности дорожной одежды с учетом сохранения физико-механических показателей будет способствовать повышению качественных характеристик конструктивных элементов дорожной одежды и эксплуатационных характеристик всей автомобильной дороги.

Учеными различных научных школ уже более 100 лет происходит изучение основных аспектов укрепления грунтов. Так в ряде работ было доказано, что укрепление грунтов как природного [3, 4], так и техногенного [5–8] происхождения при устройстве слоев основания автомобильных дорог позволит минимизировать расходы или полностью исключить дорогостоящий каменный материал, расширив сырьевую базу дорожно-строительных материалов. Разработкой и введением дополнительных улучшающих добавок в грунтобетон активно занимаются ученые последнее десятилетие. Их использование активно распространено в ряде стран, таких как Канада, Германия, США и ряда других [9–11].

Работы, касающиеся грунтобетонов на техногенном сырье, были посвящены в основном грунтам, образованным в отвалах промышленных ресурсодобывающих предприятий. Однако в последнее десятилетие во многих регионах Рос-

сийской Федерации активное применение получил метод холодной регенерации [12, 13]. Получаемый материал основания согласно последним разъяснениям [14] можно назвать грунтобетоном (смесь грунта, вяжущего, добавок и воды [15]) или укрепленным грунтом, а основной сырьевой компонент – техногенным грунтом (грунт, измененный, перемещенный или образованный в результате инженерно-хозяйственной деятельности человека согласно ГОСТ 25100-2011).

Вышеуказанный материал, согласно теоретических предпосылок и экспериментальных данных, следует рассматривать как наиболее перспективный для дорожного строительства. Подобрать наиболее рациональный компонент для укрепления, возможно значительно повысить физико-механические показатели конструктивных слоев дорожной одежды, снизив затраты и экологический прессинг в регионе за счет применения вторсырья.

В состав техногенного грунта входят материалы различного состава, в том числе битумосодержащие материалы с различной степенью старения битума. Размер зерен минерального материала варьируется от 40 мм и до 0,071 мм. При детальном изучении состава материала следует выделить зерна различного генеза, растворные гранулы, щебень, покрытый полностью или частично растворной частью, а также гранулы из асфальтовяжущего вещества [16].

Следует отметить, что, несмотря на то, что зерна минеральных частиц покрыты битумом, который под воздействием уплотняющей

нагрузки должен склеить эти зерна, сам по себе этот материал является несвязной системой, содержащей крупные зерна, исполняющие роль каркаса, и мелкие частицы. Некоторое количество состаренного под действием внешних факторов и внутренних процессов битума в составе смеси делает саму смесь более хрупкой.

Таким образом, следует сделать вывод о необходимости введения вяжущего компонента для использования данного материала в качестве конструктивного элемента дорожной одежды для повышения параметров прочности техногенного грунта. В связи со спецификой сырья следует акцентировать внимание на влиянии влажности и коэффициента уплотнения на получение материала с требуемым модулем упругости и коэффициентом сцепления [17–18]. Процесс структурообразования в укрепленной смеси заключается в формировании пространственных органоминеральных структур из минерального наполнителя и вяжущего компонента.

Материалы и методы. В качестве техногенного грунта использовали сфрезерованный асфальтогранулят. Изучение гранулометрического состава (рис. 1) показало разнофракционный состав материала, четвертую часть от объема занимают частицы размером от 5 до 10 мм, также высокое содержание мелких фракций, остатки на ситах 1,25, 0,63, 0,315, 0,16 и 0,071 мм составляют около 10 % от объема грунта на каждом сите. Данные показатели гранулометрического состава полностью соответствуют ОДМ 218.2.022-2012 прил. Б.

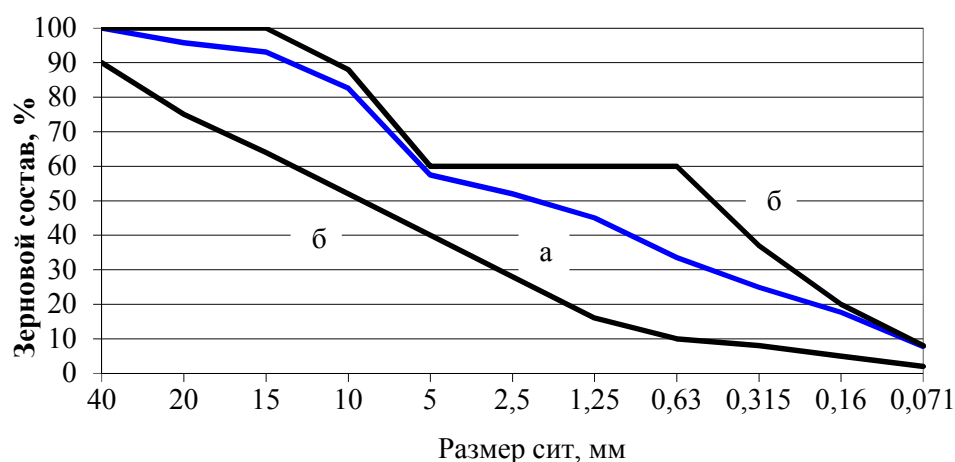


Рис. 1. Гранулометрический состав техногенного грунта
а) полные проходы, %, б) границы требований ОДМ 218.2.022-2012

Содержание битума в исследуемом грунте, определенное методом выжигания, составляет 5,5 % (сверх 100 % смеси).

Максимальная плотность и оптимальная влажность техногенного грунта, определенные

по методике ГОСТ 22733-2002, составляют 2200 кг/м³ и 6 % соответственно.

В качестве вяжущего компонента в работе были выбраны цемент, цемент с добавкой-модификатором ДорЦем ДС-1 [19] и комплексное вяжущее БелДорЦем [20]. Цемент для укрепления

использовали марки ЦЕМ I 42,5 Н в соответствии с ГОСТ 31108-2016, произведенный на Белгородском цементном заводе. Состав и технологию получения модификатора (выпущенного согласно ТУ 2499-001-30130102-2010) и комплексного минерального вяжущего (выпущенного согласно ТУ 23.64.10-001-28538178-2019) (произведенные ООО «Белдорматериалы») производитель не разглашает.

В ходе лабораторных исследований проводилось испытание грунтобетона 3-х видов:

- техногенный грунт, укрепленный цементом (ЦЕМ I 42,5Н) с его содержанием – 2–6 % (сверх 100 % от массы грунта) с шагом 1,0 %;

- техногенный грунт, укрепленный цементом с модификатором ДорЦем ДС-1. Содержание вяжущего – 1,5–3,5 % (сверх 100 % от массы грунта) с шагом 0,5 %; модификатора – 6 % от массы цемента;

- техногенный грунт, укрепленный комплексным вяжущим БелДорЦем с содержанием 1,5–3,5 % (сверх 100 % от массы грунта) с шагом 0,5 %.

Основная часть. При уплотнении грунта необходимо, чтобы пористость уплотненного материала соответствовала объему поровой воды, а вода находилась в адсорбированном состоянии. При этом грунт должен находиться при оптимальной влажности, при которой будут приложены наименьшие затраты энергии на уплотнение.

Опытным путем было установлено, что при выполнении работ по укреплению техногенного грунта необходимо дополнительное введение вяжущего компонента (цемента) для получения требуемых прочностных характеристик укрепленного грунта. Это связано с тем, что в процессе изготовления лабораторных образцов бездобавочный материал уплотняется, однако при достижении определенного для испытаний возраста, образцы разрушаются и определить качественные характеристики такого материала не представляется возможным.

При введении в грунт цемента происходит смещение показателя оптимальной влажности грунта. Показатели твердения вяжущего (начало, конец) зависят от минерального и химического составов, а также показателей дисперсности. Так при добавлении цемента в грунт с большим количеством частиц меньшего размера, твердение смеси начнется раньше, чем в крупнодисперсных грунтах [21].

В работе исследовалось влияние различного содержания вяжущего на свойства укрепленного техногенного грунта (табл. 1). На основании полученных результатов следует говорить об увеличении средней плотности и прочности при сжатии образцов при увеличении процентного соотношения цемента.

Таблица 1

**Зависимость физико-механических свойств грунтобетона (грунт+цемент)
от содержания цемента**

№ п/п	Цемент, %	Наименование показателя		
		средняя плотность, кг/м ³	предел прочности при сжатии, МПа	марка по морозостойкости
1.	2,0	2220	1,5	F15
2.	3,0	2230	1,8	F15
3.	4,0	2240	2,2	F20
4.	5,0	2270	2,8	F25
5.	6,0	2300	3,7	F25

В климатических условиях Белгородской области одним из важнейших свойств является морозостойкость укрепленного основания. Чаще всего в осенне-зимне-весенний период основание подвергается попеременному замораживанию-оттаиванию, при этом важнейшую роль играет структурное состояние материала основания. При увлажнении вода попадает в поры, способствуя отслоению битума и ослаблению структурных связей. При замерзании происходит дальнейшее разрушение структуры и снижение морозостойкости.

С введением в состав техногенного грунта цемента создается особая структура с замкнутыми воздушными порами, которая способствует

увеличению морозостойкости получаемого грунтобетона. Результаты произведенных исследований показали, что введение цемента в количестве от 2 до 5 % (сверх 100 % техногенного грунта) увеличивает морозостойкость композита. При введении большего количества цемента наблюдается только рост прочностных показателей.

На рис. 2 представлена положительная динамика изменения предела прочности при сжатии образцов в проектном возрасте в зависимости от содержания цемента. Так как образцы без добавления укрепляющих добавок не выдерживали хранения до проведения испытаний, прирост прочности рассчитывался относительно минимального количества добавляемого цемента – 2 %.

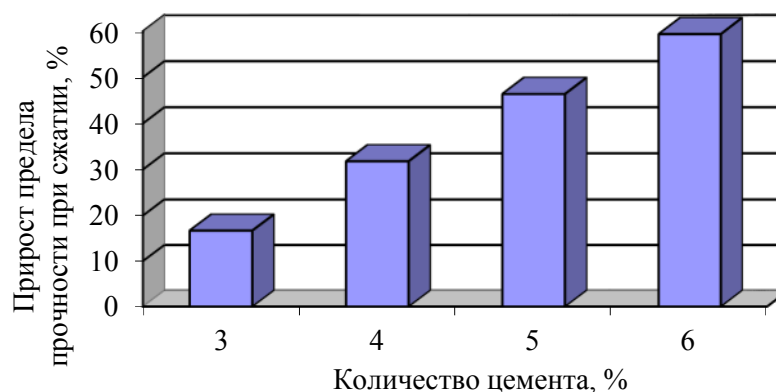


Рис. 2. Динамика изменения предела прочности при сжатии образцов в проектном возрасте в зависимости от содержания цемента в составе грунтобетона

Полученные данные свидетельствуют о планомерном и пропорциональном росте показателей прочности при увеличении содержания вяжущего – цемента в составе смеси. Введение цемента позволяет грунтобетону на основе техногенного грунта достичь марки по прочности М20 (уже при введении 4 % цемента в смесь), что является достаточным для устройства укрепленного материала в качестве основания автомобильной дороги на переходных типах покрытия по ГОСТ 23558–94.

В результате лабораторных испытаний установлено, что образцы техногенного грунта, укрепленные цементом, обладают высокими показателями прочности и плотности в зависимо-

сти от содержания цемента. Однако широкомасштабное применение цемента в качестве вяжущего без введения дополнительных добавок ограничивается его высоким расходом и низкими показателями водо- и морозостойкости.

Согласно рекомендациям завода-производителя введение добавки-модификатора ДорЦем ДС-1 производится в количестве 6 % от массы цемента, что приводит к снижению вводимого вяжущего при сохранении требуемых физико-механических показателей. Данные утверждения были проверены в лабораторных условиях, образцы укрепленного грунта изготавливались и испытывались в соответствии с требованиями ГОСТ 23558-94 (табл. 2).

Таблица 2

Зависимость физико-механических свойств грунтобетона (грунт+цемент+модификатор) от количества цемента

№ п/п	Цемент, %	Наименование показателя		
		средняя плотность, кг/м ³	предел прочности при сжатии, МПа	марка по морозостойкости
1.	1,5	2220	1,7	F20
2.	2	2230	1,9	F20
3.	2,5	2240	2,4	F25
4.	3	2250	2,7	F25
5.	3,5	2260	3,0	F25

Полученные результаты свидетельствуют об увеличении средней плотности, прочности при сжатии и марки по морозостойкости образцов при увеличении процентного соотношения цемента. Результаты испытаний укрепленного материала соответствуют требованиям ГОСТ 23558-94 к марке М20 (уже при введении 2,5 % цемента в смесь параллельно с введением модификатора), что является достаточным для устройства укрепленного материала в качестве основания автомобильной дороги на переходных типах покрытия по ГОСТ 23558–94.

Таким образом, тенденция роста анализируемых показателей для данного состава схожа с

тенденцией, прослеживаемой в «чисто» цементных составах (табл. 1), однако следует отметить возможность снижения содержания цемента в смеси при равнопрочных показателях укрепленного материала (рис. 2). Сравнение показателей прочности образцов грунтобетона (табл. 1 и 2) доказывает увеличение прочностных характеристик у образцов с применением модификатора более чем на 20,0 % по сравнению с образцами, укрепленных цементом по традиционной технологии при равном содержании вяжущего компонента. Также следует отметить наибольший прирост прочности при введении 2,5 % цемента по сравнению с относительно минимальным коли-

чеством добавляемого цемента – 1,5 %. При последующем введении цемента с шагом 0,5 % темпы роста прочности несколько замедляются.

Введение модификатора в смесь также увеличило морозостойкость полученного материала. Однако, с увеличением количества цемента и мо-

дификатора прироста показателя морозостойкости не произошло. Возможно, причина этого явления состоит в том, что достигается минимальная пористость смеси, влияющая на морозостойкость композита за счет тонкодисперсных материалов (цемента и модификатора).

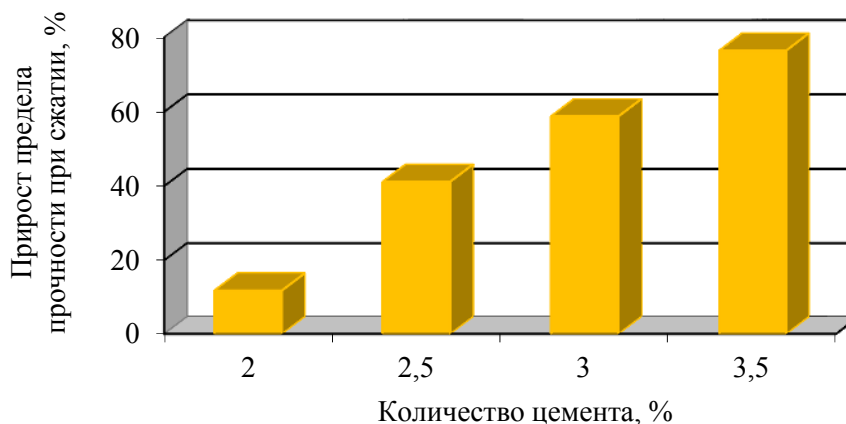


Рис. 3. Динамика изменения предела прочности при сжатии образцов в проектном возрасте в зависимости от содержания цемента в составе грунтобетона с учетом введения модификатора

Установлено, что образцы техногенного грунта, укрепленные цементом совместно с модификатором Дорцем ДС-1, обладают высокими показателями прочности и плотности, плотность образцов по сравнению с «чисто» цементными составами выше при аналогичном содержании вяжущего компонента. Это обеспечит необходимую прочность конструктивного слоя основания, что будет способствовать улучшению несущей способности конструкции дорожной одежды в целом. Однако применение данной технологии укрепления имеет определенные недостатки, свойственные порошкообразным добавкам к цементу. Большинство дорожно-строительных организаций не располагает парком оборудования с синхронным распределением цемента и добавок, поэтому происходит поэтапное распределение, сначала цемента, потом добавка. Потери вяжущего от колес спецтехники и ветреная погода способствуют возникновению больших потерь при распределении. Все это стало причиной для разработок комплексного вяжущего, изготовленного совместно с добавками в заводских условиях. Данное направление активно развивается за рубежом [22], однако и в Российской Федерации был создан материал, отвечающий данным требованиям – комплексное вяжущее «БелДорЦем» [20].

Анализ результатов по оценке физико-механических свойств грунтобетонных образцов, полученных при укреплении техногенного грунта комплексным вяжущим (табл. 3) показал, что замена цемента на «БелДорЦем» приводит к планомерному и пропорциональному росту прочности при

увеличении содержания комплексного вяжущего в составе смеси. Введение комплексного вяжущего позволяет грунтобетону на основе техногенного грунта достичь марки по прочности М20 уже при введении 2 % вяжущего, что является достаточным для устройства укрепленного материала в качестве основания автомобильной дороги на переходных типах покрытия по ГОСТ 23558–94. Однако в качестве оптимального следует выделить состав №3 (2,5 % вяжущего).

Результаты испытаний образцов, укрепленных комплексным вяжущим (табл. 3) по прочности и морозостойкости схожи с результатами испытаний образцов, укрепленных цементом совместно с модификатором ДорЦем ДС-1 (табл. 2).

Сравнение показателей прочности образцов грунтобетонных различных составов (табл. 1–3) доказывает увеличение прочностных характеристик и показателей плотности у образцов с применением модификатора и комплексного вяжущего по сравнению с образцами, укрепленных цементом по традиционной технологии при равном содержании вяжущего компонента, также следует отметить схожие показатели при следующем содержании вяжущих (цемент+ДорЦем = БелДорЦем). Видимо, это связано с тем, что модификатор «ДорЦем-ДС-1» является добавкой «активирующей» свойства цемента, а в составе комплексного вяжущего «БелДорЦем» все компоненты уже рационально дозированы. Однако с точки зрения технологичности дорожно-строительных работ по укреплению техногенного грунта предпочтительным является применение комплексного вяжущего.

Таблица 3

Зависимость средней плотности и прочности при сжатии от количества вяжущего в составе грунтобетона (грунт+комплексное вяжущее)

№ п/п	Комплексное вяжущее, %	Наименование показателя		
		средняя плотность, кг/м ³	предел прочности при сжатии, МПа	марка по морозостойкости
1.	1,5	2230	1,8	F20
2.	2	2240	2,0	F20
3.	2,5	2250	2,5	F25
4.	3	2260	2,9	F25
5.	3,5	2270	3,2	F25

Согласно полученным данным, следует сделать вывод о перспективности данной технологии согласно следующим аспектам:

1. Общедоступность применения технологии;
2. Физико-механические характеристики соответствуют требованиям ГОСТ 23588-94;
3. Прочностные характеристики выше при снижении расхода цемента.

Учитывая тот факт, что техногенный грунт содержит продукты повторного использования

асфальтобетона, для рациональных составов была проведена проверка характеристик полученных материалов на соответствие ОДМ 218.2.022-2012.

Анализ полученных результатов рациональных составов грунтобетонов (табл. 4) показывает полное соответствие данных всем требуемым характеристикам материала согласно ОДМ 218.2.022-2012.

Таблица 4

Физико-механические показатели грунтобетона различных составов

№ п/п	Наименование показателя	Требования ОДМ 218.2.022-2012 к I-II/III-IV категориям а/д	Состав № 3	
			(по табл. 2)	(по табл. 3)
1	Предел прочности при сжатии, МПа, при температуре 20 °С в возрасте 7 суток	Не менее 2,0/2,0	4,2	3,6
2	Предел прочности при сжатии, МПа, при температуре 50 °С в возрасте 7 суток	Не менее 0,8/0,7	1,6	1,5
3	Коэффициент водостойкости	Не менее 0,7/0,6	0,95	1,00
4	Водонасыщение, % по объему	Не более 10/12	4,0	4,3

Таким образом, применение грунтобетонов позволит улучшить эксплуатационные показатели дорожной одежды, увеличить ее несущую способность, что особо актуально в связи с возросшими показателями интенсивности дорожного движения, а также снизить экологический прессинг в регионе путем вторичного применения техногенных материалов.

Выводы

1. Показано, что укрепление техногенного грунта цементом совместно с модификатором ДорЦем ДС-1 либо замена цемента на комплексное вяжущее БелДорЦем позволяет повысить прочность, водо- и морозостойкость грунтобетона на 30, 20 и 60 % соответственно, при снижении расхода цемента.

2. Установлено, что физико-механические показатели грунтобетона, с учетом использования в качестве укрепляемого грунта сфрезерованного асфальтогранулята, в составе которого содержится до 5,5 % битума, соответствуют требованиям ОДМ 218.2.022-2012 к I-IV категориям автомобильных дорог.

Источник финансирования. Грант Президента для научных школ НШ-2724.2018.8.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дорожное хозяйство России. Цифры и факты: справ.: М.: Минтранс России. Фед. дор. агентство. 2010. С. 18–26.
2. О нормативах финансовых затрат и Правилах расчета размера бюджетных ассигнований федерального бюджета на капитальный ремонт, ремонт и содержание автомобильных дорог федерального значения: постановление Правительства от 30 мая 2017 г. № 658 // Собрание законодательства РФ. М., 2017. № 23. Ст. 354.
3. Solanki P., Zaman M. Microstructural and mineralogical characterization of clay stabilized using calcium-based stabilizers // Scanning electron microscopy. 2012. № 38. Pp. 771–798.
4. Егоров Г.В., Андреева А.В., Буренина О.Н. Укрепление местных грунтов стабилизатором при строительстве автомобильных дорог в условиях Севера // Дороги и мосты. 2013. № 1(29). С. 21–28.

5. Строкова В.В., Карацупа С.В., Лютенко А.О. Грунтобетоны на основе техногенного сырья КМА для строительства автомобильных дорог : монография. Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2006. 172 с.

6. Панков П.П. и др. Применение комплексного метода стабилизации грунта для получения дорожных грунтобетонов // Сб. статей Международной научной конференции «Технические и естественные науки». Санкт-Петербург, 27-31 октября 2018 г. Санкт-Петербург: Изд-во ГНИИ «Нацразвитие», 2018. С. 192–193.

7. Balaguera A., Carvajal G.I., Arias Y.P., Alberti J., Fullana-i-Palmer P. Technical feasibility and life cycle assessment of an industrial waste as stabilizing product for unpaved roads, and influence of packaging // Science of The Total environment. Vol. 651, P. 1. Pp. 1272–1282.

8. Дмитриева Т.В., Строкова В.В., Безродных А.А. Влияние генетических особенностей грунтов на свойства грунтобетонов на их основе // Строительные материалы и изделия. 2018. Том 1. №1. С. 69–77.

9. Kushwaha S.S., Kishan D., Dindorkar N. Stabilization of Expansive Soil Using Eko Soil Enzyme For Highway Embankment // Materialstoday: proceedings. Vol. 5, Iss. 9. Pp. 19667–19679.

10. Chen Y., Liang W., Li Y., Wu Y., Chen Y., Xiao W., Zhao Li, Zhang J., Hue Li. Modification, application and reaction mechanisms of nano-sized iron sulfide particles for pollutant removal from soil and water: A review // Chemical Engineering Journal. Vol. 362. 15 April 2019. Pp. 144–159. 15 April 2019. Pp. 144–159.

11. Rimal S., Poudel R.K., Gautam D. Experimental study on properties of natural soils treated with cement kiln dust // Case Studies in Construction Materials. Vol. 10. June 2019. e00223.

12. Свириденко М.В., Федорова В.С. Способы регенерации дорожных одежд // Материалы 57-й студенческой научно-технической конференции инженерно-строительного института ТОГУ (17-27 апреля 2017 г.). Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2017. С. 256–260.

13. Прокопец В.С., Филатов С.Ф., Иванова Т.Л., Тарасова М.В., Поморова Л.В. Восстановление асфальтобетонных покрытий методом холод-

ного ресайклинга и добавками химических веществ // Башкирский химический журнал. 2006. Том 13. №5. С. 61–65.

14. Дмитриева Т.В., Безродных А.А., Куцына Н.П. К вопросу о терминологии при разработке грунтобетонных оснований автомобильных дорог // Сб. научных трудов Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова «Наукоемкие технологии и инновации» (XXIII научные чтения). Белгород: Изд-во БГТУ, 2019. (в печати)

15. Строкова В.В., Щеглов А.Ф. Грунтобетоны на основе глинистых пород КМА для дорожного строительства. Изд-во БГТУ им В.Г. Шухова, 2003. 152 с.

16. Курдюков Р.П., Курдюков Д.П., Мануковский А.Ю. Регенерация асфальтобетонного покрытия // Сборник научных трудов по итогам международной научно-технической интернет-конференции «Леса России в XXI веке» (26 ноября 2015 г.). Санкт-Петербург, 2015. С. 130–135.

17. Семенова Т.В., Долгих Г.В., Полугородник Б.Н. Применение Калифорнийского числа несущей способности и динамического конусного пенетromетра для оценки качества уплотнения грунтов // Вестник СибАДИ, 2014. №1. С. 59–66.

18. Александрова Н.П., Троценко Н.А. Применение измерителя жесткости грунта Geogauge для оценки качества уплотнения при операционном контроле // Вестник СибАДИ. 2014. №3. С. 40–47.

19. ТУ 2499-001-30130102-2010. Модификатор «ДорЦем ДС-1». Технические условия. Введ. в дейст. 27.07.2010. Введ. впервые. М. 2010. 11 с.

20. ТУ 23.64.10-001-28538178-2019. Комплексное вяжущее «БелДорЦем». Технические условия. Введ. в дейст. 04.02.2019. Введ. впервые. Белгород. 2019. 10 с.

21. Кочеткова Р.Г. Современные методы улучшения свойств глинистых грунтов вяжущими и добавками: монография. Москва: Изд-во МАДИ, 2014. 132 с.

22. Du Ch., Yang G., Zhang T., Yang Q. Miltiscale study of the influence of promoters on low-plasticity clay stabilized with cement-based composites // Construction and Building Materials. Vol. 213. 20 July 2019. Pp. 537–548.

Информация об авторах

Дмитриева Татьяна Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и технологии материалов. E-mail: tdmtrieva-bel@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Куцына Наталья Петровна, кандидат технических наук, начальник отдела лабораторного контроля. E-mail: nat-kuts@yandex.ru. ОГКУ «Управление дорожного хозяйства и транспорта Белгородской области». Россия, 308000, Белгород, ул. Преображенская, д. 19.

Безродных Андрей Александрович, аспирант кафедры материаловедения и технологии материалов. E-mail: tdmitrieva-bel@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

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

Маркова Ирина Юрьевна, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры материаловедения и технологии материалов. E-mail: irishka-31.90@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в мае 2019 г.

© Дмитриева Т.В., Куцына Н.П., Безродных А.А., Строкова В.В., Маркова И.Ю., 2019

^{1,*}*Dmitrieva T.V., ²Kutsyna N.P., ¹Bezrodnykh A.A., ¹Strokova V.V., ¹Markova I.Yu.*

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

²*Regional state governmental institution «Management of road facilities
and transport of the Belgorod region»*

Russia, 308000, Belgorod, Preobrazhenskaja st.t, 19

**E-mail: tdmitrieva-bel@yandex.ru*

EFFICIENCY OF REINFORCEMENT OF TECHNOLOGICAL SOIL BY MINERAL MODIFIERS

Abstract. The paper discusses the main aspects of soil reinforcement in road construction by adding a binder component to them. The use of this technology allows to solve the problem of high-quality raw materials shortage while improving the physicomechanical characteristics or keeping them at the same level, as well as to increase labor productivity and reduce production costs. The technogenic raw materials for the production of soil concrete were studied, the main physicomechanical characteristics and requirements that must be taken into account when selecting the composition of the soil concrete mixture were analyzed. The paper compares the physicomechanical characteristics of the road composite, reveals the advantages and disadvantages of introducing binder components of various types: cement, cement with modifier and a complex binder. It has been established that the introduction of a complex binder or cement with modifier contributes to the improvement of the physicomechanical characteristics while reducing the consumption of cement in the composition of the soil-concrete mixture compared to traditional soil-concrete with cement.

Keywords: road construction, soil reinforcement, technogenic soil, cement, modifier, complex binder.

REFERENCES

1. Road economy of Russia. Figures and facts: Ref [Dorozhnoe hozyajstvo Rossii. Cifry i fakty: spravochnik]. Moscow: Ministry of Transport of Russia. Federal road agency. 2010. Pp. 18–26. (rus)

2. On the standards of financial expenses and the Rules for calculating the size of budget allocations of the federal budget for the capital repair, repair and maintenance of highways of federal significance: Government Decree № 658 dated May 30, 2017 [O normativah finansovyh ztrat i Pravilah rascheta razmera byudzhethnyh assignovaniy federal'nogo byudzheta na kapital'nyj remont, remont i sodержание avtomobil'nyh dorog federal'nogo znacheniya: postanovlenie Pravitel'stva ot 30 maya 2017 g. № 658]. Collection of the legislation of the Russian Federation. M.: 2017. No. 23. Article 354. (rus)

3. Solanki P. Zaman M. Microstructural and mineralogical characterization of clay stabilized using calcium-based stabilizers. Scanning electron microscopy. 2012. No. 38. Pp. 771–798.

4. Egorov G.V., Andreeva A.V., Burenina O.N. Reinforcement of local soils with a stabilizer during the construction of roads in the North [Ukreplenie mestnyh gruntov stabilizatorom pri stroitel'stve avtomobil'nyh dorog v usloviyah Severa]. Roads and bridges. 2013. No. 1 (29). Pp. 21–28. (rus)

5. Strokova V.V., Karatsupa S.V., Lyutenko A.O. Concrete based on technogenic raw materials of KMA for the construction of roads: a monograph [Gruntobetony na osnove tekhnogennogo syr'ya KMA dlya stroitel'stva avtomobil'nyh dorog: monografiya]. Belgorod: Publishing House of BSTU named after V.G. Shukhov, 2006. 172 p. (rus)

6. Pankov P.P. et al. Application of the complex method of soil stabilization for the production of road soil concretes [Primenenie kompleksnogo metoda stabilizacii grunta dlya polucheniya dorozhnyh

gruntobetonov]. Collected papers of the International Scientific Conference "Technical and Natural Sciences". St. Petersburg, October 27-31, 2018. St. Petersburg: Publishing House of the National Academic Research Institute "National Development", 2018. Pp. 192–193. (rus)

7. Balaguera A., Carvajal G.I., Arias Y.P., Alberti J., Fullana-i-Palmer P. Technical feasibility and life cycle assessment of an industrial waste as stabilizing product for unpaved roads, and influence of packaging. *Science of the Total environment*. Vol. 651, P. 1. Pp. 1272–1282.

8. Dmitrieva T.V., Strokov V.V., Bezrodnykh A.A. Influence of the genetic features of soils on the properties of soil-concretes on their basis [*Vliyanie geneticheskikh osobennostej gruntov na svoystva gruntobetonov na ih osnove*]. *Construction Materials and Products*. 2018. Vol. 1. Iss. 1. Pp. 69–77.

9. Kushwaha S.S., Kishan D., Dindorkar N. Stabilization of Expansive Soil Using Eko Soil Enzyme For Highway Embankment. *Materials today: proceedings*. Vol. 5. Is. 9. Pp. 19667–19679.

10. Chen Y., Liang W., Li Y., Wu Y., Chen Y., Xiao W., Zhao Li, Zhang J., Hue Li. Modification, application and reaction mechanisms of nano-sized iron sulfide particles for pollutant removal from soil and water: A review. *Chemical Engineering Journal*. Vol. 362. 15 April 2019. Pp. 144–159.

11. Rimal S., Poudel R.K., Gautam D. Experimental study on properties of natural soils treated with cement kiln dust. *Case Studies in Construction Materials*. Vol. 10. June 2019. e00223.

12. Sviridenko M.V., Fedorova V.S. Ways of pavement regeneration [*Sposoby regeneracii dorozhnyh odezhd*]. *Proceedings of the 57th Student Scientific and Technical Conference of the Engineering and Construction Institute of Pacific National University* (April 17-27, 2017). Khabarovsk: Pacific National University, 2017. Pp. 256–260. (rus)

13. Prokopets V.S., Filatov S.F., Ivanova T.L., Tarasova M.V., Pomorova L.V. Restoration of asphalt concrete pavements by cold recycling and chemical additives [*Vosstanovlenie asfal'tobetonnykh pokrytij metodom holodnogo resajklinga i dobavkami himicheskikh veshchestv*]. *Bashkir Chemical Journal*. 2006. Vol. 13. No. 5. Pp. 61–65. (rus)

14. Dmitrieva T.V., Bezrodnykh A.A., Kutsyna N.P. To the question of terminology in the development of soil-concrete basements of highways [*K voprosu o terminologii pri razrabotke gruntobetonnykh osnovanij avtomobil'nykh dorog*]. *Proceedings of scientific papers of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 65th anniversary of BSTU named after V.G. Shukhov "High*

Technologies and Innovations" (XXIII scientific readings). Belgorod: publishing house of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019. (in print). (rus)

15. Strokov V.V., Shcheglov A.F. Soil-concretes on the basis of clay rocks of KMA for road construction: Monograph [*Gruntobeton na osnove glinistykh porod KMA dlya dorozhnogo stroitel'stva: Monografiya*]. Belgorod: Publishing House of the BSTU named after V.G. Shukhov, 2003, 152 p. (rus)

16. Kurdyukov R.P., Kurdyukov D.P., Manukovsky A.Yu. Regeneration of asphalt concrete pavement [*Regeneraciya asfal'tobetonnoy pokryt'ya*]. *Collection of scientific papers on the basis of the international scientific and technical Internet conference "Forests of Russia in the XXI century"* (November 26, 2015). St. Petersburg, 2015. Pp. 130–135. (rus)

17. Semenova T.V., Dolgikh G.V., Polugorodnik B.N. The use of the California bearing ratio and dynamic cone penetrometer for assessing the quality of compaction of soils [*Primenenie Kalifornijskogo chisla nesushchej sposobnosti i dinamicheskogo konusnogo penetrometra dlya ocenki kachestva uplotneniya gruntov*]. *Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2014. No. 1. Pp. 59–66. (rus)

18. Alexandrova N.P., Trotsenko N.A. The use of the Geogauge soil stiffness tester for evaluating the quality of compaction during operational control [*Primenenie izmeritelya zhestkosti grunta Geogauge dlya ocenki kachestva uplotneniya pri operacionnom kontrole*]. *Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2014. No. 3. Pp. 40–47. (rus)

19. TC 2499-001-30130102-2010. Modifier "DorTsem DS-1." Technical conditions [*Modifikator «DorCem DS-1». Tekhnicheskie usloviya*]. Entered into action 27.07.2010. Entered firstly. M. 2010. 11 p. (rus)

20. TC 23.64.10-001-28538178-2019. Complex binder "Beldortsem". Technical conditions [*Kompleksnoe vyazhushchee «BelDorCem». Tekhnicheskie usloviya*]. Entered into action 04.02.2019. Entered firstly Belgorod. 2019. 10 p. (rus)

21. Kochetkova R.G. Modern methods of improving the properties of clay soils with binders and additives: monograph [*Sovremennye metody uluchsheniya svoystv glinistykh gruntov vyazhushchimi i dobavkami: monografiya*]. M.: Publishing House of MADI, 2014. 132 p. (rus)

22. Du Ch., Yang G., Zhang T., Yang Q. Multiscale study of the influence of promoters on low-plasticity clay stabilized with cement-based composites. *Construction and Building Materials*. Vol. 213. 20 July 2019. Pp. 537–548.

Information about the authors

Dmitrieva, Tatiana V. PhD. E-mail: tdmtrieva-bel@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Kutsyna, Natalia P. PhD. E-mail: nat-kuts@yandex.ru. RSSI "Management of road facilities and transport Belgorod region». Russia, 308000, Belgorod, st. Preobragenskaya, 19.

Bezrodnykh, Andrey A. Postgraduate student. E-mail: tdmtrieva-bel@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

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

Markova, Irina Y. PhD. E-mail: irishka-31.90@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in May 2019

Для цитирования:

Дмитриева Т.В., Куцына Н.П., Безродных А.А., Строкова В.В., Маркова И.Ю. Эффективность укрепления техногенного грунта минеральными модификаторами // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 7. С. 14–23. DOI: 10.34031/article_5d14bdcc8eca43.21244159

For citation:

Dmitrieva T.V., Kutsyna N.P., Bezrodnykh A.A., Strokova V.V., Markova I.Yu. Efficiency of reinforcement of technological soil by mineral modifiers. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 7. Pp. 14–23. DOI: 10.34031/article_5d14bdcc8eca43.21244159

DOI: 10.34031/article_5d35d0b7694ea7.79490804

^{1,*}Саямова К.Д., ¹Турдикулов Х.Х., ²Мифтахова И.Р.¹Институт механики и сейсмостойкости сооружений АН РУ
Узбекистан, 185100, г. Ташкент, Академгородок, ул.Дурмон йули, 33²АО «Гидропроект»

Узбекистан, 100000, г. Ташкент, ул.Бабура, 20

*E-mail: klara_51@mail.ru

РАСЧЕТ ВЫСОКОЙ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ С УЧЕТОМ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПОРОВОГО ДАВЛЕНИЯ (С УЧЕТОМ ДАННЫХ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ)

Аннотация. В связи с широкомасштабным проектированием, строительством и эксплуатацией грунтовых гидротехнических сооружений (грунтовых плотин) в республике Узбекистан, которая является сейсмической зоной, перед исследователями ставится задача постоянного усовершенствования методов их расчета на основные нагрузки (силы гравитации, гидростатика), как предусмотрено нормами проектирования. Аварии или повреждения водоподпорных сооружений (грунтовых плотин) может привести к катастрофическим последствиям. На основе разработанного комплекса прикладных программ произведен статический расчет плоских моделей грунтовых плотин на жестком и податливом основании, с учетом конструктивной неоднородности под действием собственного веса и гидростатического давления на верховой откос. При расчете использована конечно-элементная дискретизация моделей. Достоверность и сходимость получаемых результатов показана на тестовом примере. Численные расчеты проведены на примере Чарвакской грунтовой плотины. На основе разработанных программ проведены расчеты и исследовано влияние податливости основания на напряженно-деформированное состояние грунтовой плотины под собственным весом. Исследования напряженно-деформированного состояния грунтового сооружения выявили нарушение прочности в центральной части неоднородной грунтовой плотины вблизи ядра и примыкающих к нему зонах (эффект зависания), на части поверхности и у подножия боковых откосов, независимо от податливости основания.

Выявлено, что рассеивание порового давления в глинистом ядре каменно-земляной плотины Чарвакской ГЭС происходит очень медленно, что может способствовать формированию в теле плотины неблагоприятного напряженно-деформированного состояния, изменяющегося во времени.

Ключевые слова: Каменно-земляная плотина, ядро плотины, напряжение, поровое давление, данные натурных наблюдений, Чарвакская грунтовая плотина.

Введение. Проектирование высоких плотин – (Пскемской высотой 200 м), строительство (Рогунской высотой 336 м) и эксплуатация высоких плотин – какими являются Нурекская высота 300 м, Туполангская высота 180 м, Чарвакская высота 168 м, Гиссаракская высотой 138 м создает повышенную опасность для нижних бьефов гидроузлов. Проектирование и строительство таких плотин также требует внимания к длительным процессам, происходящим в их теле и влияющим на качество строительства [1]. Так, известны катастрофы, имевшие место при разрушении арочной плотины Мальпассе во Франции или при оползне в водохранилище арочной плотины Вайонт в Италии, разрушении земляной плотины Титон в США. В недавнем прошлом в 2017 г. была паника в Калифорнии (США) при появлении угрозы разрушения плотины Оровилл, из поселений вблизи плотины было эвакуировано более 200 000 жителей. Всё это говорит о необходимости выполнения требований безопасности плотин и в том числе безопасности грунтовых плотин.

Натурные наблюдения за грунтовыми плотинами проводятся для анализа работоспособности сооружений. Сопоставлением расчётов – фильтрации, порового давления в материале ядра, осадки, смещения с натурными наблюдениями по этим параметрам в плотине оценивается качество возведения плотины.

Сопоставление результатов натурных наблюдений и проведенных расчетов позволяет усовершенствовать расчетную методику, вносить в нее изменения, а также составлять прогнозные модели для анализа поведения гидротехнического сооружения во времени.

Натурными наблюдениями за фильтрацией, поровым давлением, осадками и смещением плотины с ядром (высокими) стали заниматься в период строительства грунтовых плотин после пятидесятих годов прошлого века. Публикации следующих авторов, бывшего СССР связаны с натурными данными за осадками в плотинах и поровым давлением. Среди них можно отметить работы: Анискина Н.А. [2, 3], Леднева М.Н. [4], Никитина В.П. [5].

В этих работах констатируется, что натурные данные высоких и сверхвысоких каменно-земляных плотин, такие как осадки, горизонтальные смещения, напряжения, поровое давление, сравнительно редки. Приводятся осадки и горизонтальные смещения за 40 лет на самой высокой в мире Нурекской плотине, анализируется обзор публикаций, посвящённых натурным наблюдениям за плотинами и сопоставлены результаты с натурными данными Нурекской ГЭС для оценки качества возведения плотины по сравнению с другими плотинами, построенными в бывшем СССР и за рубежом.

Целью настоящей работы в целях безопасной и устойчивой работы грунтовой плотины является сопоставление результатов численного расчета напряженного состояния грунтовой плотины с ядром при основных нагрузках (силы гравитации, гидростатическое давление) с данными натурных наблюдений по поровому давлению. Численный расчет произведен методом конечных элементов в плоской упругой постановке. В качестве примера расчета выбрана высокая Чарвакская грунтовая плотина. Результаты решения задачи напряженного состояния сравнены с данными натурных наблюдений по поровому давлению в ядре плотины. Исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) массивного грунтового сооружения – грунтовой плотины при

основных нагрузках должно сочетать в себе учет конструкционной неоднородности и податливости основания. Кроме того, являясь элементом гидротехнического узла, плотина испытывает и значительное гидростатическое давление.

Предварительно проверялась достоверность и сходимости результатов решения статической задачи о напряженно-деформированном состоянии плоской модели Чарвакской плотины с учетом собственного веса при различной степени дискретизации.

Постановка задачи. Рассматривается плоско-деформируемая модель (поперечное сечение) грунтовой плотины, находящейся на упругом основании. Сооружение рассматривается при статическом (собственный вес, гидростатическое давление воды) нагружении. Учитывается неоднородный состав грунта тела плотины (наличие ядра).

Для расчета такой модели используется численный метод конечных элементов, основанный на вариационном принципе возможных перемещений, а при динамике – совместно с принципом Даламбера.

Для исследования напряженно-деформированного состояния модели «плотина – основание» под собственным весом применяется вариационное уравнение [6–8]

$$\delta A = \delta A_\sigma + \delta A_p + \delta A_r = - \int_V \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV + \int_V \rho g \delta v dV + \int_S \gamma \delta v dS = 0 \quad (1)$$

Интегралы, входящие в (1) представляют: первый – работа сил упругости, второй – массовых сил (ρg) и третий – гидростатическое давление на поверхность верхового откоса.

В отсутствии гидростатики поверхность боковых откосов и гребень плотины – свободны от нагрузок, тогда статические граничные условия на этих поверхностях представляются в виде

$$\sigma_{ij} n_j = 0, \quad (2)$$

где n – вектор нормали к поверхности.

Учет же гидростатики на поверхности верхового откоса плотины, находящейся в однородной несжимаемой жидкости водохранилища, сводится к заданию на поверхности откоса давления, линейно возрастающего с глубиной

$$p = \rho g z, \quad (3)$$

где z – глубина, отсчитываемая от свободной поверхности воды; g – ускорение свободного падения.

Граничные условия на нижней границе основания – жесткие, что выражается в отсутствии

здесь горизонтальных и вертикальных возможных перемещений:

$$y=0: \quad \delta u|_{y=0}=0; \quad \delta v|_{y=0}=0. \quad (4)$$

На шарнирно-подвижных (в вертикальном направлении) боковых границах основания не допускаются горизонтальные перемещения контурных точек (только вертикальные). Граничные условия здесь будут:

$$\begin{aligned} \delta u|_{x=0}=0 \quad \delta v|_{x=0} \neq 0; \\ \delta u|_{x=l}=0 \quad \delta v|_{x=l} \neq 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Для получения разрешающей системы уравнений в ходе конечно-элементной дискретизации элементы объединяются в узловых точках, перемещения которых является решением вариационного уравнения (1), реализующим экстремум (минимум) функционала работы. Полученная при этом разрешающая система уравнений имеет вид

$$[K]\{u\} = [M]\{g\} + \{P\} \quad (6)$$

где $[K]$, $[M]$ – матрицы жесткости и массы всей модели, формирующаяся из матриц жесткости

отдельных элементов; $\{u\}$ – искомый вектор узловых перемещений; g – ускорение свободного падения ($g=9,8$ м/с²); вектор $\{P\}$ – вектор нагрузки, вызванной гидростатическим давлением на верховой откос.

Методология. Согласно разработанной методике и алгоритмов решения задач численным методом (методом конечных элементов) по полученным в ходе решения системы (6) перемещениям $\{u\}$ узловых точек модели, определяются с использованием аппроксимирующих функций, перемещения внутри каждого элемента, а затем деформации в элементах – при помощи уравнений Коши [6–8].

В ходе решения системы линейных алгебраических уравнений (6) методом Гаусса определяется вектор узловых перемещений $\{u\}$, затем по

ним деформации и, наконец, компоненты напряжений в элементах модели плотины и основания.

Основная часть. Проверяться сходимость решения задачи при различной степени дискретизации модели на примере Чарвакской плотины (табл. 1).

Размеры плотины в расчетах принимались: высота – 168 м; коэффициенты заложения откосов 2,2, ядра – 0,2. Физико-механические параметры грунта призм $E=3500$ МПа, плотность $\rho=1800$ кг/м³; коэффициент Пуассона $\mu=0,3$. Параметры грунта ядра: $E=3000$ МПа, плотность $\rho=1700$ кг/м³; коэффициент Пуассона $\mu=0,3$, коэффициенты наклона 0,2. Учитываемая глубина основания $h=30$ м, физико-механические параметры грунта, такие же, как в откосах.

Таблица 1

Сходимость вертикальных напряжений σ_y при различном числе разбиений

№ изобар	Количество разбиений модели по высоте, N					
	4	11	17	21	31	41
$\sigma_{\min}$	-0,335	-0,335	-0,335	-0,335	-0,335	-0,335
1	-0,507	-0,344	-0,316	-0,297	-0,277	-0,27
2	-0,679	-0,572	-0,557	-0,544	-0,531	-0,527
3	-0,851	-0,799	-0,799	-0,790	-0,784	-0,784
4	-1,02	-1,03	-1,04	-1,04	-1,04	-1,04
5	-1,19	-1,25	-1,28	-1,28	-1,29	-1,30
6	-1,37	-1,48	-1,52	-1,53	-1,55	-1,56
7	-1,54	-1,71	-1,76	-1,78	-1,80	-1,81
8	-1,71	-1,94	-2,00	-2,02	-2,05	-2,07
9	-1,88	-2,16	-2,24	-2,27	-2,31	-2,33
$\sigma_{\max}$	-2,05	-2,05	-2,48	-2,48	-2,48	-2,48

Представленные в табл. 1 значения вертикальных напряжений на соответствующих изобарах, их максимальные и минимальные значения при различном числе разбиений (построчно) наглядно демонстрируют процесс сходимости решения.

По описанной процедуре метода конечных элементов были произведены расчеты напряженно-деформированного состояния Чарвакской плотины и исследовано влияние учета основания

на компоненты напряжений и запас прочности в откосах и теле плотины при основных статических нагрузках от веса и гидростатики.

Результаты представлены на рис. 1–5, где одинаковыми цифрами обозначены изолинии с одинаковыми значениями соответствующих компонент напряженно-деформированного состояния плотины на жестком (а) и податливом (б) основании.

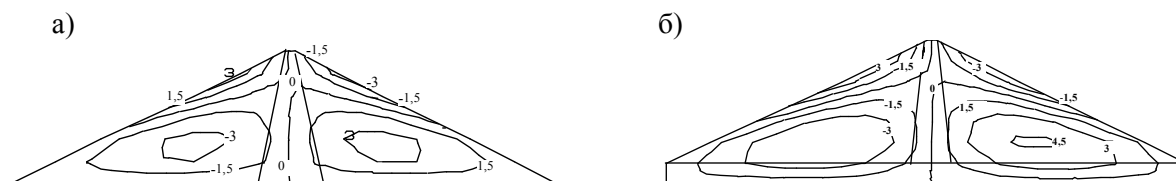
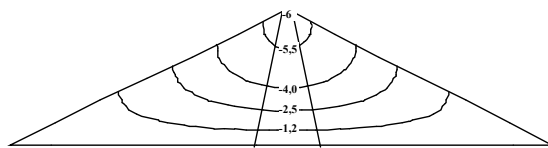


Рис. 1. Изолинии горизонтальных перемещений плотины на жестком (а) и податливом (б) основании под собственным весом, мм

Распределение изолиний горизонтальных перемещений показывает, что центральная ось плотины под собственным весом - вертикальна (по центру горизонтальные перемещения отсутствуют), а наибольшие горизонтальные смещения

(± 3 мм) наблюдаются в верхних частях верхового и низового откосов. Максимальные горизонтальные смещения составляют здесь всего 3–4 мм. При этом влияние податливости основания незначительно.

а)



б)

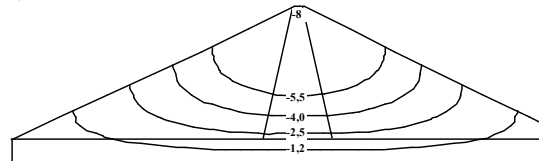


Рис. 2. Изолинии вертикальных перемещений плотины на жестком (а) и податливом (б) основании под влиянием собственного веса, см

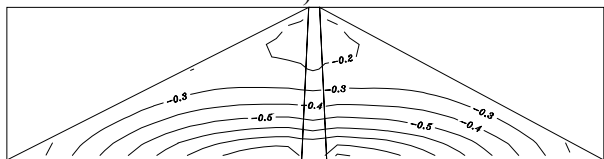
Вертикальные перемещения (рис. 2) сооружения под собственным весом на порядок превышают горизонтальные и достигают максимальных значений (около 6 см) на гребне плотины, а с учетом податливости основания просадка плотины увеличивается до 8 см.

Полученные горизонтальные (рис. 1) и вертикальные (рис. 2) перемещения плотины указывают, что сооружение под собственным весом сплющивается (гребень опускается, откосы выпучиваются), о чем свидетельствуют значительные вертикальные перемещения гребня и различные знаки горизонтальных перемещений левой и

правой частей сооружения (рис. 1, 2). Причем, в основном, такая деформация (горизонтальное растяжение) наблюдается в верхней трети сооружения, что может привести здесь к потере прочности.

Компоненты напряженного состояния – нормальные горизонтальные, вертикальные и касательные напряжения в теле плотины, находящейся под собственным весом, показаны на рис. 3–5. Значения напряжений на изолиниях даны в размерности МПа.

а)



б)

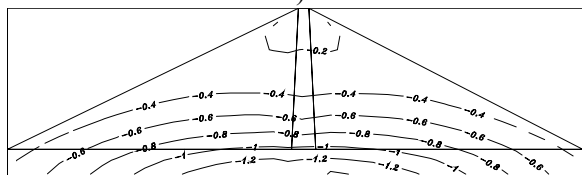
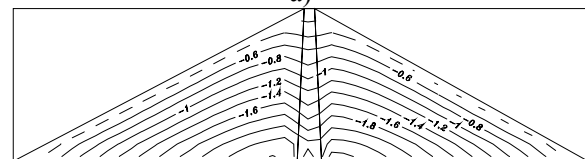


Рис. 3. Распределение изолиний горизонтальных напряжений в плотине на жестком (а) и податливом (б) основании под собственным весом, МПа

а)



б)

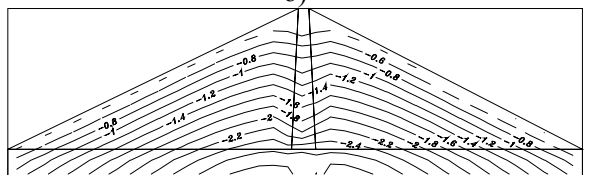
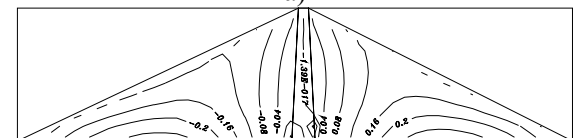


Рис. 4. Изолинии вертикальных напряжений в плотине на жестком (а) и податливом (б) основании под собственным весом, МПа.

а)



б)

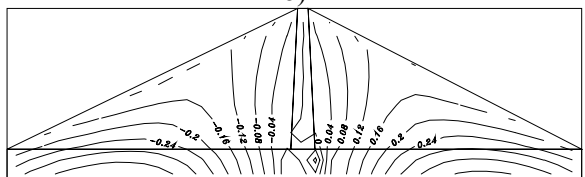


Рис. 5. Изолинии касательных напряжений в плотине на жестком (а) и податливом (б) основании под собственным весом, МПа

Распределение компонент перемещений (рис. 1–2) и напряжений (рис. 3–5) плоского симметричного сооружения на жестком (а) и подат-

ливом (б) основании, находящегося под действием симметричной – относительно вертикальной оси – нагрузки (собственного веса) также симметричны и по характеру совпадает с ранее

полученными [9, 10], что свидетельствует о достоверности полученных результатов. Податливое основание, являющееся естественным продолжением сооружения, воспринимает на себя напряжения, превосходящие напряжения верхней части. В теле самой плотины – и на податливом основании и на жестком – соответствующие компоненты напряжения практически одинаковы.

Отличием являются вертикальные перемещения плотины под собственным весом: в центральной части плотины на податливом основании (8 см) они почти в полтора раза превосходят перемещения в тех же точках сооружения с жестким основанием (6 см) (рис. 2). Объяснением этому могут служить дополнительные вертикальные смещения основания под весом сооружения.

Расчет плотины, являющейся частью гидротехнического узла, необходимо производить с учетом влияния гидростатического давления на верховой откос. Давление P действует по нор-

мали к поверхности верхового откоса и определяется функцией, линейно изменяющейся с глубиной h , и представлено формулой $P=\gamma h$, где γ – удельный вес воды.

В связи с тем, что в Узбекистане большинство высоких каменно-земляных плотин возводятся с суглинистым ядром, содержащим поры в глинистом грунте, следует учитывать поровое давление, возникающее при наполнении водохранилища и эксплуатации гидросооружения. Поровое давление рассчитывается различными методами, а также с учетом и без учета консолидации грунта. Далее приводятся результаты расчета напряженно-деформированного состояния грунтовой плотины с учетом порового давления при наполнении водохранилища. При расчете был рассмотрен створ 6 Чарвакской плотины и его показания на различных уровнях по заложенным приборам (пьезодинамометрам) во время строительства. Схема расположения грунтовых динамометров и пьезодинамометров в плотине (створ 6) показана на рис. 6.

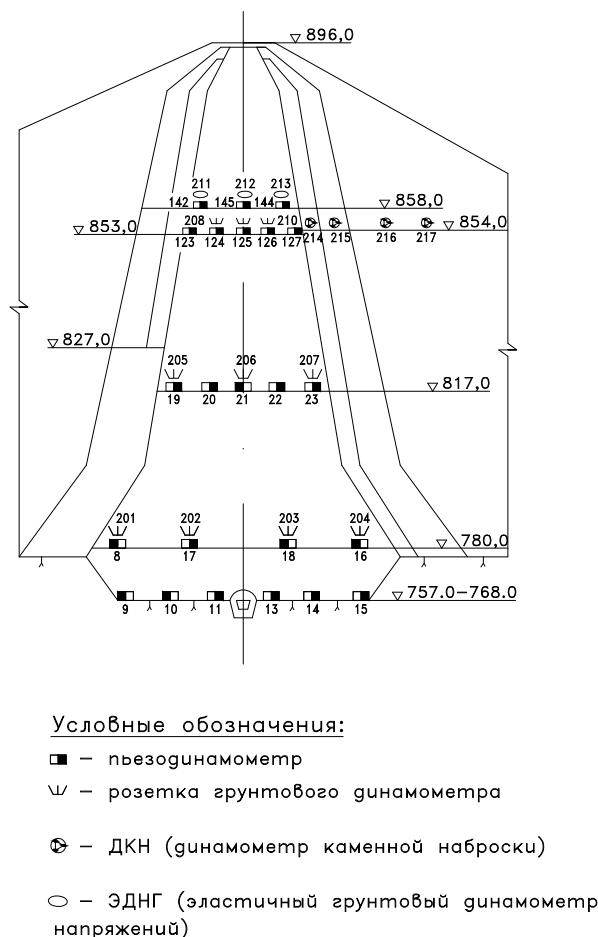


Рис. 6. Уровни расположения грунтовых динамометров и пьезодинамометров в ядре плотины.

В настоящее время имеется ряд методов расчета консолидации трехфазных грунтов, направленных для определения осадок и порового давления в ядрах [10].

На рис. 8 показаны результаты теоретических расчетов и данных натурных наблюдений по поровому давлению в одном из створов, где имеется прибор, установленный в начале строитель-

ства Чарвакской плотины. Для расчётов [10] авторы приняли среднюю компрессионную кривую, полученную для материала ядра плотины (суглинка).

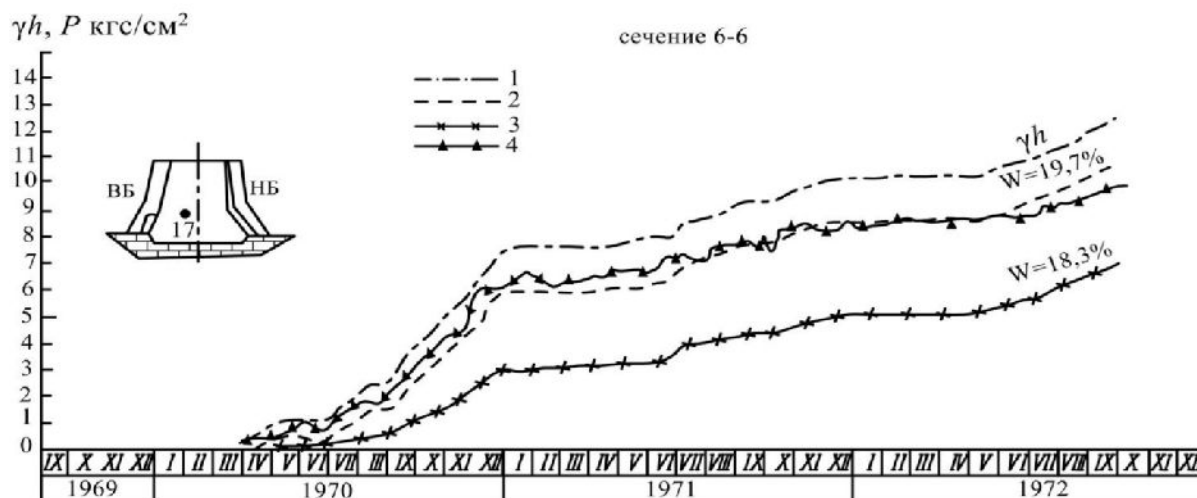


Рис. 7. График порового давления в ядре Чарвакской плотины 1 — напряжения $\sigma_y = \gamma h$; по расчёту: 2 — $W=19,7\%$; 3 — $W=18,3\%$; по натурным данным, 4 — по датчику порового давления №17 [10]

Изменение во времени показателей порового давления (срок эксплуатации плотины более 40

лет) по данным натурных наблюдений, предоставленных АО «Гидропроект» показано на рис. 8.

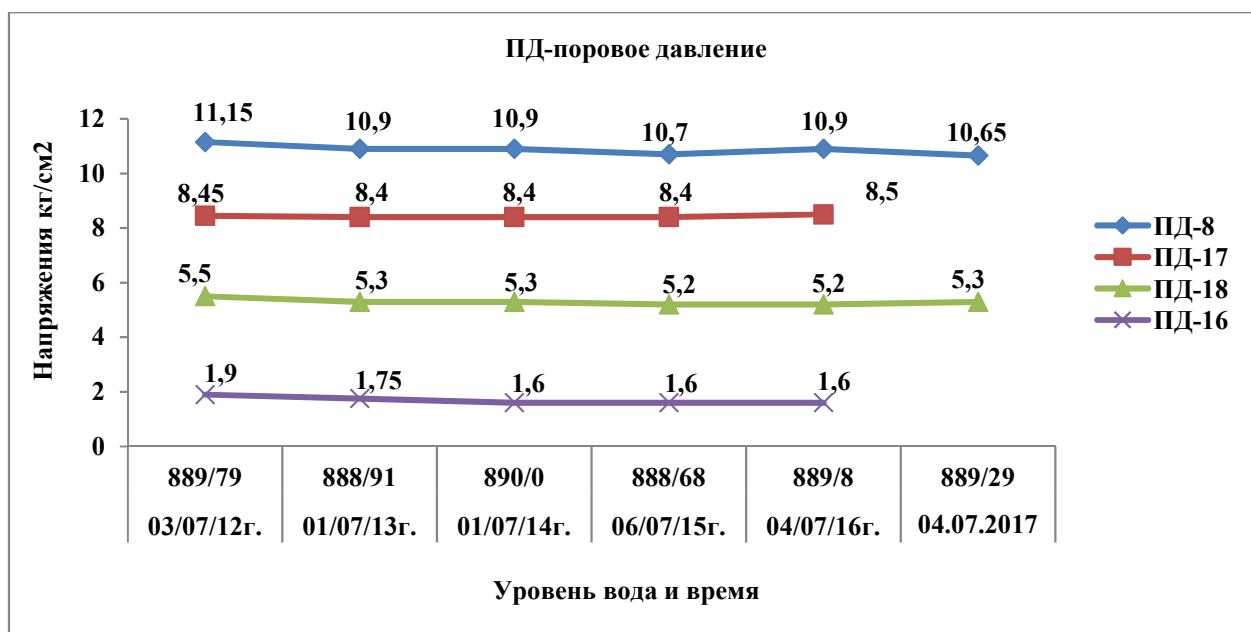


Рис. 8. Изменение порового давления в ядре грунтовой плотины по времени эксплуатации

Сопоставляя рис. 7 и рис. 8 изменение порового давления по времени в начале строительства и более 40 лет эксплуатации грунтовой плотины в соответствии с имеющимися данными натурных наблюдений по показаниям пьезодинамометров, предоставленных АО «Гидропроект» делаем вывод, что поровое давление в ядре еще присутствует и процесс консолидации

грунта к 2019 году еще не завершился. Однако, распределение его в ядре плотины не равномерно. Рассмотрим это на примере створа №6 (рис. 8).

В основном, понижение порового давления по времени отмечается на отметке 780,0 м. (приборы №№ 8, 16, 17, 18), а также в основании

вблизи потерны со стороны нижнего бьефа (прибор №13).

На отметке 817,0 м понижение порового давления ощущается со стороны нижнего бьефа (приборы №№22, 23).

На отметке 853,0 м со стороны нижнего бьефа поровое давление не изменяется во времени, также, как и на отметке 858,0 м.

Увеличение во времени порового давления ощущается в основании плотины вблизи ядра со стороны верхнего бьефа и на отметках 817,0 м, 853,0 м также со стороны верхнего бьефа.

Все это доказывает, что остаточное поровое давление присутствует на этих отметках и образует ядро порового давления, а процесс консолидации происходит на отметке 780,0 м., которая, как заметно на рис. 7, находится практически в основании плотины, но выше основания ядра. Следовательно, на этой отметке происходит максимальное давление от ядра плотины, упорных призм и, соответственно напора в водохранилище.

Следовательно, в глинистом ядре каменно-земляной плотины Чарвакской ГЭС рассеивание порового давления происходит очень медленно, что может способствовать формированию в теле плотины неблагоприятного напряженно-деформированного состояния, изменяющегося по времени [1]. По мере рассеивания порового давления могут ухудшаться условия фильтрации воды в отдельных зонах ядра и на контакте ядра с основанием плотины.

Выводы. Разработан комплекс программ для статического расчета плоских моделей грунтовых плотин на жестком и податливом основании, с учетом конструктивной неоднородности под действием собственного веса и гидростатического давления на верховой откос. При расчете использована конечно-элементная дискретизация моделей. Достоверность и сходимость получаемых результатов показана на тестовом примере. На основе разработанных программ проведены расчеты и исследовано влияние податливости основания на напряженно-деформированное состояние грунтовых плотин под собственным весом:

- податливость основания, придавая дополнительные вертикальные смещения сооружению, увеличивает вертикальные перемещения (почти в два раза) и компоненты напряженного состояния центральной части плотины под собственным весом. При этом максимальные напряжения распределяются в самом основании.

Исследования напряженно-деформированного состояния грунтового сооружения выявили нарушение прочности в центральной части неод-

нородной грунтовой плотины вблизи ядра и прилегающих к нему зонах, на части поверхности и у подножия боковых откосов, независимо от податливости основания.

Рассеивание порового давления в глинистом ядре каменно-земляной плотины Чарвакской ГЭС происходит очень медленно, что может способствовать формированию в теле плотины неблагоприятного напряженно-деформированного состояния, изменяющегося по времени [1]. По мере рассеивания порового давления могут ухудшаться условия фильтрации воды в отдельных зонах ядра и на контакте ядра с основанием плотины и поэтому в действующем нормативном документе «Плотины из грунтовых материалов» предусмотрены правила учета порового давления при расчетном обосновании проектов плотин.

При проектировании высоких каменно-земляных плотин в Узбекистане в ядре плотины следует в составе КИА обязательно закладывать датчики преобразования порового давления (пьезодинамометры) для учета порового давления в процессе консолидации суглинка ядра.

При расчетах устойчивости откосов плотин используются необходимые параметры грунтов тела плотины в виде сцепления, угла внутреннего трения, удельного веса в сухом и насыщенном состоянии. Данные параметры при долговременной эксплуатации могут меняться и в первую очередь с развитием консолидации и деформаций ядра и тела плотины, в процессе которых одну из основных ролей играет поровое давление.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аверьянов В.Н., Борткевич В.С. О способах снижения порового давления в глинистых ядрах каменно-земляных плотин // Природообустройство. Научно-практический журнал. М. РГАУ-МСХА. №3. 2016. С. 8–14.
2. Анискин Н.А., Рассказов Л.Н., Ядгоров Ё.Х. Фильтрация и поровое давление в ядре каменно-земляной плотины // Гидротехническое строительство. 2016. №6. С. 16–22.
3. Анискин Н.А., Рассказов Л.Н., Ядгоров Ё.Х. Фильтрация, поровое давление и осадки от консолидации сверхвысокой плотины // Гидротехническое строительство. 2016. №10. С. 39–44.
4. Леднев М.А., Шашкова Э.Г., Сатановский С.Г. Результаты натурных наблюдений за напряженно-деформируемым состоянием плотины Чарвакской ГЭС в строительный период // В сб. 3-е Науч.-техн. совещ. Гидропроекта по подведению итогов науч.исслед. работ в обл.энерг. и водохоз. Стр-ва за девятую пятилетку и рассмотрению задач десятой пятилетки.

1976. Тезисы докл. и сообщ. Ч.1. М. 1976. С. 112–114.

5. Никитин В.М. Долгосрочный прогноз осадок каменно-набросных плотин. Тр. Ташкент ин-та инж. ирригации и механиз.с.х. 1973. Вып. 55. С. 118–121.

6. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975, 542 с.

7. Постнов В.А., Хархурим И.Я. Метод конечных элементов в расчетах судовых конструкций. Л.: Судостроение, 1974. 342 с.

8. Саямова К.Д., Руми Д.Ф. Трансформация напряженно-деформированного состояния основания сооружения при неравномерном увлажнении грунта // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №5. С. 94–99.

9. Иванов П.Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений. Учеб. Для гидротехн. спец. вузов. М.: Высшая школа, 1985. 352 с.

10. Гольдин А.Л., Рассказов Л.И. Проектирование грунтовых плотин. М.: Изд-во АСВ, 2001. 384 с.

Информация об авторах

Саямова Клара Джаббаровна, доктор технических наук, профессор. E-mail: klara_51@mail.ru. Институт механики и сейсмостойкости сооружений. Узбекистан, 185100, Ташкент, ул. Дурмон йули, д. 33.

Турдикулов Хусанбой Худойназарович, младший научный сотрудник. Институт механики и сейсмостойкости сооружений. Узбекистан, 185100, Ташкент, ул. Дурмон йули, д. 33.

Мифтахова Ирина Рафиковна, главный специалист. АО «Гидропроект». Узбекистан, 100000, г. Ташкент, ул. Бабура д. 20.

Поступила в марте 2019 г.

© Саямова К.Д., Турдикулов Х.Х., Мифтахова И.Р., 2019

^{1,*}Salyamova K.D., ¹Turdikulov Kh.Kh., ²Miftahova I.R.

¹Institute of Mechanics and Seismic Resistance of Structures of the Academy of the Republic of Uzbekistan
Uzbekistan, 185100, Tashkent, st. Durman, 33

²АО «Gidroproekt»
Uzbekistan, 100000, Tashkent, st. Babur, 20

*E-mail: klara_51@mail.ru

CALCULATION OF HIGH EARTHEN DAM TAKING INTO ACCOUNT THE STRESSED CONDITION AND PORE PRESSURE (CONSIDERING THE DATA OF NATURAL OBSERVATIONS)

Abstract. Large-scale design, construction and operation of groundwater structures (dams) in the seismic zone of the Republic of Uzbekistan challenges researchers with the task of continually improving methods for calculating the basic loads (gravitational forces, hydrostatics), as provided by the design standards. Accidents or damage to water supporting structures can lead to catastrophic consequences. Static calculation of plane models of earthen dams on a rigid and pliable base is made on the basis of the developed set of applied programs. It takes into account the structural heterogeneity under its own weight and hydrostatic pressure on the upper slope. Finite element discretization of models is used in the calculation. The accuracy and convergence of the results obtained is shown in a test example. Numerical calculations are performed on the example of Charvak earthen dam. On the basis of developed programs, calculations are carried out and the effect of the base compliance on the stress-strain condition of the earthen dam under its own weight is investigated. Studies of the stress-strain condition of a soil structure revealed a violation of strength in the central part of a heterogeneous soil dam near the core and adjacent areas, on a part of the surface and at the foot of the side slopes, regardless of the base flexibility. It is shown that pore pressure dispersion in the clay core of the stone earthen dam of the Charvak Hydroelectric Station is very slow. This may contribute to the formation of an unfavorable stress-strain condition of the dam, which changes over time.

Keywords: Stone-earthen dam, core of the dam, stress, pore pressure, field data, Charvak earthen dam.

REFERENCES

1. Averyanov V.N., Bortkiewicz V.S. On ways to reduce pore pressure in the clay cores of stone-earth dams [O sposobah snizheniya porovogo davleniya v glinistyh yadrah kamennno-zemlyanyh

plotin]. Environmental Engineering. Scientific and practical journal. M. RGAU-ICCA. 2016. No. 3. Pp. 8–14. (rus)

2. Aniskin N.A., Rasskazov L.N., Yadgorov Yo.H. Filtration and pore pressure in the core of a stone-earthen dam [Fil'traciya i porovoe davlenie v

yadre kamenno-zemlyanoj plotiny]. Hydraulic Engineering. 2016. No. 6. Pp. 16–22. (rus)

3. Aniskin N.A., Rasskazov L.N., Yadgorov Yo.H. Filtration, pore pressure and sediments from the consolidation of ultra-high dam [*Fil'traciya, porovoe davlenie i osadki ot konsolidacii sverkhvysokoj plotiny*]. Hydraulic Engineering. 2016. No. 10. Pp. 39–44. (rus)

4. Lednev M.A., Shashkova E.G., Satanovsky S.G. Results of field observations of the stress-strain state of the Charvak hydroelectric station dam during the construction period [*Rezultaty naturnykh nablyudenij za napryazhenno-deformiruemym sostoyaniem plotiny Charvakskoj GES v stroitel'nyj period*]. V sb. 3-e Nauch.-tekhn. soveshch. Hidroproekta po podvedeniyu itogov nauchn.issled. rabot v obl.energ. i vodohoz. Str-va za devyatuyu pyatiletku i rassmotreniyu zadach desyatoy pyatiletki. 1976. Tezisy dokl. i soobshch.CH.1. M., 1976. Pp. 112–114. (rus)

5. Nikitin V.M. Long-term forecast of sediment of rock fill dams [*Dolgosrochnyj prognoz osadok kamenno-nabrosnykh plotin*]. Tr. Tashkent in-ta inzh.irigacii i mekhaniz. s. h.1973. Issue 55. Pp. 118–121. (rus)

6. Zenkevich O.K. The method of finite elements in the technique [*Metod konechnykh elementov v tekhnike*]. M.: Mir, 1975, 542 p. (rus)

7. Postnov V.A., Kharkhurim I.Ya. The finite element method in the calculations of ship structures [*Metod konechnykh elementov v raschetah sudovykh konstrukcij*]. L.: Shipbuilding. 1974. 342 p.

8. Salyamova K.D., Rumi D.F. The transformation of the stress-strain state of the base of the structure with uneven soil moistening [*Transformatsiya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya osnovaniya sooruzheniya pri neravnomernom uvlazhnenii grunta*]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov 2016. No. 5. Pp. 94–99. (rus)

9. Ivanov P.L. Soils and foundations of hydraulic structures [*Grunty i osnovaniya gidrotekhnicheskikh sooruzhenij*]. Textbook for gidrotehn. special universities. M.: Higher school. 1985, 352 p. (rus)

10. Goldin A.L., Rasskazov L.I. Design of soil dams [*Proektirovanie gruntovykh plotin*]. Textbook. M.: Publishing House DIA. 2001, 384 p. (rus)

Information about the authors

Salyamova, Klara D. DSc, Professor Assistant professor. E-mail: klara_51@mail.ru. Institute of Mechanics and Seismic Resistance of Structures of the Academy of the Republic of Uzbekistan. Uzbekistan, 185100, Tashkent, st. Durman uli, 33.

Turdikulov, Husanboj Kh. Postgraduate student. Institute of Mechanics and Seismic Resistance of Structures of the Academy of the Republic of Uzbekistan. Uzbekistan, 185100, Tashkent, st. Durman uli, 33

Miftahova, Irina R. Postgraduate student. AO «Gidroproekt». Uzbekistan, 100000, Tashkent, st.Babur, 20

Received in March 2019

Для цитирования:

Салямова К.Д., Турдикулов Х.Х., Мифтахова И.Р. Расчет высокой грунтовой плотины с учетом напряженного состояния и порового давления (с учетом данных натурных наблюдений) // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 7. С. 24–32. DOI: 10.34031/article_5d35d0b7694ea7.79490804

For citation:

Salyamova K.D., Turdikulov Kh.Kh., Miftahova I.R. Calculation of high earthen dam taking into account the stressed condition and pore pressure (considering the data of natural observations). Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 7. Pp. 24–32. DOI: 10.34031/article_5d35d0b7694ea7.79490804

DOI: 10.34031/article_5d35d0b7491a64.24875481

^{1,*}Прохоров С.В.¹Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
Россия, 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87

*E-mail: oc204@bk.ru

ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ И ХАРАКТЕРА АРМИРОВАНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ КЛЕЕННЫХ БАЛОК НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВНУТРЕННИХ УСИЛИЙ

Аннотация. Основными тенденциями современного строительства является производство и применение лёгких строительных конструкций, что позволяет существенно ускорить возведение строительных объектов. При этом немаловажное значение имеет применение конструктивных и отделочных материалов, отвечающих современным экологическим требованиям. Конструктивные элементы зданий и сооружений являлись основными в течение многих веков и имеют широкие перспективы применения в современном капитальном строительстве, так как они обладают достаточно высокой прочностью и жесткостью, являются надёжными и долговечными, в сочетании с малой монтажной массой. В частности, в ряде западных стран уже возводятся высотные здания с применением каркаса из клееных деревянных конструкций. При всей природной стройности структуры хвойных пород древесины, ее трахеиды не стандартны, что является основной причиной изменчивости механических свойств. Дополнительно при расчете клееных армированных конструкций требуется учитывать так называемый «масштабный эффект» при расчете изгибаемых клееных деревянных элементов. Применяемые методы для расчета «низких» армированных балок зачастую дают большую погрешность при расчете «высоких» балок. В работе производится определение более рациональной методики расчета «высоких» балок с симметричным армированием и сравнение вариантов армирования таких балок.

Ключевые слова: клееные деревянные конструкции, армированные балки, композитная арматура, расчет деревянных конструкций, деревянные балки.

Введение. Деревянные конструкции применяются в строительстве зданий и сооружений на протяжении многих веков. Наряду с положительными качествами, такими как малая монтажная масса, относительно высокая прочность и жесткость, имеются и отрицательные свойства древесины – зависимость свойств от ее строения, пороки, относительно небольшой выход высококачественного пиломатериала из круглого леса, массивность сечений и т.д. Древесина, как известно, имеет клетчатое строение. Клетки состоят из стенок и полостей, и имеют длину значительно больше их поперечных размеров. Вследствие этого сопротивляемость древесины разрушению в различных направлениях резко различна. Это свойство древесины называется ортотропией, и его необходимо учитывать при проектировании деревянных конструкций [1, 2]

Одним из путей устранения указанных недостатков и повышения технико-экономической эффективности клееных деревянных конструкций является армирование её стальными или композитными стержнями [3, 4]

При выборе как металлической, так и стеклопластиковой арматуры для усиления деревянных конструкций необходимо учитывать не только прочностные, но и упругие характеристики, поскольку соотношение нормальных

напряжений в арматуре и древесине при их нормальной совместной работе зависит от величины отношения их модулей упругости [5].

Рассматривая армированные деревянные конструкции как комплексные, следует выбирать арматуру с учетом полного использования ее свойств в зависимости от механических свойств древесины [6, 7].

Вопрос влияния размеров поперечного сечения на сопротивление изгибу клееных конструкций изучался многими авторами [8, 9, 10]. В процессе анализа было установлено, что с увеличением высоты сечения прочность на изгиб клееных конструкций снижается, причем степень снижения не имеет линейной зависимости [11].

В то же время, с увеличением высоты поперечного сечения конструкций происходит снижение прочности на скалывание. Особенно эти явления выражены в приопорной зоне [12, 13].

В ходе анализа работ следует отметить, что испытание стандартных образцов для определения прочности на скалывание и прочности клеевых соединений при изгибе не дает полной картины распределения усилий и поведения конструкции в целом. Для этого испытателям приходилось прибегать к натурным испытаниям с сосредоточенной нагрузкой, что приводит к удорожанию проектирования и расчетов.

Определение величины временного сопротивления скалыванию производилось по формуле, соответствующей параболическому закону распределению напряжений, что не соответствовало схеме загрузки и не могло гарантировать разрушения по касательным напряжениям.

Также не учитывалась работа древесины в сжатой зоне, где из-за армирования растянутой зоны происходило смятие. В ряде исследований не учитывалось влияние размеров сечений на уровне микроструктуры с врожденными макродефектами конструкций.

В настоящий момент для исследования напряженно-деформированного состояния конструкций применяются различные программные комплексы, которые позволяют оценить внутренние напряжения, характер разрушения и влияние армирования [14, 15, 16]

В работе производится определение рациональной методики расчета «высоких» балок с симметричным армированием и сравнение вариантов армирования таких балок с использованием программного комплекса Lira.

Методология. Взятая для расчётов деревянная армированная балка представляет собой балку прямоугольного сечения, армированную симметрично двумя стальными стержнями.

Основной материал балки – сосна 2го сорта класса к 24.

Характеристики основного материала:

- нормативное сопротивление древесины изгибу вдоль волокон – $R_u = 240 \text{ кг/см}^2$;
- нормативное сопротивление древесины растяжению вдоль волокон – $R_p = 150 \text{ кг/см}^2$;
- нормативное сопротивление древесины сжатию вдоль волокон – $R_c = 230 \text{ кг/см}^2$
- нормативное сопротивление древесины скалыванию $R_{ск} = 32 \text{ кг/см}^2$;
- модуль упругости древесины вдоль волокон – $E_d = 100000 \text{ кг/см}^2$;
- модуль упругости древесины поперёк волокон – $E_{90} = 4000 \text{ кг/см}^2$;
- коэффициент Пуассона древесины вдоль волокон при напряжениях, направленных поперёк волокон – $\nu_{0,90} = 0,018$.

Арматурная сталь:

- временное сопротивление – $R_{sn} = 4000 \text{ кг/см}^2 (390 \text{ МПа})$;
- расчётное сопротивление – $R_a = 3750 \text{ кг/см}^2$;
- модуль упругости – $E_a = 2100000 \text{ кг/см}^2$;

В настоящее время применяется несколько вариантов методов расчёта армированной деревянной балки:

1. Расчет по приведённым геометрическим характеристикам. Принятые расчётные предположения: древесина при работе на растяжение и

сжатие вдоль волокон принимается как равноудельный материал, материалы комплексной конструкции работают в пределах упругих деформаций с соблюдением гипотезы плоских сечений, деформации арматуры и древесины равны. Расчеты по данной методике носят приблизительный характер и не отражают в полной мере характер работы конструкции под нагрузкой. Кроме того, для «высоких» балок действительные предельные состояния могут не соответствовать расчетным.

2. Расчет с применением программных комплексов по действительным сечениям. Расчётная модель представляет собой пространственный прямоугольный конечный элемент балки – стенки, усиленный стержневыми элементами. Расчёт ведётся с учётом действительной прочности древесины, модули деформаций при сжатии и растяжении не равны. Характер напряженно-деформированного состояния конструкций определяемый по данной методике, более соответствует действительному, однако и здесь не учитывается неоднородность работы вдоль и поперек волокон древесины.

3. Расчётная модель аналогична предыдущей, но добавляются предположения, что модули деформаций вдоль и поперек волокон не равны (ортотропия).

В основу исследования была положена 3 методика, т.е. древесина конструкции при работе на растяжение и сжатие имеет разные модули деформаций вдоль и поперек волокон, материалы комплексной конструкции работают в пределах упругих деформаций с соблюдением гипотезы плоских сечений, деформации арматуры и древесины равны. Данный метод расчета наиболее полно отражает действительный характер работы конструкции под нагрузкой.

Основная часть. Основными рабочими сечениями клееных деревянных армированных балок являются $h = l/10$, $h = l/12$ и $h = l/15$. Для исследования были выбраны два варианта поперечного сечения конструкции: «высокая» балка 100×1815 (с соотношением $h/l = 1/10$ - максимально рекомендуемое сечение) и «низкая» балка 200×924 (с соотношением $h/l = 1/20$ - минимальное сечение). Пролет всех балок составлял 18 метров.

Для расчетов были приняты следующие характеристики материалов:

Для дерева:

- модуль упругости вдоль волокон $E_1 = 100000 \text{ кг/см}^2$;
- коэффициент Пуассона вдоль волокон – $\nu_{0,90} = 0,018$;
- модуль упругости поперек волокон $E_1 = 4077.4 \text{ кг/см}^2$;

- коэффициент Пуассона поперек волокон – $\nu_{90..0} = 0,45$;

- модуль сдвига – $G = 5000 \text{ кг/см}^2$;

- удельный вес материала $R_0 = 500 \text{ кг/м}^3$.

Арматура принята по сортаменту «Сталь горячекатаная круглая. Сокращенный сортамент». Профиль 40 мм. Процент армирования $\mu = 3 \%$.

На начальном этапе для упрощения расчетов и определения рационального метода армирования использовались конечные элементы для решения линейных задач. Для расчета балки с учетом ортотропии использовались универсальные прямоугольные конечные элементы плоской задачи теории упругости (балка-стенка) КЭ23, КЭ24. Для задания арматуры применялся универсальный стержень КЭ10.

После уточнения оптимального расположения арматуры в теле конструкции и характера армирования использовались конечные элементы для физически нелинейных задач. В частности, тело балки состояло из прямоугольных элементов балки-стенки КЭ221, а на участках сопряжения с арматурой КЭ222. Размеры элементов

определялись исходя из вычислительной мощности компьютера и требуемой точности вычислений. Расчет нагружения конструкции проводился на основе шагового метода.

Для моделирования арматуры использовались универсальные пространственные стержневые конечные элементы КЭ205.

Нагрузка прикладывается в узлы, в каждую точку с шагом 0,2 м, что соответствует равномерно-распределенной нагрузке. Таким образом имеется возможность отследить напряженно-деформированное состояние балки при пошаговом нагружении.

Т.к. согласно расчету по требованиям пп. 7.14-7.15 СП 64.13330.2017, гибкость сжатого пояса из плоскости превышает 300, для обеспечения устойчивости балок из плоскости изгиба были введены связи по верхнему поясу с шагом 1.5 метра. Тип связей был принят шарнирным в продольном направлении и жестким в поперечном направлении пролета балок.

Кроме этого, в работе рассматривалось два варианта армирования рис.1.

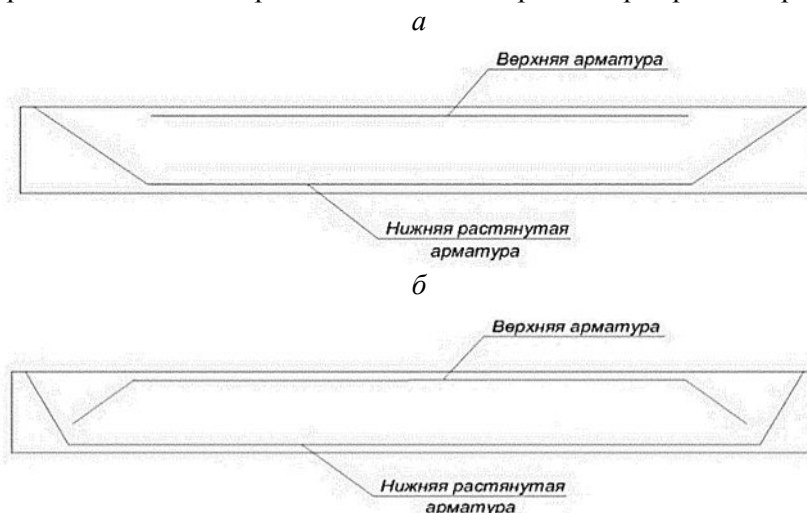


Рис. 1. Варианты армирования клееных деревянных балок:

а – балка с рациональным армированием (вариант 1); б – балка с рациональным армированием (вариант 2)

Основные результаты, требуемые для аналитического сравнения с экспериментальными данными, приведены в таблице 1. Дополнительно

был выполнен расчет по СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции».

Распределение усилий для балок сечением $200 \times 924 \times 18000$ показано на рис. 2.

Таблица 1

Данные расчета для «низких» балок с различными вариантами армирования

Показатели	Вариант 1		Вариант 2		Инженерный расчет по СП 64.13330.2011	
	Нагрузка q , кг/м					
	4750	5000	4750	5000		2438
Усилия в древесине сжимающие $\sigma_{к.д.с.}$, МПа	-19.8	-20.8	-19.8	-20.9	21.5	
Усилия в древесине растягивающие $\sigma_{к.д.р.}$, МПа	19.5	20.5	19.2	20.1	21.5	
Усилия в арматуре сжимающие $\sigma_{а.с.}$, МПа	-389.29	-409.12	-379.29	-397.69	-390	
Усилия в арматуре растягивающие $\sigma_{а.р.}$, МПа	389.21	409.08	383.33	402.87	390	
Касательные τ_{xz} , МПа	2.9	3.05	3.13	3.29	1.87	
Прогиб f , мм	45	52	45	52	37	

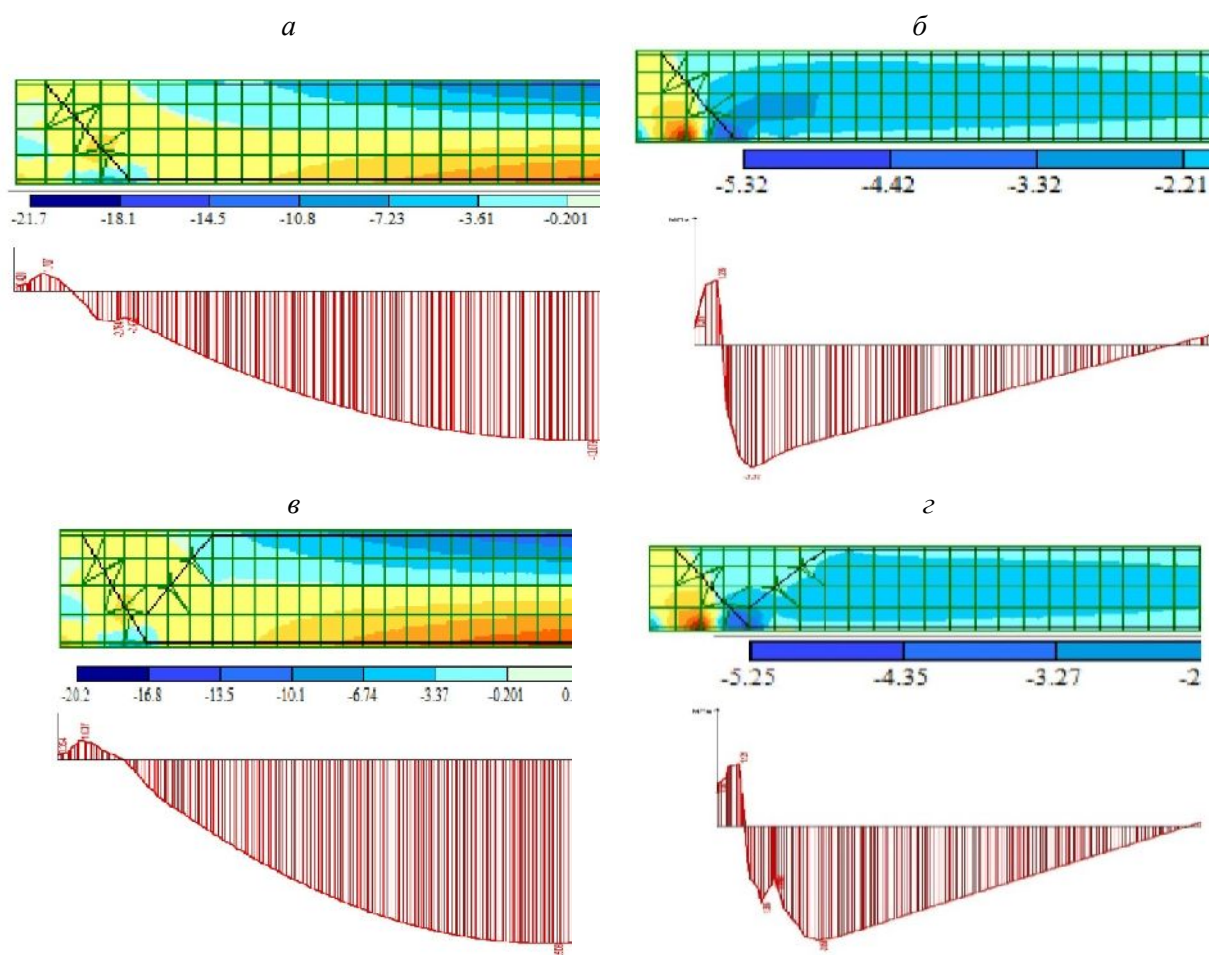


Рис. 2. Распределение нормальных и касательных напряжений в «низких» балках по вариантам:

- а* – нормальные напряжения, возникающие в балке при армировании по варианту 1;
- б* – касательные напряжения, возникающие в балке при армировании по варианту 1;
- в* – нормальные напряжения, возникающие в балке при армировании по варианту 2;
- г* – касательные напряжения, возникающие в балке при армировании по варианту 2

При анализе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Разрушение балок произойдёт в середине пролёта от достижения в арматуре предельных нормальных напряжений. При этом растягивающие усилия в древесине в растянутой зоне достигнут своих критических значений значительно раньше, что и обуславливает установку арматуры в растянутой зоне.

2. Эпюра распределения касательных напряжений в приопорной зоне зависит от характера армирования, но критические значения достигаются практически при одинаковой нагрузке на разной площади сечения.

3. Для «низких» балок расчет с учетом ортотропии материала показывает, что значение разрушающей нагрузки и характер разрушения не зависит от схемы армирования. При расчете согласно требованиям СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции» значение разрушающей нагрузки значительно ниже, чем при определении усилий с учетом ортотропии древесины.

Аналогичные расчеты были проведены для «высоких» балок, результаты которых представлены на рис. 3 и в табл. 2.

Выполнив расчеты и произведя анализ, можно сформулировать следующие выводы:

1. Разрушение балок произойдёт на опоре от достижения предельных касательных напряжений.

2. Эпюра распределения касательных напряжений в приопорной зоне носит более выраженный характер по сравнению с «низкими» балками, что приводит к образованию концентраторов напряжения.

3. Для «высоких» балок расчет с учетом ортотропии материала показывает, что значение разрушающей нагрузки и характер разрушения имеет зависимость от схемы армирования.

4. Установка дополнительных отгибов верхней арматуры снижает влияние касательных напряжений, что позволяет повысить устойчивость к увеличению нагрузки, но одновременно с этим возрастают растягивающие усилия в древесине.

Таблица 2

Данные расчета для «высоких» балок с различными вариантами армирования

Показатели	Вариант 1		Вариант 2		Инженерный расчет по СП 64.13330.2011	
	Нагрузка q , кг/м					
	5000	5250	6000	6250		4563
Усилия в древесине сжимающие $\sigma_{к.д.с.}$, МПа	-16.2	-17.1	-17	-16,8	-18	
Усилия в древесине растягивающие $\sigma_{к.д.р.}$, МПа	14.09	14.77	20.3	21.3	18	
Усилия в арматуре сжимающие $\sigma_{а.с.}$, МПа	-242.17	-253.96	-290.54	301.75	-212	
Усилия в арматуре растягивающие $\sigma_{а.р.}$, МПа	248.13	260.19	295.18	302.54	212	
Касательные τ_{xz} , МПа	3.12	3.27	2.94	3.2	3.2	
Прогиб f , мм	52	59	56	62	37	

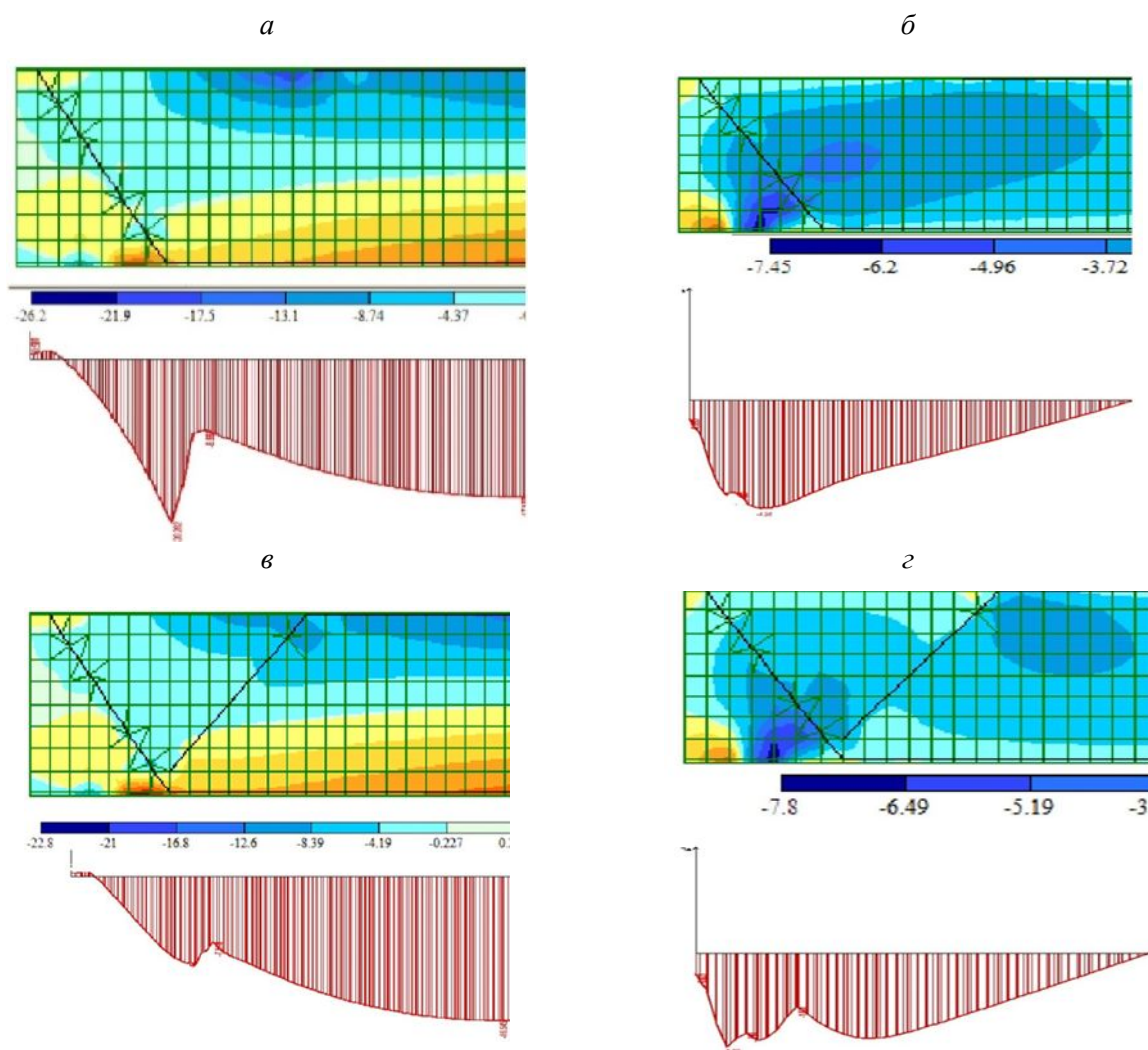


Рис. 3. Распределение нормальных и касательных напряжений в «высоких» балках по вариантам: а – нормальные напряжения, возникающие в балке при армировании по варианту 1; б – касательные напряжения, возникающие в балке при армировании по варианту 1; в – нормальные напряжения, возникающие в балке при армировании по варианту 2; г – касательные напряжения, возникающие в балке при армировании по варианту 2

Выводы. В ходе анализа полученных результатов расчета «высоких» и «низких» клееных армированных деревянных балок с различными вариантами армирования можно сформулировать следующие основные выводы:

1. Характер разрушения «низких» и «высоких» клееных деревянных балок различен, и при проектировании конструкций необходимо это учитывать.

2. Расчет конструктивных элементов с учетом ортотропии материала, позволяет более точно оценивать распределение напряжений в сечении и производить их проектирование.

3. Для «низких» балок характер армирования не оказывает значительного влияния. При этом следует отметить, что результаты инженерного расчета и расчета в ПК «Lira» имеют расхождение порядка 48 %, что является весьма существенным и требует экспериментального подтверждения. При расчете балок с учетом ортотропии образуется зона равномерного сжатия, но при этом растут прогибы.

5. Для «высоких» балок характер армирования имеет решающее значение на распределение внутренних напряжений по телу конструкции. Наличие зоны включения древесины в работу арматурой приводит к скачкообразному изменению напряжений. При армировании балок по эпюре сжимающих напряжений происходит перераспределение усилий по длине, что приводит к уменьшению на 5 % сжимающих напряжений в древесине и увеличению их в арматуре. Расхождение результатов инженерного расчета и расчета в ПК «Lira» не превышает 9 %. Вариант расчета (с учетом действительной прочности материала) рекомендуется применять при решении научных задач ввиду его трудоемкости в построении модели.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мещерякова А.А., Белоконов В.В. Клеевые деревянные конструкции и перспективы их использования // В сборнике: Поколение будущего: взгляд молодых ученых сборник научных статей 4-й международной молодежной научной конференции: в 3 томах, 2016. С. 45–48.
2. Ключникова О.Н., Гребенщикова Л.С. Особенности применения и расчета клееных деревянных конструкций в строительстве // Вестник магистратуры. 2015. № 2-1 (41). С. 63–71.
3. Муселемов Х.М., Устарханов О.М., Калиева М.Х., Манапов Р.М. Исследование клееных армированных деревянных конструкций // Наука в цифрах. 2016. № 1. С. 10–13.
4. Yang H., Ju D., Liu W., Lu W. Prestressed glulam beams reinforced with CFRP bars // Construction and Building Materials. 2016. Vol. 109. Pp. 73–83.
5. Soriano J., Pellis B.P., Mascia N.T. Mechanical performance of glued-laminated timber beams symmetrically reinforced with steel bars // Composite Structures, 2016. Vol. 150. Pp. 200–207.
6. Делова М.И. К расчету изгибаемых клееных деревянных конструкций по первой группе предельных состояний // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 4. С. 52–55.
7. Roshchina S., Lukin M., Lisyatnikov M., Koscheev A. The phenomenon for the wood creep in the reinforced glued wooden structures // MATEC Web of Conferences, 2018.
8. Рашидов Ш.М., Вишталов Р.И., Устарханов О.М. Оптимальные формы поперечного сечения клееных деревянных балок // Сборник тезисов докладов XXXVI итоговой научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет». Под ред. Т.А. Исмаилова, 2015. С. 113–114.
9. Есипов А.В., Сальный И.С., Воробьев Я.В. Расчет прочности нормальных сечений армированных деревянных балок // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. № 49 (68). С. 5–15.
10. Kandler G., Lukacevic M., Zechmeister C., Wolff S., Fussl J. Stochastic engineering framework for timber structural elements and its application to glued laminated timber beams // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 190. Pp. 573–592.
11. Roshchina S., Lukin M., Lisyatnikov M., Melenkhov V., Labudin B. Application of high glued wooden beams in the ceiling of buildings textile plants. // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2016. № 5. Pp. 267–271.
12. Чубинский А.Н., Медов В.С. Обоснование методики испытания клеевых соединений древесины на скалывание // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2015. № 210. С. 180–189.
13. Стоянов В.О., Погорельцев А.А. Исследования балки, армированной полимерными композитами на участках с максимальными нормальными и касательными напряжениями // Строительная механика и расчет сооружений, 2018. № 3 (278). С. 70–74.
14. Гранкин К.В. К расчету сжато-изгибаемых клеелесовых конструкций по деформированной схеме с помощью учета нелинейности в комплексе SCAD OFFICE 11.5 и LIRA SOFT 9.6 // Интернет-журнал Науковедение. 2016. Т. 8. № 4 (35). С. 3.
15. Berg S., Sanberg D., Ekevad M., Vaziri M. Crack influence on load-bearing capacity of glued laminated timber using extended finite element modelling // Wood Material Science and Engineering, 2015. Vol.10(4). Pp. 335–343.

Информация об авторах

Прохоров Сергей Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного производства. E-mail: oc204@bk.ru. Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ). Россия, 600000, Владимир, ул. Горького, д. 87.

Поступила в мае 2019 г.

© Прохоров С.В., 2019

^{1,*}**Prokhorov S.V.**¹*Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs**Russia, 600000, Vladimir, Gorkiy street, 87***E-mail: Oc204@bk.ru*

INFLUENCE OF CROSS SECTION HEIGHT AND NATURE OF REINFORCING GLUED WOODEN BEAMS ON THE DISTRIBUTION OF INTERNAL EFFORT

Abstract. *The main trends of modern construction is the production and use of light construction structures, which can significantly accelerate the construction of building objects. At the same time, the use of structural and finishing materials that meet modern environmental requirements is important. Structural elements of buildings have dominated for many centuries and have broad prospects for use in modern capital construction: they have high strength and rigidity; they are reliable and durable and have a low installation weight. In particular, in a number of Western countries, high-rise buildings are already being built using a frame made of glued wooden structures. Despite the natural symmetry of coniferous woods structure, its non-standard tracheids are the main reason for the variability of its mechanical properties. In addition, when calculating glued reinforced structures, it is necessary to take into account the so-called "scale effect" when calculating the bent glued wooden elements. The applied methods for the calculation of "low" reinforced beams sometimes give an error in the calculation of "high" beams. In this paper, the definition of a more rational method of calculating the "high" beams with symmetrical reinforcement and comparison of options for reinforcing such beams are performed.*

Keywords: *glued wooden structures, reinforced beams, composite reinforcement, calculation of wooden structures, wooden beams.*

REFERENCES

1. Meshcheryakova A.A., Belokonev V.V. Glued wooden structures and prospects for their use [*Kleenye derevyannye konstrukcii i perspektivy ih ispol'zovaniya*]. V sbornike: Pokolenie budushchego: vzglyad molodyh uchenykh sbornik nauchnykh statej 4-j mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchnoj konferencii, 2016. Pp. 45–48. (rus)
2. Klyuchnikova O.N., Grebenshchikova L.S. Features of the application and calculation of glued wooden structures in construction [*Osobennosti primeneniya i rascheta kleyennykh derevyannykh konstruktsiy v stroitel'stve*]. Magistracy Bulletin. 2015. No. 2-1 (41). Pp. 63–71. (rus)
3. Muselemov Kh.M., Ustarkhanov O.M., Kaliyeva M.Kh., Manapov R.M. The study of glued reinforced wooden structures [*Issledovaniye kleyennykh armirovannykh derevyannykh konstruktsiy*]. Science in numbers. 2016. No. 1. Pp. 10–13. (rus)
4. Yang H., Ju D., Liu W., Lu W. Prestressed glulam beams reinforced with CFRP bars. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 109. Pp. 73–83.
5. Soriano J., Pellis B.P., Mascia N.T. Mechanical performance of glued-laminated timber beams symmetrically reinforced with steel bars. *Composite Structures*. 2016. Vol. 150. Pp. 200–207.
6. Delov M.I. To the calculation of flexible glued wooden structures according to the first group of ultimate states. [*K raschetu izgibayemykh kleyennykh derevyannykh konstruktsiy po pervoy gruppe predel'nykh sostoyaniy*]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 4. Pp. 52–55. (rus)
7. Roshchina S., Lukin M., Lisatnikov M., Koscheev A. The phenomenon for the wood creep in the reinforced glued wooden structures. *MATEC Web of Conferences*, 2018.
8. Rashidov Sh.M., Vishtalov R.I., Ustarkhanov O.M. Optimal cross-sectional shapes of glued wooden beams [*Optimal'nyye formy poperechnogo secheniya kleyennykh derevyannykh balok*]. Sbornik tezisev dokladov XXXVI itogovoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов ФГБОУ ВО «Дagestanskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet». Pod red. T.A. Ismailova, 2015. Pp. 113–114. (rus)
9. Esipov A.V., Salny I.S., Vorobyev Ya.V. Calculation of the strength of normal sections of reinforced wooden beams [*Raschet prochnosti normal'nykh secheniy armirovannykh derevyannykh*

balok]. Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture. 2017. No. 49 (68). Pp. 5–15. (rus)

10. Kandler G., Lukacevic M., Zechmeister C., Wolff S., Fussl J. Stochastic engineering framework for timber structural elements and its application to glued laminated timber beams. Construction and Building Materials. 2018. Vol.190. Pp. 573–592.

11. Roshchina S., Lukin M., Lisyatnikov M., Melenkhov V., Labudin B. Application of high glued wooden beams in the ceiling of buildings textile plants. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2016. No. (5). Pp. 267–271.

12. Chubinsky A.N., Medov V.S. Substantiation of the method of testing glue joints of wood for chipping [*Obosnovaniye metodiki ispytaniya kleyevykh soyedineniy drevesiny na skalyvaniye*]. News of the St. Petersburg Forestry Academy. 2015. No. 210. Pp. 180–189. (rus)

13. Stoyanov V.O., Pogoreltsev A.A. Studies of beams reinforced with polymer composites in areas

with maximum normal and tangential stresses [*Issledovaniya balki, armirovannoy polimernymi kompozitami na uchastkakh s maksimal'nymi normal'nymi i kasatel'nymi napryazheniyami*]. Structural Mechanics and Structures Calculation. 2018. No. 3 (278). Pp. 70–74. (rus)

14. Grankin K.V. To the calculation of compressible-flexible glue-wood constructions according to the deformed scheme by taking into account nonlinearity in the complex SCAD OFFICE 11.5 and LIRA SOFT 9.6 [*K raschetu szhato-izgibayemykh kleyederevyannykh konstruktsey po deformirovannoy skheme s pomoshch'yu ucheta nelineynosti v komplekse SCAD OFFICE 11.5 i LIRA SOFT 9.6*]. Internet journal Naukovedenie. 2016. Vol. 8. No. 4 (35). Pp. 3. (rus)

15. Berg S., Sanberg D., Ekevad M., Vaziri M. Crack influence on load-bearing capacity of glued laminated timber using extended finite element modelling. Wood Material Science and Engineering. 2015. Vol. 10(4). Pp. 335–343.

Information about the authors

Prokhorov, Sergey V. PhD, Assistant professor. E-mail: c204@bk.ru. Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs. Russia, 600000, Vladimir, Gorkiy street, 87.

Received in May 2019

Для цитирования:

Прохоров С.В. Влияние высоты поперечного сечения и характера армирования деревянных клеенных балок на распределение внутренних усилий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 7. С. 33–40. DOI: 10.34031/article_5d35d0b7491a64.24875481

For citation:

Prokhorov S.V. Influence of cross section height and nature of reinforcing glued wooden beams on the distribution of internal effort. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 7. Pp. 33–40. DOI: 10.34031/article_5d35d0b7491a64.24875481

DOI: 10.34031/article_5d35d0b6a9f3c8.14419249

^{1,*}Чечель И.П., ¹Наумов А.Е.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

*E-mail:golden-line7@yandex.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ ПОСТРОЕНИЯ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В ОБЛАСТИ КОНСТРУКТИВНЫХ И ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Аннотация. В работе рассматривается актуальная проблема технического регулирования в строительстве, в частности при разработке конструктивных и объемно-планировочных решений зданий общественного назначения. Целью работы является анализ действующей системы технического регулирования в Российской Федерации, с выделением в ее структуре группы нормативных документов, относящихся к разработке раздела проектной документации «конструктивные и объемно-планировочные решения» зданий общественного назначения. Необходимость такого анализа определяется проблемой отсутствия единой информационной базы нормативов, противоречивостью требований в документах различных ведомств и отсутствием оперативного обновления баз. Разработка конструктивного и объемно-планировочного решений проектируемого здания общественного назначения является основополагающей составляющей начального этапа инвестиционного процесса. Поэтому владение всей полнотой нормативной базы необходимо для обеспечения проектировщика оперативной информацией для подготовки качественной проектной документации, сокращения количества замечаний экспертизы к принятым проектным решениям, сроков на корректировку проектных решений и последующих затрат инвестора на эксплуатацию объекта капитального строительства. Анализ и оценка эффективности функционирования системы позволяет представить авторскую точку зрения на ее дальнейшее усовершенствование путем создания новой модели организации структуры нормативной базы документов технического регулирования для зданий общественного назначения, которая должна в своем составе содержать блоки нормативов для каждого типа общественных зданий.

Ключевые слова: техническое регулирование, нормативные документы, добровольное применение, доказательная база, конструктивные и объемно-планировочные решения.

В Российской Федерации государственный контроль за обеспечением качественной и безопасной для потребителя продукции осуществляется через систему технического регулирования (далее по тексту «система»). Главным документом системы является Федеральный закон № 184 ФЗ «О техническом регулировании» от 27 декабря 2002 года (в современной редакции от 2017 года). Этот документ устанавливает единые требования к выпускаемой продукции и является обязательным для всех участников рынка услуг.

Строительная деятельность в Российской Федерации в обязательном порядке подлежит государственному регулированию и входит в сферу действия Федерального закона № 184 ФЗ «О техническом регулировании». В соответствии со статьей 3 данного ФЗ, техническое регулирование осуществляется в соответствии с принципами: «применения единых правил установления требований к продукции или к продукции и связанным с требованиями к продукции процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуа-

тации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнению работ или оказанию услуг» [1].

Согласно п. 1 ст. 48 № 190-ФЗ от 29 декабря 2004 г., архитектурно-строительное проектирование осуществляется путем подготовки проектной документации применительно к объектам капитального строительства и их частям, строящимся, реконструируемым в границах принадлежащего застройщику земельного участка [2].

Одним из основных разделов процесса проектирования по созданию объекта капитального строительства, является разработка раздела 4 «конструктивные и объемно-планировочные решения» [3], который также подпадает под действие федерального закона «О техническом регулировании». Разработка этого раздела является основополагающей составляющей начального этапа инвестиционного процесса. Безошибочность проектирования на этом этапе способствует разработке безопасных, надежных в эксплуатации зданий, а так же оптимизации затрат на создание, возведение и дальнейшую эксплуатацию объекта строительства. Для достижения этих целей процесс разработки конструктивного

и объемно-планировочного решений должен быть оперативно обеспечен всеми необходимыми документами технического регулирования, а проектировщик должен иметь возможность владеть всей полнотой действующей и актуальной нормативно-технической базой [4].

Техническое регулирование в строительстве представляет собой систему законодательных и нормативных документов, обеспечивающую государству контроль по обращению на рынке безопасной и качественной продукции. Система состоит из документов обязательного и добровольного применения, располагает обширным списком законодательных, нормативных и технических документов, разработанных и утвержденных на различных уровнях – Российской Федерации, ее субъектов, а также различных ведомств [1].

Система берет начало в условиях планового хозяйства СССР и продолжила свое становление в современных условиях рыночной экономики. Документы, составляющие систему, создавались в разное время, многие из них носят ведомственный характер, часто вступают в противоречие друг с другом, а также теряют актуальность в разные сроки. Это существенно усложняет работу проектировщика, а также его взаимоотношения с экспертными органами и службой Заказчика-Инвестора [5]. Существует объективная необходимость детального анализа документов системы, пригодных для внедрения в практику применения, как при подготовке проектной документации на строительство общественного здания в целом, так и при разработке раздела 4 проектной документации, в частности.

Система технического регулирования в Российской Федерации представлена несколькими группами документов:

- документы, подлежащие обязательному исполнению;
- документы, подлежащие добровольному применению,
- документы, применение которых носит рекомендательный характер.

Вторая и третья группа документов являются так называемой «доказательной базой» выполнения документов, входящих в первую группу.

Документы обязательного исполнения имеют статус Федеральных законов, они разработаны на основании и в соответствии с положениями Федерального закона № 184-ФЗ «О техническом регулировании», и принимаются нормативными правовыми актами федерального органа исполнительной власти по техническому регулированию. Ряд этих документов носит назва-

ние «технический регламент», содержат перечень и описание объектов технического регулирования, требования к этим объектам и правила идентификации для применения регламента, а также правила оценки соответствия требованиям регламента. Оценка соответствия объекта капитального строительства по выполнению требований документов, обязательных к исполнению, проводится государственными органами в форме государственного контроля, регистрации, испытания, приемки и ввода в эксплуатацию объекта, строительство которого завершено [1].

Таким образом, создание объектов капитального строительства регулируется следующими техническими регламентами:

- Федеральный закон РФ от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»;
- Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»;
- «Технический регламент о безопасности лифтов», утвержден постановлением Правительства Российской Федерации от 2 октября 2009 г. № 782*.

Основным документом, который необходимо выполнять при разработке проекта на строительство зданий, является Федеральный закон РФ от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Согласно статье 3 данному ФЗ, объектом регулирования выступают здания и сооружений любого назначения (включая здания общественного назначения), сети и системы инженерно-технического обеспечения. Положения этого документа распространяются на все этапы жизненного цикла здания или сооружений [5]. Технический регламент устанавливает минимально необходимые требования, выполнение которых должны обеспечить механическую и пожарную безопасность здания, его безопасность при опасных природных процессах и явлениях техногенных воздействиях, безопасность пользования и создания безопасных для здоровья человека условий проживания и пребывания в зданиях, доступность для инвалидов и других групп населения с ограниченными возможностями передвижения, энергоэффективность и безопасный уровень воздействия здания на окружающую среду.

Обязательными для применения при создании объектов капитального строительства являются законы Российской Федерации:

- Федеральный закон от 29 декабря 2004 г. N 190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации»;

- Федеральный закон от 25 октября 2001 г. N 136-ФЗ «Земельный кодекс Российской Федерации»;
- Федеральный закон от 3 июня 2006 г. N 74-ФЗ «Водный кодекс Российской Федерации»;
- Федеральный закон от 4 декабря 2006 г. N 200-ФЗ «Лесной кодекс Российской Федерации»;
- Федеральный закон от 25 июня 2002 г. N 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия народов Российской Федерации»;
- Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении

энергетической эффективности и о внесении изменений отдельные законодательные акты Российской Федерации»;

- Федерального закона от 24 ноября 1995 г. N 181-ФЗ «О социальной защите инвалидов в РФ».
- Федерального закона от 30 марта 1999 г. N 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».

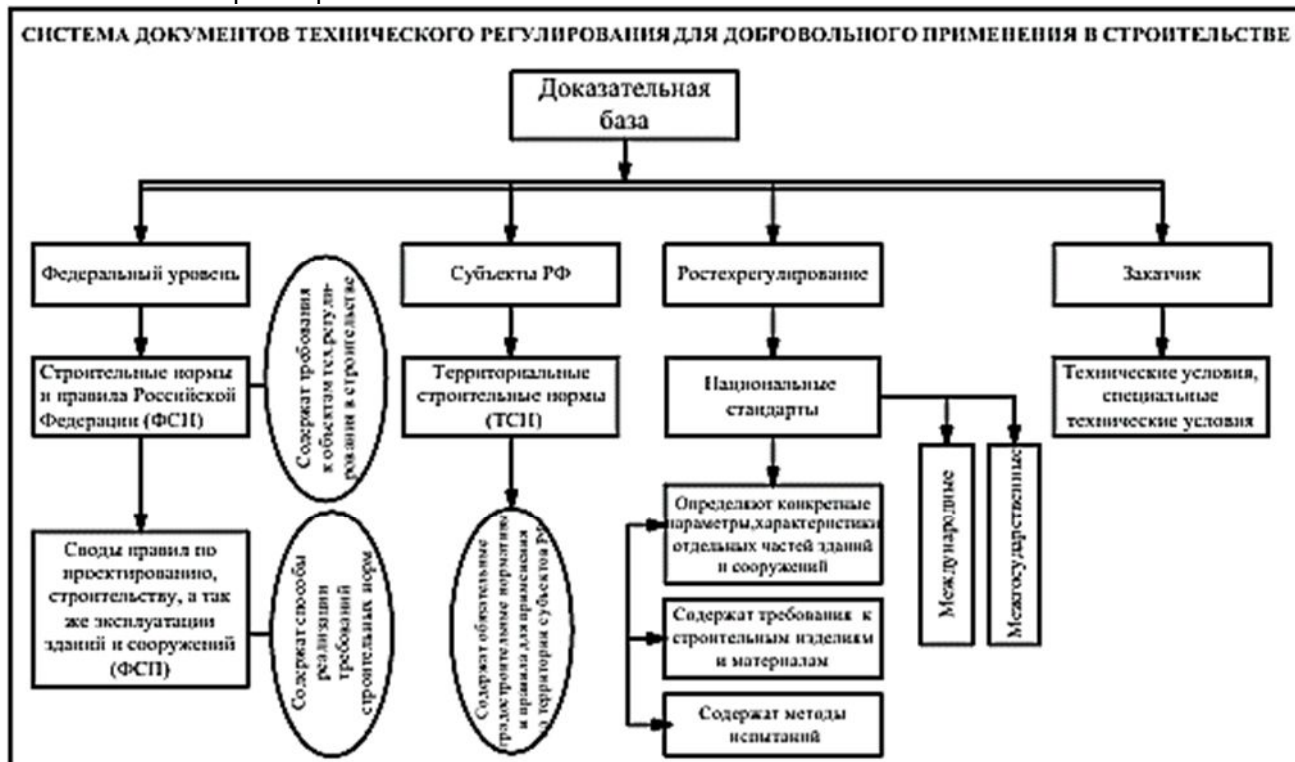


Рис. 1. Система документов технического регулирования для добровольного применения в строительстве

Документы, применяемые на добровольной основе, а также носящие рекомендательных характер, содержат широкий спектр нормативно-технических документов. К ним относятся Национальные стандарты (Ростехрегулирование) и Свод правил (Минрегион России).

Рекомендательный характер носят методологические документы: СНиП – строительные нормы и правила (Минрегион), НПБ – нормы противопожарной безопасности (МЧС России), СанПиН – санитарные нормы и правила (Минздравсоцразвитие).

В перечень доказательной базы входят документы различного уровня принадлежности: строительные нормы и правила Российской Федерации (ФСП), Свод правил по проектированию, строительству, а также эксплуатации зданий и сооружений (ФСП), территориальные строительные нормы (ТСН), нормативно-правовые

документы уровня отдельных субъектов, отраслевые стандарты и другие документы (рис.1).

Согласно Постановлению Правительства РФ от 16.02.2008 N 87 ред. от 10.12.2014) "О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию", основой для разработки конструктивного и объемно-планировочного решения общественного здания является архитектурное решение.

Здания общественного назначения предназначены для временного пребывания людей и выполнения функциональных процессов определенного рода, характерных для каждого из типов общественного здания.

Архитектурное решение общественного здания разрабатывается на основании действующих нормативных документов, относящихся к конкретному типу проектируемого общественного здания, оформляется в виде эскизного проекта и

проходит стадию утверждения у Заказчика и Инвестора. На архитектурное решение влияют множество факторов и нормативных требований, таких как анализ градостроительной ситуации, градостроительных ограничений и обременений, общий градостроительный замысел, требования заинтересованных служб по ограничению высоты будущего здания, природно-климатические условия, существующая застройка (ее планировочная

структура и этажность), ориентация участка по сторонам света, его конфигурация, а так же функциональное назначение объекта, его типологические особенности, влияют на определение основных параметров здания: расположение, габариты, форму в плане, этажность и стилистическое решение, т.е. на архитектурное решение здания.



Рис. 2. Взаимосвязь нормативной базы при разработке разделов проектной документации

Общественные здания должны размещаться на отводимых для проектирования и строительства земельных участках, их размещение на генеральном плане необходимо осуществлять в соответствии с требованиями Федерального закона от 29 декабря 2004 г. N 190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации», Федерального закона от 25 ноября 2001 г. № 136-ФЗ «Земельный кодекс Российской Федерации», а также градостроительных нормативов субъекта РФ. Размеры земельных участков для размещения общественного здания, нормы расчета учреждений и предприятий обслуживания, радиусы пешеходной и автомобильной доступности, транспортная инфраструктура, а также си-

стема инженерного обеспечения должны приниматься на основании нормативных требований СП 42.13330.2016 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений». (Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89*.)

На основании утвержденного архитектурного решения, разрабатывается конструктивное и объемно-планировочное решения проектируемого здания. Ряд нормативных требований при разработке этих разделов пересекаются, на принятие решений по этим разделам влияют также нормативные требования и других разделом проекта (рис. 2).

Таким образом для подготовки качественной проектной документации, принятия нестандартных конкурентных конструктивных и объемно-планировочных решений, своевременного выявления и устранения ошибок проектирования на всех этапах, эффективных решений по снижению затрат при последующей эксплуатации зданий, необходимо использование современных нормативных баз, которые должны оперативно дополняться (заменяться) актуализированными нормативными документами системы технического регулирования Российской Федерации.

Потребность актуализации путем внесения изменений и дополнений в действующие строительные нормы и правила вызвана необходимостью:

- приведения ряда положений строительных норм и правил в соответствие с регулярно изменяющимися и дополняющимися положениями Градостроительного и Жилищного кодексов РФ, Федерального закона «О техническом регулировании»;

- решения вопросов, возникающих перед проектными и строительными организациями в связи с появлением и необходимостью внедрения тех или иных новых технологических и конструктивных решений;

- учета результатов исследований и лабораторных испытаний новых строительных материалов и изделий, отечественного и зарубежного опыта строительства и проектирования, потребностью в некоторых случаях гармонизации СНиП с международными техническими нормами и внедрения еврокодов;

- учета интенсивного развития техники и технологии строительства, инноваций в сфере энергосбережения;

- устранения ошибок и неоднозначности толкований, приведения устаревших положений СНиП в соответствие с современными нормативно-правовыми актами в области проектирования и строительства, рыночным характером отношений в строительной отрасли.

Эффективное решение данного вопроса может быть основано на создании и совершенствовании новой модели организации нормативной базы по блочному принципу. Эти блоки должны объединить нормативные требования различных уровней подчиненности и ведомственной принадлежности при поиске и для принятия верного проектного решения конкретной проблемы при разработке конструктивного и объемно-планировочного решения зданий общественного назначения.

Целесообразным путем развития системы будет являться разработка блоков модели орга-

низации нормативной базы для каждого типа зданий общественного назначения. Кроме того, построение информационной системы параметрического моделирования элементов объемно – планировочных решений зданий позволит не только осуществлять эффективную проектную экспертизу на стадии создания проектной документации, но и отыскивать и устранять многочисленные противоречия отдельных действующих документов существующей базы технического регулирования в области конструктивных и объемно – планировочных решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный Закон «О техническом регулировании» от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ (с изменениями от 09.05.2005 № 45-ФЗ, от 01.05.2007 № 65-ФЗ, от 01.12.2007 № 309-ФЗ, от 18.07.2009 № 189-ФЗ, от 30.12.2009 № 385-ФЗ).

2. Градостроительный кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс]: федер. закон РФ от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ (ред. от 30.12.2015) // Справочно-правовая система «КонсультантПлюс». Информ. банк. «Версия Проф.». Разд. «Законодательство». Федеральный закон № 384-ФЗ от 30.12.2009 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

3. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 N 87 ред. от 10.12.2014) «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».

4. СНиП 11-01-95 «Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений». Федеральный закон № 384-ФЗ от 30.12.2009 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

5. Постановление Правительства РФ от 5 марта 2007 г. N 145 «О порядке организации и проведения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий».

6. Федеральный закон № 384-ФЗ от 30.12.2009 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

7. ГОСТ Р 21.1001-2009 «Система проектной документации для строительства. Общие положения».

8. «Положение об организации и проведения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий».

9. ГОСТ Р 21.1001-2009 «Система проектной документации для строительства. Общие положения».

10. СНиП 10-01-94 – Система нормативных документов в строительстве. Основные положения.

11. ГОСТ Р 1.0-92 «Государственная система стандартизации Российской Федерации. Основные положения». www.nostroy.ru.

12. Avilova I.P., Naumov A.E., Shchenyatskaya M.A. Improving the economic efficiency of construction investments by means of technological risks management // Journal of Fundamental and Applied Sciences. 2016. Т. 8. № S2. С. 1502–1518.

13. Адамович В.В., Бархин Б.Г., Варезкин, В.А. Архитектурное проектирование общественных зданий и сооружений. М.: Стройиздат, Издание 2-е, перераб. и доп. 1984. 543 с.

14. Вилкова С.А. Основы технического регулирования. М.: Academia, 2017. 208 с.

15. Гусева Т.А., Чапкевич Л.Е. Комментарий к Федеральному закону «О техническом регулировании». М.: Юстицинформ, 2013. 168 с.

16. Гусева Т. А., Чапкевич Л.Е. Постатейный комментарий к Федеральному закону «О техническом регулировании». М.: Юстицинформ, 2014. 168 с.

17. Крундышев Б.Л. Архитектурное проектирование жилых зданий, адаптированных к специфическим потребностям маломобильной группы населения. Издание: Лань, 2012. 208 с.

18. Нейман К.И., Абакумов Р.Г., Наумов А.Е. Теоретические и практические аспекты строительного мониторинга при постреконструкционной эксплуатации // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. 2017. № 4 (22). С. 167–170.

19. Синенко С.А., Мамочкин С.А., Жадановский Б.В. Основы нормативной базы в строительстве. М.: Стройиздат, 2016. 200 с.

Информация об авторах

Чечель Иван Павлович, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: atlas616@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Наумов Андрей Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент кафедры экспертизы и управления недвижимостью. E-mail: kafeun@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в мае 2019 г.

© Чечель И.П., Наумов А.Е., 2019

^{1,*}**Chechel I.P., ¹Naumov A.E.**

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

*E-mail: golden-line7@yandex.ru

IMPROVEMENT OF METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF LEGAL BASES CONSTRUCTION OF TECHNICAL REGULATION IN THE FIELD OF CONSTRUCTIVE AND SPACE - PLANNING DECISIONS OF PUBLIC BUILDINGS

Abstract. The issue of technical regulation in the development of constructive and space-planning decisions for public buildings is considered. The paper's aim is to analyze the current system of technical regulation in the Russian Federation, to highlight it in the structure of regulatory documents relating to the development of project documentation "constructive and space-planning decisions" of public buildings. The need for such an analysis is determined by the absence of a unified information base of standards, the inconsistency of requirements in the documents of various departments and the lack of rapid updating of databases. Development of constructive and space-planning decisions of the designed public building is a fundamental component of the initial stage of an investment process. Therefore, the regulatory framework is necessary to provide the designer with operational information for the preparation of high-quality project documentation, reducing the number of expert comments to the adopted design decisions, the time frame for updating the design decisions and the investor's subsequent costs of operating the capital construction object. The analysis and evaluation of the effectiveness of the system present the authors' point of view on its further improvement by creating a new model for organizing the structure of the regulatory framework for technical regulation documents of public building, which should include blocks of standards for each type of public buildings.

Keywords: technical regulation, normative documents, voluntary application, evidence base, constructive and space-planning decisions.

REFERENCES

1. Federal Law "On technical regulation" of 27.12.2002 № 184 - FZ (with amendments dated 09.05.2005 No. 45 - FZ, dated 01.05.2007 No. 65 - FZ, of 01.12.2007 № 309 - FZ, dated 18.07.2009 No. 189 FZ, dated 30.12.2009 No. 385 - FZ) [*Federal'nyj Zakon «O tekhnicheskoy regulirovani» ot 27.12.2002 g. № 184 - FZ (s izmeneniyami ot 09.05.2005 №45 - FZ, ot 01.05.2007 № 65 - FZ, ot 01.12.2007 № 309 - FZ, ot 18.07.2009 №189 FZ, ot 30.12.2009 №385 - FZ)*].
2. Urban planning code of the Russian Federation [Electronic resource]: Feder. law of the Russian Federation of December 29, 2004 № 190-FZ (ed. from 30.12.2015). legal reference system "ConsultantPlus". Inform. bank. "Prof Version." Sec. «Legislation.» Federal law No. 384-FZ of 30.12.2009 "Technical regulations on the safety of buildings and structures" [*Gradostroitel'nyj kodeks Rossijskoj Federacii: feder. zakon RF ot 29 dekabrya 2004 g. № 190-FZ (red. ot 30.12.2015). Spravochno-pravovaya sistema «Konsul'tantPlyus». Inform. bank. «Versiya Prof.». Razd. «Zakonodatel'stvo». Federal'nyj zakon № 384-FZ ot 30.12.2009 «Tekhnicheskij reglament o bezopasnosti zdanij i sooruzhenij»*]. (rus)
3. Resolution of the Government of the Russian Federation of 16.02.2008 n 87 ed. from 10.12.2014) "on the composition of sections of project documentation and requirements for their content" [*Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 16.02.2008 N 87 red. ot 10.12.2014) "O sostave razdelov proektnoj dokumentacii i trebovaniyah k ih soderzhaniju"*]. (rus)
4. SNiP 11-01-95 "Instruction on the procedure for the development, approval, approval and composition of project documentation for the construction of enterprises, buildings and structures." Federal law No. 384-FZ of 30.12.2009 "Technical regulations on the safety of buildings and structures" [SNiP 11-01-95 «Instrukciya o poryadke razrabotki, soglasovaniya, utverzhdeniya i sostave proektnoj dokumentacii na stroitel'stvo predpriyatij, zdanij i sooruzhenij». Federal'nyj zakon № 384-FZ ot 30.12.2009 «Tekhnicheskij reglament o bezopasnosti zdanij i sooruzhenij»]. (rus)
5. The order of the Government of the Russian Federation of March 5, 2007 N 145 "about the order of the organization and carrying out the state examination of project documentation and results of engineering researches" [*Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 5 marta 2007 g. N 145 "O poryadke organizacii i provedeniya gosudarstvennoj ekspertizy proektnoj dokumentacii i rezul'tatov inzhenernyh izyskanij"*]. (rus)
6. Federal law No. 384-FZ of 30.12.2009 "Technical regulations on the safety of buildings and structures" [*Federal'nyj zakon № 384-FZ ot 30.12.2009 «Tekhnicheskij reglament o bezopasnosti zdanij i sooruzhenij»*]. (rus)
7. GOST R 21.1001-2009 "System of design documentation for construction. Generalities» [GOST R 21.1001-2009 «Sistema proektnoj dokumentacii dlya stroitel'stva. Obshchie polozheniya»].
8. "Regulations on the organization and conduct of state examination of project documentation and results of engineering surveys" [«Polozhenie ob organizacii i provedeniya gosudarstvennoj ekspertizy proektnoj dokumentacii i rezul'tatov inzhenernyh izyskanij»]. (rus)
9. GOST R 21.1001-2009 "System of design documentation for construction. Generalities» [GOST R 21.1001-2009 «Sistema proektnoj dokumentacii dlya stroitel'stva. Obshchie polozheniya»].
10. SNiP 10-01-94-system of normative documents in construction. Fundamentals [SNiP 10-01-94 – Sistema normativnyh dokumentov v stroitel'stve. Osnovnye polozheniya]. (rus)
11. GOST R 1.0-92 "State system of standardization of the Russian Federation. General provisions" [GOST R 1.0-92 «Gosudarstvennaya sistema standartizacii Rossijskoj Federacii. Osnovnye polozheniya»]. www.nostroy.ru. (rus)
12. Avilova I.P., Naumov A.E., Shchenyatskaya M.A. Improving the economic efficiency of construction investments by means of technological risks management. Journal of Fundamental and Applied Sciences. 2016. Vol. 8. No. S2. Pp. 1502–1518.
13. Adamovich V.V., Barkhin B.G., Varezkin V.A., Architectural design of public buildings and structure [Arhitekturnoe proektirovanie obshchestvennyh zdanij i sooruzhenij]. Moscow: Stroyizdat, Edition 2-e, pererab. i dop. 543 p. (rus)
14. Vilkova S. The Basics of technical regulation [Osnovy tekhnicheskogo regulirovaniya]. Moscow: Academy, 2017. 208 p. (rus)
15. Guseva T.A., Chapkevich L.E. Comment To the Federal law "on technical regulation" [Kommentarij k Federal'nomu zakonu "O tekhnicheskoy regulirovani»]. Moscow: Yustitsinform. 2013, 168 p. (rus)
16. Guseva T.A., Chapkevich L.E. Article-by-Article commentary to the Federal law "On technical regulation" [Postatejnyj kommentarij k Federal'nomu zakonu "O tekhnicheskoy regulirovani»]. Moscow: Yustitsinform. 2014, 168 p. (rus)
17. Krundishev B.L. Architectural design of residential buildings, adapted to specific needs of people with limited mobility [Arhitekturnoe proektirovanie zhilyh zdanij, adaptirovannyh k specificheskim potrebnyam malomobil'noj grupy naseleniya]. Edition: Lany, 2012, 208 p. (rus)
18. Neyman K.I., Abakumov R.G., Naumov A.E. Theoretical and practical aspects of construction monitoring during post-construction operation.

Innovative economy: development and improvement prospects [*Teoreticheskie i prakticheskie aspekty stroitel'nogo monitoringa pri postrekonstrukcionnoj ekspluatatsii*]. 2017. No. 4 (22). Pp. 167–170. (rus)

19. Sinenko S.A., Mamochkin S.A.,

Zhadanovsky B.V. Fundamentals of the regulatory framework in construction [*Osnovy normativnoj bazy v stroitel'stve*]. Moscow: Stroyizdat. 2016. 200 p. (rus)

Information about the authors

Chechel, Ivan P. Postgraduate student. E-mail: atlas616@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

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

Received in May 2019

Для цитирования:

Чечель И.П., Наумов А.Е. Совершенствование методологических основ построения нормативной базы технического регулирования в области конструктивных и объемно-планировочных решений общественных зданий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 7. С. 41–48. DOI: 10.34031/article_5d35d0b6a9f3c8.14419249

For citation:

Chechel I.P., Naumov A.E. Improvement of methodological bases of construction of the legal bases of technical regulation in the field of constructive and space-planning decisions of public buildings. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 7. Pp. 41–48. DOI: 10.34031/article_5d35d0b6a9f3c8.14419249

DOI: 10.34031/article_5d35d0b78284d1.97759530

¹Абдразаков Ф.К., ^{1,*}Поваров А.В.¹Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова

Россия, 410012, Саратов, Театральная пл., 1

*E-mail: povarov-av2012@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ МНОГОКВАРТИРНОГО ДОМА

Аннотация. Выполнен анализ существующих исследований в области системы естественной вентиляции, определены имеющиеся общие недостатки, характерные для системы вентиляции многоквартирных жилых домов серии 114-85 вторичного жилищного фонда. Показана неустойчивость работы системы естественной вентиляции многоквартирного жилого дома, характеризующаяся переменным воздухообменом и опрокидыванием вентиляции в вентиляционных каналах. Проведены натурные исследования эффективности работы системы естественной вентиляции помещений многоквартирного жилого дома серии 114-85, расположенного в г. Саратове. По результатам исследований выявлено отсутствие тяги и наличие обратной тяги в вытяжных каналах системы вентиляции. Установлена изначальная причина отсутствия нормальной тяги в системе вентиляции, связанная с ее расчетом в проекте строительства дома серии 114-85 для открытого режима работы. Определена повышенная герметичность окон и дверей квартир, приводящая к обратной тяге и невозможности равномерного распределения воздуха по вертикали дома, из-за чего устройство только вытяжной системы естественной вентиляции многоквартирного дома является неэффективным. Установлено, что на вытяжку воздуха из помещений квартир постоянно работает только вентиляционный канал на кухне, поскольку двери в ванную и санузел имеют плотный притвор, не соответствующий нормативным показателям. Выполнен анализ работы системы вентиляции на примере трехкомнатных квартир одного подъезда жилого дома, показавший необходимость применения дополнительных приточных устройств для регулируемого притока наружного воздуха в помещения квартир. Предусмотрено применение приточных стеновых клапанов марки КИВ-125 и оконных вентиляционных клапанов марки Air Vox Comfort. Представлена методика подбора современных высокоэффективных энергосберегающих моделей турбодетекторов, повышающих тягу в вытяжных вентиляционных каналах на 40 % и независимых от направления и порывов ветра.

Ключевые слова: многоквартирный дом, микроклимат помещений, естественная вентиляция, воздухообмен.

Введение. Воздухообмен в жилых помещениях многоквартирных домов серии 114-85 вторичного жилищного фонда г. Саратова обеспечивается за счет системы естественной вентиляции, как наиболее экономичной. Эффективность и правильность работы системы вентиляции помещений многоквартирных жилых домов оказывает прямое влияние на обеспечение комфортности и безопасности проживания в них людей. По данным АО «Саратовгаз» в 2017 году в г. Саратове 61 человек пострадал от отравления угарным газом, в 2018 г. пострадало от отравления угарным газом 54 человека, из них 21 человек – по причине отсутствия тяги и наличия обратной тяги в вентиляционных каналах при применении газоиспользующего оборудования [1].

Неустойчивая работа системы естественной вентиляции многоквартирного жилого дома характеризуется переменным воздухообменом, создаваемым системой, неравномерностью воздухообмена и температур внутреннего воздуха по этажам, опрокидыванием вентиляции в вентиляционных каналах. Опрокидывание вентиляции в

вентиляционных каналах носит необратимый характер и требует включения дополнительных источников тяги, например, повышенного ветрового напора [2].

Задача повышения эффективности работы системы естественной вентиляции многоквартирных жилых домов серии 114-85 вторичного жилищного фонда в настоящее время является до конца не решенной и поэтому актуальной.

Методика. Проводились натурные исследования по определению эффективности работы системы естественной вентиляции каменного многоквартирного жилого дома серии 114-85 (рис. 1). Этажность объекта – 10. Год постройки – 1987. Район эксплуатации – г. Саратов. Здание расположено в жилой застройке с уровнем транспортного шума у фасада $L_{A2m}=53$ дБА [1]. Оконные и дверные балконные блоки выполнены из ПВХ-профилей с двухкамерными стеклопакетами.

Система вентиляции дома - естественная, с неорганизованным притоком воздуха через не плотности ограждающих конструкций и организованным удалением воздуха через вытяжные

вентиляционные каналы, расположенные на кухне и в санузле [1, 3]. Каждый вертикальный вытяжной вентиляционный канал квартир имеет два ствола, по одному осуществляется транзит воздуха из кухонь, по другому – из санузла и ванной комнаты. Вентиляционные индивидуальные каналы сечением 140×140 мм вытяжной системы вентиляции расположены во внутренних кирпичных стенах и имеют непосредственный выход на крышу, поскольку многоквартирный дом имеет «холодный чердак». Вытяжные каналы системы вентиляции на кровле здания оборудованы зонтиками (рис. 2).



Рис. 1. Исследуемый многоквартирный жилой дом серии 114-85 в г. Саратове

Исследования системы вентиляции проводились в зимние месяцы (декабрь 2018 г. – январь 2019 г.). В холодный период года измерения показателей микроклимата проводились при температуре наружного воздуха не выше минус 5°C при наличии облачности [1].

Применяемые при исследовании системы вентиляции и определения параметров микроклимата помещений квартир приборы и оборудование: измеритель параметров микроклимата «МЕТЕОСКОП - М», Пирометр «ADA TemPro



Рис. 3. Замеры скорости воздуха в помещениях квартир

Проведенные инструментальные замеры подтвердили отсутствие тяги и наличие обратной тяги в вытяжных каналах системы вентиляции ряда квартир (рис. 3). Измеренные величины воз-

550», анемометр крыльчатый «Testo 410-1», рулетка, штангенциркуль, фотоаппарат (рис. 3) [1, 4].



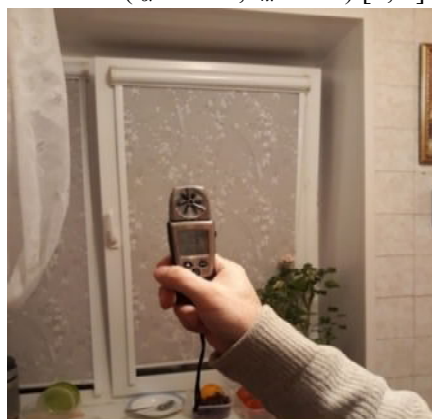
Рис. 2. Расположение вентиляционных каналов во внутренних кирпичных стенах с выходом на кровлю дома

На основании СТО НП «АВОК» 2.1-2017 «Здания жилые и общественные. Нормы воздухообмена» расход воздуха в вытяжном канале определялся по результатам замеров скорости движения воздуха v_i на соответствующих участках системы вентиляции. С учетом площади их поперечного сечения f_i расход воздуха составил, $\text{м}^3/\text{ч}$ [1, 5, 6]:

$$L_{\text{изм.}i} = 3600v_i f_i, \quad (1)$$

где v_i – расчетная скорость движения воздуха на i -ом участке вытяжного канала, $\text{м}/\text{с}$; f_i – площадь поперечного сечения вентиляционного вытяжного канала, м^2 .

Оценка эффективности системы естественной вентиляции проводилась при разности температур внутреннего и наружного воздуха 13°C и выше ($t_{\text{в}}=20^\circ\text{C}$, $t_{\text{н}}=5^\circ\text{C}$) [1, 7].



духообмена в квартирах при закрытых окнах составили всего $3,9 \text{ м}^3/\text{ч}$, а при открытии створок окон – $58,4 \text{ м}^3/\text{ч}$, что говорит о повышенной герметичности окон и дверей и невозможности обес-

печения требуемого воздухообмена в помещениях квартир (таблица 1). Данные выводы подтверждаются и результатами замеров, сделанных в вытяжных вентиляционных каналах.

Таблица 1

**Измеренные величины воздухообмена
в помещениях дома**

Положение окна	Величина воздухообмена, м ³ /ч	От нормативного значения, %	
		2-х комнатная квартира	3-х комнатная квартира
Закрытые створки окон	1,51–3,9	1,17–3,3	1,15–3,1
Открытые створки окон (до упора)	44,2–58,4	35,2–48,8	31,1–44,6

Было установлено, что отсутствие нормальной тяги в системе вентиляции исследованных квартир связано изначально с тем, что расчет системы вентиляции с естественным побуждением по проекту строительства домов серии 114-85 был выполнен для открытого режима ($t_n=5^\circ\text{C}$), т. е. при открытых форточках или створках. Проектом запрещалось заклеивать форточки или узкие створки окон, заделывать щели под дверями в санузел и кухни (0,02 м), устанавливать в вентиляционные каналы вентиляторы в квартирах с 1 по 7 этажи. В настоящее время жильцы квартир верхних этажей вынуждены постоянно открывать створки окон для создания нормальной тяги в каналах системы вентиляции. Фактически на вытяжку воздуха из помещений квартиры постоянно работает только вентиляционный канал, расположенный на кухне, поскольку двери в ванную и санузел открываются редко и имеют плотный притвор, то есть отсутствует необходимый проектный зазор снизу дверей, равный 0,02 м.

Результаты данных исследований говорят о повышенной герметичности окон и дверей квартир, которая приводит к опрокидыванию движения воздуха в вытяжных каналах (обратная тяга), перемещению его из верхних этажей дома в нижние и невозможности его равномерного распределения по вертикали дома. Таким образом, устройство только вытяжной системы естественной вентиляции многоквартирного жилого дома серии 114-85 оказалось неэффективным [1, 2, 5, 8].

Основная часть. В ходе исследований был проведен анализ работы системы вентиляции на примере трехкомнатных квартир одного подъезда рассматриваемого многоквартирного жилого дома.

На основании СП 60.13330.2016 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» и СП 54.13330.2016 «Здания жилые многоквартирные» расчетными для проектирования естественной вытяжной вентиляции являются нормативные условия: температура наружного воздуха $+5^\circ\text{C}$, безветрие, температура внутреннего воздуха равна расчетной, фрамуги окон открыты.

С учетом данных СП 131-13330.2012 «Строительная климатология» были учтены расчетные параметры холодного периода года: температура внутреннего воздуха $t_v=20^\circ\text{C}$; температура наружного воздуха $t_n=-25^\circ\text{C}$; расчетная скорость ветра $v_g=3,5$ м/с.

Определили требуемый воздухообмен в 3-х комнатной квартире, для чего приняли количество проживающих – 3 человека.

Общая площадь квартиры составляет $F_{\text{общ}}=61,53$ м²; площадь жилых помещений квартиры $F_{\text{жил}}=38,5$ м²; высота помещений $h=2,48$ м; на кухне установлена четырехконфорочная газовая плита ПГ-4; объем отапливаемых помещений $V_{\text{от.п.}}=152,6$ м³; объем жилых помещений $V_{\text{жил.п.}}=95,5$ м³.

Согласно СП 60.13330.2016 воздухообмен квартиры должен быть не менее суммарной нормы вытяжки из санузла, ванной комнаты и кухни или нормы притока, равной не менее 1 крата при жилой площади менее 20 м² на человека.

Требуемый воздухообмен жилых помещений квартиры в режиме обслуживания составил (приточный воздух):

$$L_{\text{тр.жил.}} = 95,5 \cdot 1 = 95,5 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

$$\text{Приняли } L_{\text{тр.жил.}} = 100 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Сопоставление величин требуемого воздухообмена жилых помещений (приточный воздух) $L_{\text{тр.жил.}} = 100$ м³/ч и суммарного воздухообмена кухни, санузла, ванной и коридора (удаляемый воздух) $L_{\text{сум.}} = 90 + 50 + 25 + 0 = 165$ м³/ч, показало $L_{\text{сум.}} > L_{\text{тр.жил.}}$ то в качестве расчетного воздухообмена квартиры была принята наибольшая величина $L_{\text{тр.раб.}} = 165$ м³/ч.

Таким образом, система естественной вентиляции 3-х комнатной квартиры должна обеспечивать расчетный воздухообмен в режиме обслуживания (в режиме проектной эксплуатации) $L_{\text{тр.раб.}}=165$ м³/ч; в нерабочем режиме $L_{\text{тр.нер.}} = 19,1$ м³/ч.

В теплый период года требуемый воздухообмен в помещениях квартир жилого дома может быть обеспечен за счет сквозного проветривания при открытии оконных створок и балконных дверей [1, 2], поэтому аэродинамический расчет вентиляции на данные условия не проводился.

Схема вытяжной системы вентиляции многоквартирного жилого дома серии 114-85 представлена на рис. 4. Вентиляционные вертикальные каналы с 1-го по 6-ой этажи секций дома соединяются в перекрытии 6-го этажа, а далее вертикальный вентиляционный канал выходит непосредственно на крышу здания; вентиляционные каналы с 7-го по 10-й этажи соединяются и центральный вентиляционный канал также выходит на крышу здания.



Рис. 4. Схема системы вытяжной вентиляции многоквартирного жилого дома

Для квартир 1-го и 10-го этажей располагаемый перепад давлений составил:

$$\Delta P_{p,1}^{1\text{эт}} = 31,19 \cdot 9,81 \cdot (1,270 - 1,205) = 19,89 \text{ Па};$$

$$\Delta P_{p,2}^{10\text{эт}} = 5,99 \cdot 9,81 \cdot (1,270 - 1,205) = 3,82 \text{ Па}.$$

Потери давления на трение и местные сопротивления в вытяжных каналах определяли, задавая по всем участкам расчетные расходы воздуха [2, 5, 9]:

$$\Delta P_{\text{пот.в.}i} = \sum (R_i \cdot l_i \cdot \beta_i + z_i), \quad (2)$$

где l_i – длина i -го участка вентиляционного канала, м; β_i – поправочный коэффициент, учитывающий шероховатость поверхности воздуховодов; R_i – удельные потери давления на трение на i -ом участке вытяжного канала (Па/м), определяемые по номограммам с учетом приведения расчетных размеров вытяжных каналов к эквивалентному диаметру $d_{\text{э}}$; z_i – потери давления в местных сопротивлениях на i -ом участке вытяжного канала, Па.

Потери давления в местных сопротивлениях [2, 5]:

$$z_i = \left(\sum \xi_i \cdot v_i \cdot \frac{2}{2} \right) \cdot \rho_{\text{в}}, \quad (3)$$

где $\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха, кг/м³; $\sum \xi_i$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений на i -ом

участке, определяемая по расчетной схеме системы вентиляции с учетом значений.

В частности, для участка 1 вытяжного канала первого этажа системы ВЕ-1: расход воздуха – $L_{\text{уд.1}} = 120 \text{ м}^3/\text{ч}$; длина участка – $l_1 = 2,8 \text{ м}$; эквивалентный диаметр квадратного канала сечением $140 \times 140 \text{ мм}$ равен $d_{\text{э}} = 2 \cdot \frac{a}{\sqrt{\pi}} = 2 \cdot \frac{0,14}{\sqrt{3,14}} = 0,160 \text{ м}$; скорость движения воздуха $v_i = \frac{60}{3600 \cdot 0,14 \cdot 0,14} = 0,85 \text{ м/с}$ (полученное значение входит в допустимый предел); потери давления на трение $R_i = 0,052 \text{ Па/м}$; поправочный коэффициент, учитывающий шероховатость поверхности воздуховодов $\beta_1 = 1,4$ в кирпичных стенах [1]; сумма коэффициентов местных сопротивлений $\sum \xi_i = 4,23$ (вентиляционная решетка $\zeta=2,1$; поворот $\zeta=1,03$) [1, 2].

Скорость воздуха на входе в вентиляционный канал была найдена с учетом пересчета расхода воздуха на комнатную температуру ($t_{\text{в}}=20 \text{ }^\circ\text{C}$) как отношение плотностей воздуха на входе и на выходе из вентиляционного канала.

Необходимо отметить, что располагаемое давление в квартирах верхних этажей может достигнуть отрицательных значений, что приведет к блокировке работы системы вентиляции жилого дома. Поэтому, необходимо применение специальных приточных устройств для регулируемого притока наружного воздуха в помещения квартир [1, 10, 11, 12]. Дополнительный приток воздуха предусматривается за счет применения технических устройств, не требующих для своей работы затрат электрической энергии. К таким устройствам относятся стеновые вентиляционные приточные клапаны и оконные вентиляционные приточные клапаны.

По разности давлений между располагаемым давлением и суммарными потерями давления в вытяжных каналах для каждого этажа дома определили долю располагаемого давления, под действием которого происходит приток воздуха $\Delta P_{\text{пр.}j}$, Па [1]:

$$\Delta P_{\text{пр.}j} = \Delta P_{pj} - \sum \Delta P_{\text{пот.выт.}j} \quad (4)$$

где ΔP_{pj} – располагаемое давление, Па; $\sum \Delta P_{\text{пот.выт.}j}$ – суммарные потери давления в вытяжных каналах для каждого этажа дома, Па.

Для вытяжной системы ВЕ-1 квартиры на 1-м этаже:

$$\Delta P_{\text{пр.1,ВЕ-1}} = 19,89 - 4,95 = 14,94 \text{ Па}$$

Для вытяжной системы ВЕ-2 квартиры на 7-м этаже:

$$\Delta P_{\text{пр.7,ВЕ-2}} = 9,18 - 2,55 = 6,62 \text{ Па}$$

Для вытяжной системы ВЕ-1 квартиры на 6-м этаже:

$$\Delta P_{\text{пр.6,ВЕ-1}} = 10,96 - 4,15 = 6,81 \text{ Па}$$

Для вытяжной системы ВЕ-2 квартиры на 10-м этаже:

$$\Delta P_{\text{пр.10,ВЕ-2}} = 3,82 - 0,79 = 3,03 \text{ Па.}$$

В качестве расчетного перепада давления, приходящегося на преодоление аэродинамического сопротивления приточных стеновых клапанов и оконных приточных клапанов, приняты следующие величины: для 1-го этажа – $\Delta P_{\text{пр.1эт}} = 19,94 \text{ Па}$; для 10-го этажа – $\Delta P_{\text{пр.10эт}} = 7,79 \text{ Па}$.

По полученным значениям $\Delta P_{\text{пр}}$ и характеристикам установленных в квартирах оконных блоков и планируемых к установке приточных стеновых клапанов КИВ-125 и оконных вентиляционных клапанов Air Box Comfort были приняты следующие значения поступления воздуха:

для квартир 1-го этажа:

$$L_{\text{клап1эт}} = 38,3 \text{ м}^3/\text{ч}; L_{\text{ок.клап1эт}} = 30,0 \text{ м}^3/\text{ч};$$

для квартир 10-го этажа:

$$L_{\text{клап10эт}} = 18,5 \text{ м}^3/\text{ч}; L_{\text{ок.клап10эт}} = 15,1 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Расчетный расход приточного воздуха с учетом площади оконных блоков и количества приточных вентиляционных устройств $L_{\text{пр}}$ представлен в таблице 2.

Полученные результаты показывают необходимость установки в вытяжных вентиляционных каналах квартир 10-го этажа дополнительных осевых вытяжных вентиляторов с обратными клапанами, подбираемых по недостающему перепаду давлений 7,79 Па. По заводским характеристикам подобраны вентиляторы, обеспечивающие необходимый расход воздуха: для кухни осевой вентилятор марки «Вентс 125 Квайт ТН»; для санузла осевой вентилятор марки «Вентс 100 Квайт».

Поскольку работа вытяжной системы естественной вентиляции имеет неустойчивый характер (особенно в летний период года) [2, 13, 14, 15], то для ее стабилизации подобраны эффективные модели турбодефлекторов, повышающих тягу в вентиляционных каналах на 40 % и независимых от направления и порывов ветра.

Таблица 2

Результаты расчета воздухообмена в 3-х комнатных квартирах по этажам жилого дома с установкой стеновых вентиляционных клапанов и приточных оконных клапанов

№ этажа	ΔP_p , Па	$\Sigma \Delta P_{\text{пот}}^{\text{выт}}$, Па		$\Delta P_{\text{пр}}$, Па		$\Delta P_{\text{пр}}^{\text{расч}}$, Па	$L_{\text{клап}}$, м ³ /ч	$L_{\text{ок.клап}}$, м ³ /ч	$L_{\text{пр}}$, м ³ /ч
		ВЕ-1	ВЕ-2	ВЕ-1	ВЕ-2				
1	19,89	4,95	-	14,94	-	19,94	38,3	30,0	206
2	18,10	4,89	-	13,21	-	17,21	38,0	29,6	203
3	16,32	4,83	-	11,48	-	15,48	37,0	29,3	199
4	14,53	4,71	-	9,82	-	13,82	36,7	28,2	193
5	12,75	4,49	-	8,26	-	11,26	36,5	27,4	190
6	10,96	4,15	-	6,81	-	10,11	36,3	26,2	187
7	9,18	-	2,55	-	6,62	9,50	36,0	25,7	183
8	7,39	-	2,09	-	5,30	8,51	30,1	24,3	173
9	5,60	-	0,95	-	4,65	8,01	28,1	24,3	168
10	3,82	-	0,79	-	3,03	7,79	18,5	15,1	101

Подбор модели турбодефлектора рекомендуется осуществлять по следующей схеме:

1 – определить выход вентиляции на кровлю здания;

2 – рассчитать суммарный объем вытяжки из вентиляционных каналов для одного выхода системы вентиляции на кровлю дома. Суммарный объем вытяжки по 10-ти этажам жилого дома составил 1650 м³/ч, поэтому требуемая производительность турбодефлекторов должна быть не менее $Q_{\text{т.д.}} = 1650 \text{ м}^3/\text{ч}$.

3 – определить среднемесячную скорость ветра. На основании данных СП 131-13330.2012 была принята скорость ветра для худшего по про-

изводительности системы естественной вентиляции месяца г. Саратова – июля: скорость ветра 3,5 м/с;

4 – подобрать по требуемой производительности и скорости ветра, а также по габаритным (рис. 5) и монтажным размерам модель турбодефлектора с соответствующим неподвижным основанием.

По требуемой производительности $Q_{\text{тр.}} = 1650 \text{ м}^3/\text{ч}$ и скорости ветра 3,5 м/с для вытяжки из вентиляционных каналов для одного выхода системы вентиляции на кровлю дома подобран турбодефлектор модели Т-500, производительностью $Q_{\text{т.д.}} = 1200 \text{ м}^3/\text{ч}$ в количестве 2 шт.

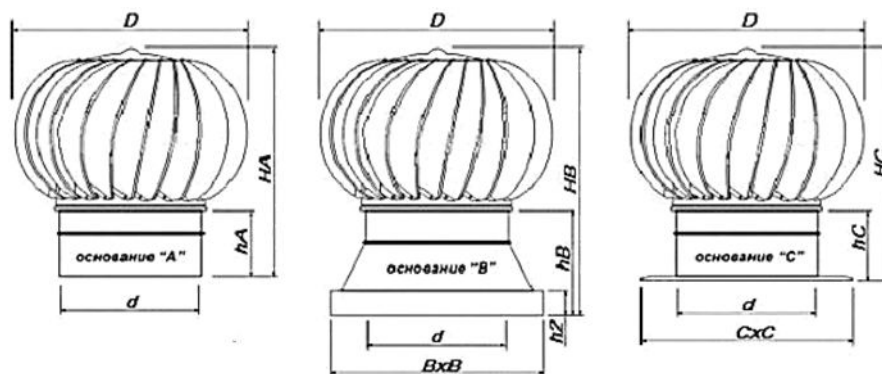


Рис. 5. Габаритные размеры турбодефлекторов

Общее количество турбодефлекторов модели Т-500, монтируемых на выход вентиляционных каналов на кровлю многоквартирного жилого дома, составляет 98 шт.

Выводы. Повышение эффективности работы системы естественной вентиляции позволит создать оптимальные и безопасные санитарно-гигиенические условия и повысить качество проживания в многоквартирных жилых домах серии 114-85. Применение в системе вентиляции дополнительных технических устройств, не требующих для своей работы затрат электрической энергии, является актуальным при постоянном росте тарифов, и является аналогом технически сложного и дорогостоящего оборудования механической приточно-вытяжной системы вентиляции, требующего значительных затрат на обслуживание и ремонты в процессе эксплуатации. Побуждение системы естественной вентиляции путем установки высокоэффективных турбодефлекторов позволит предотвратить такое опасное явление как образование обратной тяги и будет способствовать полному удалению из помещений квартир загрязненного воздуха за счет увеличения тяги в вытяжной системе вентиляции на 40 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абдразаков Ф.К., Поваров А.В. Обследование технического состояния многоквартирного жилого дома с целью повышения эффективности системы вентиляции // Проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения. Материалы VIII Национальной конференции с международным участием (15-16 ноября 2018 г.) Саратов: изд. центр «Наука», 2018. С. 8–12.
2. Волов Г.Я. Устойчивость работы систем естественной вентиляции многоквартирных жилых зданий [Электронный ресурс] // АВОК. 2014. № 1.
URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5724 (11.12.2018).

3. Абдразаков Ф.К., Поваров А.В. Состояние вторичного жилищного фонда города Саратова // Исследования в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении: Материалы междунар. науч.-практ. конф. Под редакцией Ф.К. Абдразакова (17-18 ноября 2016 г.), Саратов: ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2016. С. 17–20.

4. Абдразаков Ф.К., Поваров А.В. Современные методы обследования технического состояния зданий // Тенденции развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: Материалы междунар. науч.-практ. конф. Под редакцией Ф.К. Абдразакова (17-18 ноября 2016 г.), Саратов: ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2016. С. 21–25.

5. Жилина Т.С., Вяткина С.Д., Вяткина Ю.С. Влияние работы систем естественной вентиляции на микроклимат помещений в жилых зданиях // Молодой ученый. 2016. № 8. С. 214–218.

6. Sassi P.A Natural Ventilation Alternative to the Passive house Standard for a Mild Maritime Climate // Buildings. 2013. No.3. Pp. 61–78.

7. Кузин В.Ю., Бодров М.В., Морозов М.С. Повышение энергетической эффективности систем обеспечения параметров микроклимата многоквартирных жилых домов // Жилищное строительство. 2015. № 6. С. 48–50.

8. Кривошеин А.Д. Обеспечение регулируемого притока в зданиях: проблемы и решения // АВОК. 2018. № 4. С. 32–38.

9. Chen H, Janbakhsh S, Larsson U, Moshfegh B. Numerical investigation of ventilation performance of different air supply devices in an office environment // Building and Environment. 2015. Vol. 90. Pp. 37–50.

10. Ahn H., Rim D., James L.Lo. Ventilation and energy performance of partitioned indoor spaces under mixing and displacement ventilation // Building Simulation. 2018. Vol. 11. Issue 3. Pp. 561–574.

11. Бродач М.М. Вентиляция и сертификация – основы экологической безопасности жилища // АВОК. 2017. № 1. С. 58–62.

12. Шилкин Н.В., Шонинан Н.А., Миллер

Ю.В., Галуша А.Н. Гибридная вентиляция в многоэтажных жилых домах: варианты решения // АВОК. 2018. № 5. С. 12–18.

13. Schiavon S., Rim D., Pasut W., Nazaroff W.W. Sensation of draft at uncovered ankles for women exposed to displacement ventilation and underfloor air distribution systems // Building and Environment. 2016. Vol. 96. Pp. 228–236.

14. Береговой А.М., Дерина М.А. Вопросы

повышения энергоэффективности зданий в стадии проектирования и восстановления [Электронный ресурс] // Современные научные исследования и инновации. 2015. №5. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/05/54441> (12.12.2018).

15. Мальцев А.В., Сорокин Д.С. Энергосбережение в многоэтажных жилых зданиях при инфильтрации воздуха через наружную стену // Новый университет. 2015. № 3-4 (37-38). С. 87–90.

Информация об авторах

Абдразаков Фярид Кинжаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения. E-mail: abdrazakov.fk@mail.ru. Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова. Россия, 410012, Саратов, Театральная пл., 1.

Поваров Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения. E-mail: povarov-av2012@yandex.ru. Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова. Россия, 410012, Саратов, Театральная пл., 1.

Поступила в марте 2019 г.

© Абдразаков Ф.К., Поваров А.В., 2019

¹*Abdrazakov F.K., ^{1,*}Povarov A.V.*
Saratov State Agricultural University N.I. Vavilova.
Russia, 410600, Saratov, Teatralnaya Square, 1.
^{*}E-mail: povarov-av2012@yandex.ru

RESEARCH EFFICIENCY OF NATURAL VENTILATION SYSTEM OF APARTMENT BUILDING

Abstract. The analysis of existing research in the field of ventilation systems is performed and the current shortcomings of the ventilation systems of secondary apartment houses of series 114–85 are identified. The instability of the natural ventilation system of an apartment building characterized by variable air exchange and overturning ventilation in the ventilation ducts is demonstrated. Field studies of the natural ventilation system efficiency of an apartment house series 114–85 located in Saratov are carried out. According to the research results, the absence of traction and the presence of reverse traction in the exhaust ducts of the ventilation system are revealed. The initial reason for the lack of normal traction in the ventilation system associated with its calculation in the project of building a house series 114–85 for open mode operation is established. The increased tightness of windows and doors of apartments is determined, resulting in a reversed traction and the impossibility of uniform distribution of air vertically of the house, therefore installing only the exhaust system of the natural ventilation of an apartment building is inefficient. It is established that the ventilation channel in the kitchen is constantly working to extract air from the premises of the apartments, since the bathroom door is tightly closed that does not correspond to the normative indicators. The analysis of ventilation system on the example of three-bedroom apartments shows the need for additional supply devices for controlled flow of outside air into the premises of apartments. The use of supply wall valves of KIV-125 brand and window ventilation valves of Air Box Comfort brand is provided. A methodology of selection the modern, highly efficient energy saving models of turbo ventilators is presented, increasing traction in exhaust ventilation ducts at 40 % and independent of direction and wind gusts.

Keywords: apartment house, indoor climate, automatic ventilation, interchange of air.

REFERENCES

1. Abdrazakov F.K., Povarov A.V. Inspection of the technical condition of an apartment building in order to increase the efficiency of the ventilation system. Problems and prospects of development of construction, heat and energy [Obsledovanie tekhnicheskogo sostoyaniya mnogokvartirnogo zhilogo doma s cel'yu povysheniya effektivnosti sistemy ventilyacii]. Problemy i perspektivy razvitiya stroitel'stva,

teplogazosnabzheniya i energoobespecheniya. Materialy VIII Nacional'noj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem (15-16 noyabrya 2018 g.). Saratov: izd. centre "Nauka", 2018. Pp. 8–12. (rus)

2. Volov G.Y. The stability of natural ventilation of multi-family buildings [Ustojchivost' raboty sistem estestvennoj ventilyacii mnogokvartirnykh zhidlykh zdaniy]. AVOK, 2014. No. 1. Available at:

https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5724 (accessed 11.12.2018). (rus)

3. Abdrazakov F.K., Povarov A.V. The condition of the secondary housing stock of the city of Saratov [*Sostoyaniye vtorichnogo zhilishchnogo fonda goroda Saratova*]. Issledovaniya v stroitel'stve, teplogazosnabzhenii i energoobespechenii: Materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Pod redakciey F.K. Abdrazakova (17-18 noyabrya 2016 g.). Saratov: FGBOU in the Saratov State University, 2016, Pp. 17–20. (rus)

4. Abdrazakov F.K., Povarov A.V. Modern methods of inspection of the technical condition of buildings [*Sovremennyye metody obsledovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya zdaniy*]. Tendencii razvitiya stroitel'stva, teplogazosnabzheniya i energo-obespecheniya: Materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Pod redakciey F.K. Abdrazakova (17-18 noyabrya 2016 g.). Saratov: FGBOU in the Saratov State University, 2016, Pp. 21–25. (rus)

5. Zhilina T.S., Vyatkina S.D., Vyatkina Yu.S. Impact of natural ventilation on microclimate of space in residential buildings [*Vliyaniye raboty sistem estestvennoy ventilyatsii na mikroklimat pomeshcheniy v zhilykh zdaniyakh*]. The young scientist. 2016. No. 8. Pp. 214–218. (rus)

6. Sassi P. A Natural Ventilation Alternative to the Passive house Standard for a Mild Maritime Climate. Buildings. 2013. No. 3. Pp. 61–78.

7. Kuzin V.Yu., Bodrov M.V., Morozov M.S. Improving energy efficiency of systems of microclimate parameters multi-family homes [*Povysheniye energeticheskoy effektivnosti sistem obespecheniya parametrov mikroklimata mnogokvartirnykh zhilykh domov*]. Housing construction. 2015. No. 6. Pp. 48–50. (rus)

8. Krivoshein A.D. Provision of regulated flows in buildings: problems and solutions [*Obespecheniye reguliruemogo pritoka v zdaniyakh: problemy i resheniya*]. AVOK. 2018. No. 4. Pp. 32–

38. (rus)

9. Chen H., Janbakhsh S., Larsson U., Moshfegh B. Numerical investigation of ventilation performance of different air supply devices in an office environment. Building and Environment. 2015. Vol. 90. Pp. 37–50.

10. Ahn H., Rim D., James L. Lo. Ventilation and energy performance of partitioned indoor spaces under mixing and displacement ventilation. Building Simulation. 2018. Vol. 11. Issue 3. Pp. 561–574.

11. Brodach M.M. Ventilation and certification-fundamentals of environmental security of dwelling [*Ventilyatsiya i sertifikatsiya – osnovy ekologicheskoy bezopasnosti zhilishcha*]. AVOK. 2017. No. 1. Pp. 58–62. (rus)

12. Shilkin N.V., Shoninan N.A., Miller Yu.V., Galusha A.N. Hybrid ventilation in apartment houses: solutions [*Gibridnaya ventilyatsiya v mnogoetazhnykh zhilykh domakh: varianty resheniya*]. AVOK. 2018. No. 5. Pp. 12–18. (rus)

13. Schiavon S., Rim D., Pasut W., Nazaroff W.W. Sensation of draft at uncovered ankles for women exposed to displacement ventilation and underfloor air distribution systems. Building and Environment. 2016. Vol. 96. Pp. 228–236. (rus)

14. Beregovoi A.M., Derina M.A. The issues of improving the energy efficiency of buildings in the design phase and recovery [*Voprosy povysheniya energoeffektivnosti zdaniy v stadii proektirovaniya i vosstanovleniya*]. Modern scientific research and innovation. 2015. No. 5. Available at: <http://web.snauka.ru/issues/2015/05/54441> (accessed 12.12.2018). (rus)

15. Mal'cev A.V., Sorokin D.S. Energy efficiency in multi-storey residential buildings with the infiltration of air through the outer wall [*Energoberezheniye v mnogoetazhnykh zhilykh zdaniyakh pri infil'tracii vozduha cherez naruzhnuyu stenu*]. New university. 2015. No. 3-4 (37-38). Pp. 87–90. (rus)

Information about the authors

Abdrazakov, Fyared K. DSc, Professor. E-mail: abdrazakov.fk@mail.ru. Saratov State Agricultural University N.I. Vavilova. Russia, 410600, Saratov, Teatralnaya Square, 1.

Povarov, Andrey V. PhD, Associate professor. E-mail: povarov-av2012@yandex.ru. Saratov State Agricultural University. N.I. Vavilova. Russia, 410600, Saratov, Teatralnaya Square, 1.

Received in March 2019

Для цитирования:

Абдразаков Ф.К., Поваров А.В. Исследования эффективности работы системы естественной вентиляции многоквартирного дома // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 7. С. 49–56. DOI: 10.34031/article_5d35d0b78284d1.97759530

For citation:

Abdrazakov F.K., Povarov A.V. Research efficiency of natural ventilation system of apartment building. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 7. Pp. 49–56. DOI: 10.34031/article_5d35d0b78284d1.97759530

DOI: 10.34031/article_5d35d0b79c34c5.75173950

^{1,*}Карпов Д.Ф.¹Вологодский государственный университет
Россия, 160000, Вологда, ул. Ленина, д. 15, каб. 109

*E-mail: karpov_denis_85@mail.ru

АКТИВНЫЙ МЕТОД ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Аннотация. Тепловой контроль относится к методам неразрушающего контроля. Различают пассивный и активный тепловой неразрушающий контроль. При пассивном тепловом контроле объект испытаний характеризуется температурным полем, сформировавшимся в процессе его функционирования. При активном тепловом контроле применяют дополнительный источник тепловой стимуляции контролируемого объекта. Тепловой контроль нашел широкое применение в различных отраслях строительства, энергетики, машиностроения, транспорта. В работе предложен вариант активного теплового неразрушающего контроля коэффициента теплопроводности строительных материалов и изделий на примере фрагмента строительной конструкции из силикатного кирпича. Контролируемый объект подвергают термостимуляции внешним источником тепловой энергии до момента наступления установившегося стационарного теплового режима. Выполняют термографирование поверхностей объекта контроля. Вычисляют среднеинтегральные значения температур поверхностей или отдельных участков объекта контроля. По уравнению теплопроводности определяют контролируемый параметр – коэффициент теплопроводности объекта контроля. При известном коэффициенте теплопроводности вычисляют термическое сопротивление (сопротивление теплопередаче) контролируемого объекта. При известном коэффициенте термического сопротивления (сопротивления теплопередаче) вычисляют коэффициент теплопередаче. Метод реализован в лабораторных условиях. Может применяться в натурных и эксплуатационных условиях для точного и быстрого определения ключевых теплофизических свойств строительных материалов и изделий.

Ключевые слова: тепловой контроль, объект контроля, предмет контроля, теплопроводность, коэффициент теплопроводности, термическое сопротивление, тепловая стимуляция, температура, тепловизор, термограмма.

Введение. Из-за сложности и большого объема экспериментальных исследований по определению качества, долговечности, надежности и безопасности традиционных и современных строительных материалов и изделий, актуальными и практически значимыми являются вопросы разработки новых и усовершенствования существующих методов и средств теплового контроля (ТК) и технической диагностики (ТД) [1–4]. При помощи методов и средств ТК и ТД можно определять указанные характеристики исследуемых строительных материалов и готовых изделий по теплофизическим свойствам (ТФС) [5, 6], к числу которых относятся: теплопроводность, температуропроводность, теплоемкость, тепловая активность, термостойкость и др. [7].

Основные термины и определения. Согласно действующим нормативным документам (национальным стандартам (ГОСТ Р)) дадим определения применяемым в работе терминам [8–11].

Неразрушающий контроль – область науки и техники, охватывающая исследования физических принципов, разработку, совершенствование и применение методов, средств и технологий технического контроля объектов, не разрушающего

и не ухудшающего их пригодность к эксплуатации.

Тепловой неразрушающий контроль – неразрушающий контроль, основанный на регистрации температурных полей контролируемого объекта.

Активный метод теплового неразрушающего контроля – метод теплового неразрушающего контроля, при котором контролируемый объект термостимулируют внешним источником тепловой энергии.

Неконтактная термометрия – совокупность методов и средств измерения температуры, основанных на бесконтактном и дистанционном измерении теплового излучения поверхности контролируемого объекта.

Тепловизор – устройство, предназначенное для наблюдения нагретых контролируемых объектов по их собственному тепловому излучению. Тепловизор преобразует невидимое человеческому глазу инфракрасное излучение в электрические сигналы, которые после усиления и автоматической обработки вновь преобразуются в видимое изображение контролируемых объектов.

Тепловизионная съемка (контроль, обследование, мониторинг) – совокупность технологиче-

ских операций, направленных на измерение температурного поля контролируемого объекта методом неконтактной термометрии с помощью тепловизора с целью обнаружения теплотехнических дефектов.

Термограмма – тепловое изображение контролируемого объекта или его отдельного участка.

Температурное поле – совокупность мгновенных значений температуры во всех точках поверхности объекта контроля или его отдельного участка.

Цель, достоинства и алгоритм реализации метода. Целью метода является повышение точности и упрощение технической процедуры определения коэффициента теплопроводности строительных материалов и изделий активным методом теплового неразрушающего контроля при стационарном тепловом режиме, а также расширение возможностей применения данного метода на исследование теплопроводных свойств неоднородных однослойных строительных конструкций [1, 2, 4, 12, 13].

Достоинством метода является бесконтактная дистанционная идентификация температурных полей поверхностей контролируемого объ-

екта, знание которых необходимо для определения коэффициента теплопроводности, как отдельных элементов, так и всей конструкций в целом, независимо от величины ее теплотехнической неоднородности. Условия реализации метода не зависят от внешних факторов окружающей среды и полностью определяются режимом теплообмена между источником тепловой стимуляции и контролируемым объектом. Тепловизор и зеркальный отражатель, в поле зрения которого попадает задняя поверхность контролируемого объекта, позволяют с небольшим интервалом времени, практически одновременно, оценивать температурное состояние обеих поверхностей контролируемого объекта, что понижает погрешность измерений и повышает точность всего эксперимента при реализации метода. Аналитическое выражение для установления начального момента стационарного теплового режима контролируемого объекта имеет простой математический вид, что в свою очередь позволяет существенно сократить время проведения замеров и обеспечить высокую надежность полученных экспериментальных результатов.

Предлагаемый метод реализуется на экспериментальной установке (рис. 1).

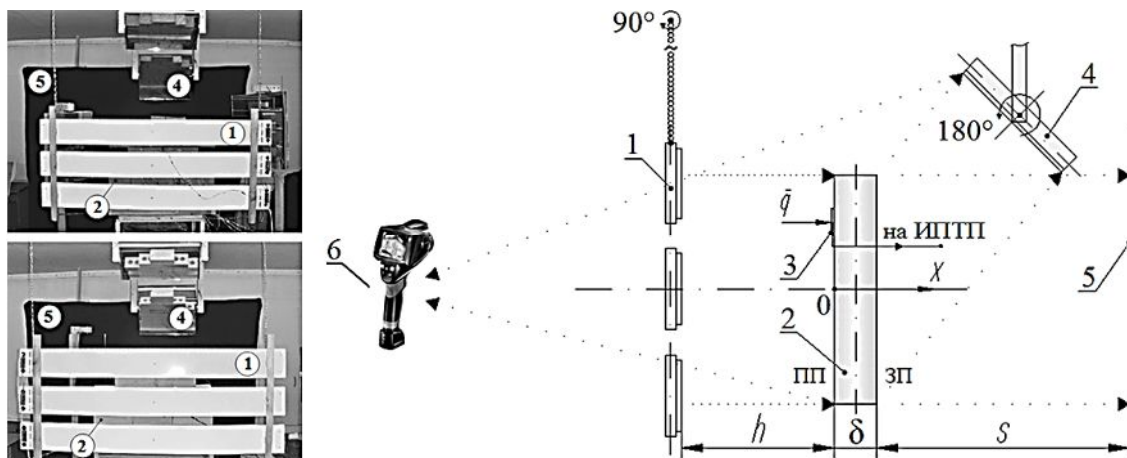


Рис. 1. Внешний вид установки и схема реализации метода: 1 – источник тепловой стимуляции; 2 – объект контроля; 3 – преобразователь плотности теплового потока; 4 – зеркальный отражатель; 5 – светопоглощающий экран; 6 – тепловизор

Алгоритм реализации метода выглядит так:

1. Объект контроля 2 термостимулируют внешним источником тепловой энергии 1 до момента наступления установившегося стационарного теплового режима.

2. По специальному аналитическому выражению вычисляют время τ , с, выхода объекта контроля 2 на стационарный тепловой режим:

$$\tau = \delta^2/a, \quad (1)$$

где δ – толщина объекта контроля 2, м; a – температуропроводность объекта контроля 2, $\text{м}^2/\text{с}$ (предварительно задаются).

3. Выполняют термографирование обеих поверхностей объекта контроля 2 при установившемся стационарном тепловом режиме с момента времени τ .

4. Определяют среднеинтегральные значения температур передней поверхности (ПП) t_0 и задней поверхности (ЗП) t_δ или отдельных участков объекта контроля 2 соответственно в координатах $x = 0$ и $x = \delta$.

5. Вычисляют коэффициент теплопроводности объекта контроля 2 λ , $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, по уравнению теплопроводности для плоской стенки при стационарном тепловом режиме:

$$\lambda_t = q\delta/(t_0 - t_\delta), \quad (2)$$

где q – плотность теплового потока на ПП объекта контроля 2 при $x = 0$ по данным ИПТП 3, Вт/м²; δ – толщина объекта контроля 2, м.

6. При известном коэффициенте теплопроводности λ_t , Вт/(м·°C), рассчитывают фактическое термическое сопротивление (сопротивление теплопередаче) R , (м²·°C)/Вт, объекта контроля 2 по аналитическому выражению:

$$R = \delta/\lambda_t, \quad (3)$$

где δ – толщина объекта контроля 2, м; λ_t – коэффициент теплопроводности объекта контроля 2, Вт/(м·°C).

Пример реализации метода. Метод реализован на фрагменте ограждающей строительной конструкции в виде стенки из силикатных кирпичей (кирпич строительный 3-х пустотный М150 [14]) согласно алгоритму, представленному в предыдущем пункте.

1. Выполнена термостимуляция стенки источником инфракрасного излучения – электрическими инфракрасными излучателями марки Эколайн ЭЛК 10R суммарной мощностью $N = 3$ кВт.

2. Согласно [7] предварительно задались коэффициентом температуропроводности силикатного кирпича $a = 5,3 \cdot 10^{-7}$ м²/с. Тогда в соответствии с (1) начало выхода стенки на стационарный тепловой режим $\tau = 27170$ с (экспериментально $\tau' = 30000$ с).

3. Выполнено термографирование поверхностей стенки тепловизором Testo 875-2 три раза через равные временные промежутки. Выбор термограмм осуществлен с учетом качества тепловых изображений, дающих максимально полную и точную информацию о температурном поле поверхностей стенки (табл. 1).

4. Определены среднеинтегральные значения температур отдельных участков t_0 ПП и t_δ ЗП стенки соответственно в координатах $x = 0$ и $x = \delta$ (табл. 2).

5. Рассчитан коэффициент теплопроводности стенки по (2) (табл. 2).

6. Рассчитано термическое сопротивление стенки по (3) (табл. 2).

Таблица 1

Некоторые результаты термографирования поверхностей стенки

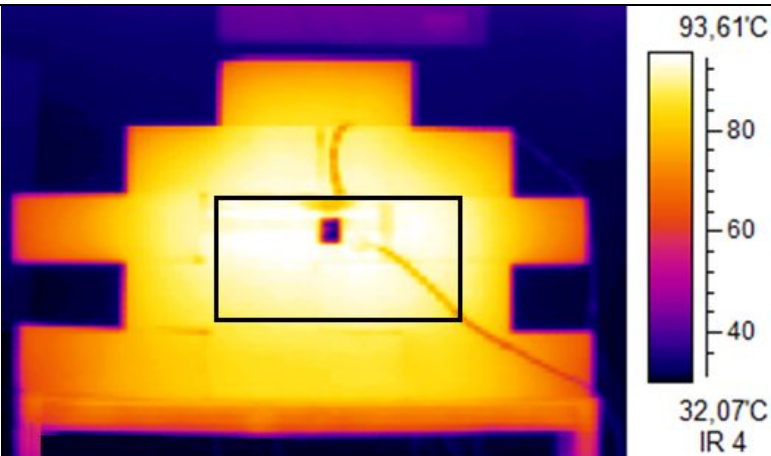
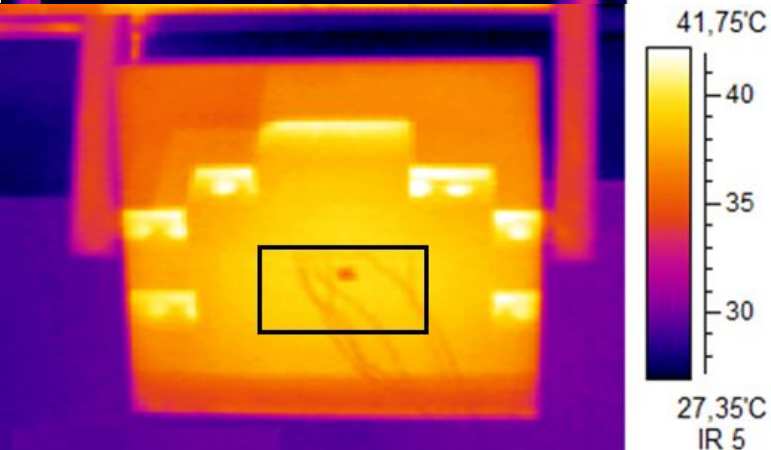
x	Термограмма	Температура поверхности
0		$t_{max} = 93,61$ °C; $t_{min} = 60,50$ °C; $t_{av} = 77,60$ °C
δ		$t_{max} = 41,75$ °C; $t_{min} = 35,50$ °C; $t_{av} = 38,63$ °C

Таблица 2

Расчетные значения коэффициентов теплопроводности и термического сопротивления стенки

№ п/п	q , Вт/м ²	δ, м	t_0 , °C	t_δ , °C	λ_t , Вт/(м·°C)	R , (м ² ·°C)/Вт
1	370	0,12	93,5	39,0	0,81	0,147
2			93,3	38,0	0,80	0,149
3			93,1	36,0	0,78	0,154
Среднее значение $\lambda_{t, av}$, Вт/(м·°C) и R_{av} , (м ² ·°C)/Вт					0.80	0.150

По результатам расчетов получили для фрагмента ограждающей строительной конструкции в виде стенки из силикатных кирпичей коэффициент теплопроводности 0,80 Вт/(м·°C), который согласуется с нормативной величиной, равной 0,82 Вт/(м·°C) [15].

Вывод. Предложенный метод позволяет в процессе исследовательских, контрольных, определительных, лабораторных, стендовых, натурных и эксплуатационных испытаний определять фактическое значение коэффициента теплопроводности строительных материалов и изделий, что в свою очередь дает возможность рассчитывать фактическое термическое сопротивление (сопротивление теплопередаче) ограждающих конструкций зданий и сооружений.

Знание величины термического сопротивления (сопротивления теплопередаче) ограждающих конструкций позволяет количественно оценить теплотехнические качества строительных конструкций зданий и сооружений и их соответствие нормативным требованиям, установить реальные потери теплоты через наружные ограждающие конструкции, проверить расчетные и конструктивные решения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ключев В.В., Будадин О.Н., Абрамова Е.В. и др. Тепловой контроль композитных конструкций в условиях силового и ударного нагружения. Изд. 1-е. М.: Издательский дом «СПЕКТР». 2017. 200 с.
2. Будадин О.Н., Вавилов В.П., Абрамова Е.В. Тепловой контроль: учеб. пособие. М.: Издательский дом «СПЕКТР». 2013. 176 с.
3. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: 2013. 544 с.
4. Вавилов В.П. Тепловидение и тепловой контроль для инженеров. Изд. 1-е. М.: Издательский дом «СПЕКТР». 2017. 72 с.
5. Чернышев В.Н., Однолько В.Г., Чернышев А.В. Методы и системы неразрушающего контроля теплозащитных свойств строительных материалов и изделий. М.: Издательский дом «СПЕКТР». 2012. 200 с.

6. Фокин В.М., Ковылин А.В., Чернышов В.Н. Энергоэффективные методы определения теплофизических свойств строительных материалов и изделий. М.: Издательский дом «СПЕКТР». 2011. 156 с.

7. Коротких А.Г. Теплопроводность материалов: учеб. пособие. Томск. ТПУ. Изд-во Томского политехнического университета. 2011. 97 с.

8. ГОСТ Р 53697-2009. Контроль неразрушающий. Основные термины и определения. Утв. и введ. в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15.12.2009 г. № 1101-ст. М.: Стандартинформ. 2010. 12 с.

9. ГОСТ Р 56542-2015. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. Утв. и введ. в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 07.08.2015 г. № 1112-ст. М.: Стандартинформ. 2015. 16 с.

10. ГОСТ Р 8.619-2006. Приборы тепловизионные измерительные. Методика поверки. Утв. и введ. в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 24.07.2006 г. № 142-ст. М.: Стандартинформ. 2006. 19 с.

11. ПНСТ 57-2015. Контроль неразрушающий. Инфракрасная термография. Система и оборудование. Часть 1. Описание характеристик. Утв. и введ. в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20.11.2015 г. № 32-пнст. М.: Стандартинформ. 2016. 15 с.

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

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

14. ГОСТ 379-2015. Кирпич, камни, блоки и плиты перегородочные силикатные. Введ. в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 09.04.2015 г. № 246-ст. Взамен ГОСТ 379-95. М.: Стандартинформ. 2015. 22 с.

15. СП 23-101-2004. Свод правил по проектированию и строительству: Проектирование

тепловой защиты зданий. Введ. 01.06.2004 г. М.: ФГУП ЦНС. 2004. 132 с.

Информация об авторах

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

Поступила в февраль 2019 г.

© Карпов Д.Ф., 2019

¹*Karpov D.F.

¹Vologda State University

Russia, 160000, Vologda, Lenin St., 15, office 109

*E-mail: karpov_denis_85@mail.ru

THE ACTIVE METHOD OF CONTROL THE THERMAL CONDUCTIVITY OF BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

Abstract. Thermal control refers to non-destructive testing methods. There are passive and active thermal non-destructive testing. With passive thermal control, the test object is characterized by a temperature field formed during its operation. With active thermal control, an additional source of thermal stimulation of the controlled object is used. Thermal control is widely used in various sectors of construction, energy, engineering and transport. The paper proposes a variant of active thermal non-destructive control of thermal conductivity coefficient of building materials and products on the example of a fragment of a building structure made of silicate bricks. The controlled object is subjected to thermal stimulation by an external source of thermal energy until the fixed thermal regime. Thermography of the test object surfaces is performed. The average values of surfaces temperature or individual sections of controlled object are calculated. The heat equation determines a controlled parameter - the heat coefficient of the object under control. The thermal resistance (heat transfer resistance) of the controlled object is calculated with a known coefficient of thermal conductivity. The heat transfer coefficient is calculated with a known coefficient of thermal resistance (heat transfer resistance). The method is implemented in the laboratory. It can be used in field and operating conditions for accurate and rapid determination of the key thermal properties of building materials and products.

Keywords: thermal control, object of control, subject of control, thermal conductivity, coefficient of thermal conductivity, thermal resistance, thermal stimulation, temperature, thermal imager, thermography.

REFERENCES

1. Klyuev V.V., Budadin O.N., Abramova E.V. etc. al. Thermal inspection of composite structures in terms of power and shock loading [*Teplovoj kontrol' kompozitnykh konstrukcij v usloviyah silovogo i udarnogo nagruzheniya*]. Edition 1. M.: Publishing House "SPECTRUM". 2017. 200 p. (rus)
2. Budadin O.N., Vavilov V.P., Abramova E.V. Thermal control: textbook for universities [*Teplovoj kontrol': ucheb. Posobie*]. Edition 2. M.: Publishing House "SPECTRUM". 2013. 176 p. (rus)
3. Vavilov V.P. Infrared thermography and thermal control [*Infrakrasnaya termogra-fiya i teplovoj kontrol'*]. Second edition, revised and enlarged. M.: 2013. 544 p. (rus)
4. Vavilov V.P. Thermal Imaging and thermal control for engineers. First edition. M.: Publishing house "SPECTRUM". 2017. 72 p.
5. Chernyshev V.N., Odnol'ko V.G., Chernyshev A.V. Methods and systems of nondestructive control of heat-shielding properties of building materials and products [*Metody i sistemy nerazrushayushchego*

kontrolya teplozashchitnykh svoystv stroitel'nykh materialov i izdelij]. M.: Publishing house "SPECTRUM". 2012. 200 p. (rus)

6. Fokin V.M., Kovylina A.V., Chernyshov V.N. Energy-efficient methods for determining the thermal properties of building materials and products [*Energoeffektivnye metody opredeleniya teplofizicheskikh svoystv stroitel'nykh materialov i izdelij*]. M.: Publishing house "SPECTRUM". 2011. 156 p. (rus)

7. Korotkih A.G. Thermal conductivity of materials. Benefit [*Teploprovodnost' materialov: ucheb. posobie*]. Tomsk. Tomsk Polytechnic University. Publishing house of Tomsk Polytechnic University. 2011. 97 p. (rus)

8. State standard RF 53697-2009. Non-destructive testing. Basic terms and definitions [*Kontrol' nerazrushayushchij. Osnovnye terminy i opredeleniya*]. Approved and put into effect by the Federal Agency for technical regulation and Metrology of 15.12.2009 No. 1101-St. M.: STANDARTINFORM. 2010. 12 p. (rus)

9. State standard RF 56542-2015. Non-destructive testing. Classification of types and methods [Kontrol' nerazrushayushchij. Klassifikaciya vidov i metodov]. Approved and put into effect by the Federal Agency for technical regulation and Metrology 07.08.2015 No. 1112-St. M.: STANDARTINFORM. 2015. 16 p. (rus)

10. State standard RF 8.619-2006. Thermal imaging measuring devices. Calibration procedure [Pribory teplovizionnye izmeritel'nye. Metodika poverki]. Approved and put into effect by the Federal Agency for technical regulation and Metrology dated 24.07.2006, No. 142-St. M.: STANDARTINFORM. 2006. 19 p. (rus)

11. Advanced national standard RF. Non-destructive testing. Infrared thermography. System and equipment. Part 1. A description of the characteristics [Kontrol' nerazrushayushchij. Infrakrasnaya termografiya. Sistema i oborudovanie. Chast' 1. Opisaniye harakteristik]. Approved and put into effect by the Federal Agency for technical regulation and Metrology of 20.11.2015 № 32-pnst. M.: STANDARTINFORM. 2016. 15 p. (rus)

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

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

14. State standard. Bricks, stones, blocks and slabs: marble silicate [Kirpich, kamni, bloki i plity peregorodochnye silikatnye]. Promulgated by Order of the Federal Agency for technical regulation and Metrology from 09.04. 2015, No. 246 article to Replace SS 379-95. M.: STANDARTINFORM. 2015. 22 p. (rus)

15. CR 23-101-2004. Code of rules for design and construction: design of thermal protection of buildings [Svod pravil po proektirovaniyu i stroitel'stvu: Proektirovanie teplovoj zashchity zdaniy]. Introduced 01.06.2004. M.: Federal state unitary enterprise "Center of methodology of regulation and standardization of construction». 2004. 132 p. (rus)

Information about the authors

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

Received in February 2019

Для цитирования:

Карпов Д.Ф. Активный метод теплового контроля теплопроводности строительных материалов и изделий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 7. С. 57–62. DOI: 10.34031/article_5d35d0b79c34c5.75173950

For citation:

Karpov D.F. The active method of control the thermal conductivity of building materials and products. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 7. Pp. 57–62. DOI: 10.34031/article_5d35d0b79c34c5.75173950

DOI: 10.34031/article_5d35d0b6901803.57308546

¹Галюжин С.Д., ¹Лобикова Н.В., ^{1,*}Лобикова О.М.¹Белорусско-Российский университет

Республика Беларусь, 212000, г. Могилев, проспект Мира, д. 43

*E-mail:olg.lobikova@yandex.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВА УДАЛЕНИЯ КОНДЕНСАТА ИЗ РЕКУПЕРАТОРА ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

Аннотация. Разработана методика и получены уравнения для определения объема конденсата, образующегося в удаляемом воздухе при прохождении его через рекуператор. Обоснована необходимость обеспечения вентиляционной установки устройством улавливания и удаления конденсата, которое позволяет исключить образование наледи в вытяжном воздуховоде после рекуператора и, соответственно, снизить затраты электроэнергии на привод вытяжного вентилятора. Исследованы термодинамические процессы, происходящие во влажном удаляемом воздухе при прохождении его через рекуператор. Для проектирования устройства улавливания и удаления конденсата получены зависимости, позволяющие определить расход конденсата в зависимости от подачи, температуры и относительной влажности удаляемого воздуха, а также степени его охлаждения на выходе из рекуператора. Для автоматизации расчетов произведена аппроксимация известных данных и получен полином, позволяющий определить зависимость абсолютной влажности на линии насыщения от температуры воздуха. Полином получен для максимального диапазона температур работы рекуператора. В качестве примера рассмотрена работа вентиляционной установки, снабженной рекуператором, в цехе промышленного предприятия с категорией работ Пб в холодный период года при подаче удаляемого воздуха $45 \cdot 103 \text{ м}^3/\text{ч}$. Для анализа зависимости объема конденсата от параметров удаляемого воздуха на входе и на выходе из рекуператора выполнена серия расчетов с помощью программного пакета Mathcad на основе разработанной методики. Разработана принципиальная схема вентиляционной установки с рекуператором, снабженная устройством удаления конденсата. Показано, что для исключения образования наледи внутри рекуператора поток воздуха в нем должен быть нисходящим.

Ключевые слова: система вентиляции, строительство, рекуператор, конденсат, энергоэффективность.

Введение. Состояние здоровья и производительность труда человека в значительной степени зависят от микроклимата производственной среды. Поэтому современное строительство и реконструкция зданий и сооружений предусматривает установку эффективных вентиляционных систем, в которых, как правило, применяются рекуператоры, позволяющие частично утилизировать тепло удаляемого воздуха [1, 2]. Для принятия решения о проектировании необходимого вентиляционного оборудования здания с учетом многокритериальной оптимизации необходимы конкретные параметры условий эксплуатации оборудования. Данная задача представляет определенную сложность из-за отсутствия методик решения конкретных проблем, возникающих в процессе эксплуатации вентиляционных систем [3–7].

Утилизация тепла удаляемого воздуха происходит путем передачи этого тепла приточному воздуху, а удаляемый воздух при этом охлаждается. Данный теплообмен зачастую сопровождается образованием конденсата в удаляемом воздухе. Если отсутствует система удаления конден-

сата, то в вытяжном воздуховоде снаружи помещения при отрицательных температурах образуется наледь [8–11]. В результате повышается аэродинамическое сопротивление вытяжного воздуховода и, соответственно, повышается расход электроэнергии на привод вытяжного вентилятора. Для исключения данного явления вентиляционная установка снабжается устройством улавливания и удаления конденсата. Для расчета и проектирования такого устройства необходимы исходные данные, методика определения которых изложена в настоящей статье.

Объект исследований. Удаляемый из производственных и офисных помещений и помещений объектов развлекательного и оздоровительного характера воздух является влажным, т.е. содержащим пары воды. В зависимости от количества паров влажный воздух может быть пересыщенным, насыщенным и ненасыщенным [12]. Один и тот же воздух в зависимости от его температуры может находиться в одном из трех указанных выше состояний. Если ненасыщенный воздух охлаждать, то при определенной температуре, называемой температурой точки росы, он станет насыщенным, т.е. при рассматриваемой

температуре влажный воздух не может больше обогащаться парами воды. При дальнейшем снижении температуры воздух становится пересыщенным и в нем образуются капельки воды, называемой конденсатом.

Воздух, удаляемый из цехов промышленных предприятий, как правило, является ненасыщенным, а воздух, удаляемый из сооружений развлекательного и оздоровительного характера (бани, плавательные бассейны, аквапарки) является насыщенным или близким к такому состоянию.

Объектом исследований являются термодинамические процессы, происходящие во влажном удаляемом воздухе при прохождении его через рекуператор.

Методология. Описание процессов образования конденсата достаточно известно и базируется на уравнениях, характеризующих состояние влажного воздуха [12]. При прохождении удаляемого воздуха через рекуператор уменьшается не только его температура, но и давление из-за наличия аэродинамического сопротивления рекуператора. Изменение давления и температуры ведет к изменению объема удаляемого воздуха, т. е. определенный объем удаляемого воздуха, поступивший на вход рекуператора, будет изменяться в процессе движения воздуха в каналах рекуператора. Причем уменьшение давления ведет к увеличению объема воздуха, а уменьшение температуры – к уменьшению данного объема. Этот процесс достаточно точно описывается уравнением Ван-дер-Ваальса [12, 1].

Поэтому, при разработке способа определения объема конденсата, образующегося при прохождении удаляемого воздуха через рекуператор, выполнено совместное решение уравнений, описывающих состояние влажного воздуха, и уравнения Ван-дер-Ваальса.

Основная часть. Для проектирования устройства улавливания и удаления конденсата необходимо знать количество конденсата, которое образуется за единицу времени в удаляемом воздухе при прохождении его через рекуператор.

На входе в рекуператор количество паров воды $m_{n.вх}$ (г) в объеме $V_{вх}$ (м³) определяется следующим образом [12, 13]:

$$m_{n.вх} = V_{вх} \cdot \rho_{n.вх} \cdot \varphi_{вх}, \quad (1)$$

где $\rho_{n.вх}$ – абсолютная влажность удаляемого воздуха в состоянии насыщения на входе в рекуператор при рассматриваемой температуре, г/м³; $\varphi_{вх}$ – относительная влажность удаляемого воздуха на входе в рекуператор.

В состоянии насыщения количество паров воды в единице объема влажного воздуха для давлений до 10 МПа зависит только от его тем-

пературы [14]. Продувка удаляемого воздуха через рекуператор приводит к его охлаждению и потенциально возможное количество пара в состоянии насыщения в нем уменьшается. Поэтому, в зависимости от степени охлаждения удаляемый воздух на выходе рекуператора может быть в трех состояниях: пересыщение, насыщение и ненасыщение. Если удаляемый воздух стал пересыщенным, то в нем начнут образовываться капельки воды (конденсат), а его относительная влажность на выходе рекуператора будет $\varphi_{вых} = 1$. Когда на выходе рекуператора воздух будет насыщенным, то конденсат не образуется, но $\varphi_{вых} = 1$. В ненасыщенном удаляемом воздухе на выходе рекуператора конденсат также будет отсутствовать, а $\varphi_{вых} < 1$.

Массу парообразной влаги $m_{n.вых}$ (г), находящейся в объеме удаляемого воздуха на выходе рекуператора $V_{вых}$, можно рассчитать с помощью зависимости, аналогичной (1):

$$m_{n.вых} = V_{вых} \cdot \rho_{n.вых} \cdot \varphi_{вых}, \quad (2)$$

где $\rho_{n.вых}$ – абсолютная влажность насыщенного удаляемого воздуха на выходе из рекуператора, г/м³; $\varphi_{вых}$ – относительная влажность удаляемого воздуха на выходе из рекуператора.

Для расчета массы конденсата m_k , образовавшегося в удаляемом воздухе, необходимо из $m_{n.вх}$ вычесть $m_{n.вых}$, условно приняв $\varphi_{вых} = 1$:

$$m_k = m_{n.вх} - m_{n.вых}, \quad (3)$$

Окончательно зависимость (3) примет вид:

$$m_k = V_{вх} \cdot \rho_{n.вх} \cdot \varphi_{вх} - V_{вых} \cdot \rho_{n.вых} \cdot \varphi_{вых}, \quad (4)$$

Тогда результаты расчетов с помощью (4) можно оценить следующим образом. При $m_k = 0$ удаляемый воздух на выходе рекуператора достиг состояния насыщения, а образования конденсата в нем не произошло. При $m_k > 0$ конденсат выделился, а на выходе рекуператора удаляемый воздух также стал насыщенным. При $m_k < 0$ удаляемый воздух на выходе рекуператора не достиг состояния насыщения, а $|m_k|$ – это масса воды, которой не хватает до насыщенного состояния. Следует отметить, что при $m_k < 0$, приняв в расчетах $\varphi_{вых} = 1$, чисто условно добавляем в объем $V_{вых}$ некоторое количество паров воды. Такой подход позволяет оценить состояние влажного воздуха на выходе рекуператора.

При прохождении удаляемого воздуха через рекуператор происходит его охлаждение из-за теплообмена между приточным и удаляемым воздухом. Кроме изменения температуры в рекуператоре изменяется давление удаляемого воздуха. Разница давлений на входе в рекуператор и на выходе из него равна потерям давления в рекуператоре. Данные изменения температуры и

давления означают, что объем удаляемого воздуха на выходе рекуператора $V_{вых}$ будет отличаться от объема воздуха $V_{вх}$, поступившего на вход рекуператора, т.е. имеют место два различных состояния удаляемого воздуха на входе и выходе рекуператора.

Для описания двух состояний удаляемого воздуха, который относится к реальным газам, используют уравнение Ван-дер-Ваальса, учитывающее объем молекул и силу притяжения между ними:

$$\left(p + \frac{n^2 \cdot a}{V^2}\right) \cdot (V - n \cdot b) = n \cdot R \cdot T, \quad (5)$$

где p – абсолютное давление газа, Па; V – объем газа, м³; T – абсолютная температура, К; R – молярная газовая постоянная, Дж/(моль · К); a – постоянная Ван-дер-Ваальса, характеризующая силы межмолекулярного притяжения: $a = 0,138$ Па·м⁶/моль² [4]; b – коэффициент, учитывающий объем, который занимают молекулы: $b = 0,3183 \cdot 10^{-4}$ м³/моль [15]; n – количество молей в объеме V при нормальных условиях, моль.

Известно, что количество молей воздуха при прохождении рекуператора не меняется, а их исходное количество определяется для нормальных условий (давление $p = 101325$ Па, температура $T = 273,15$ К = 20 °С) [12].

Рассмотрим возможность использования уравнения Ван-дер-Ваальса для расчета объема конденсата V_k . Запишем уравнение (5) для двух состояний воздуха: на входе в рекуператор и после выхода из него (индексы $вх$ и $вых$ относятся к входу и выходу, соответственно):

$$\frac{\left(p_{вх} + \frac{n^2 \cdot a}{V_{вх}^2}\right) \cdot (V_{вх} - n \cdot b)}{n \cdot T_{вх}} = \frac{\left(p_{вых} + \frac{n^2 \cdot a}{V_{вых}^2}\right) \cdot (V_{вых} - n \cdot b)}{n \cdot T_{вых}}, \quad (6)$$

Для расчета массы конденсата m_k с помощью зависимости (4) необходимо уравнение (6) решить относительно $V_{вых} = f(p_{вх}, p_{вых}, V_{вх}, T_{вх}, T_{вых}, n, a, b)$. Но решить данное уравнение относительно $V_{вых}$ в явном виде не представляется возможным. Поэтому для решения данной задачи необходимо использовать один из известных численных методов.

Рассмотрим вначале влияние изменений температуры и давления воздуха на изменение объема $V_{вх}$. При прохождении воздуха через рекуператор его давление уменьшается, а данное уменьшение равно аэродинамическому сопротивлению рекуператора. Аэродинамическое сопротивление пластинчатых рекуператоров, как правило, не превышает 500 Па [16]. Давление воздуха в помещении, в большинстве случаев, примерно равно давлению атмосферы. Известно, что для технических расчетов принимают атмосферное давление $p_{атм} \approx 0,1$ МПа [17, 18]. Так, при $p_{атм} \approx 0,1$ МПа и $\Delta p_{рк} \approx 500$ Па разница абсолютного давления на входе $p_{вх}$

и выходе $p_{вых}$ из рекуператора не превышает 0,5 %. Поэтому, увеличения объема воздуха $V_{вых}$ по сравнению с $V_{вх}$ из-за потерь давления воздуха в рекуператоре будет незначительным.

При прохождении через рекуператор удаляемый воздух охлаждается, т.е. $T_{вых} < T_{вх}$, в результате $V_{вх}$ уменьшается. Величину $T_{вх}$ определим в соответствии с нормативными документами, регламентирующие параметры микроклимата помещений [19–21]. К ним относятся ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны», Сан-ПиН-2013 «Требования к микроклимату рабочих мест в производственных и офисных помещениях» и Гигиенический норматив «Показатели микроклимата производственных и офисных помещений». Так, при категории работ по уровню энергозатрат Пб средняя оптимальная температура воздуха в помещении должна быть 18 °С = 291,15 К. При использовании современного рекуператора и температуре наружного атмосферного воздуха $T_{н.атм} = -22$ °С удаляемый воздух на выходе рекуператора охладится примерно до $T_{вых} = -4$ °С = 269,15 К [16, 22], т.е. изменение температуры будет примерно на 8 %.

Проведем предварительный анализ влияния изменения температуры и давления удаляемого воздуха на изменение объема $V_{вх}$ с помощью уравнения Клапейрона, т.е. с некоторыми допущениями. При малом давлении (до 1 МПа) и высокой температуре (более 100 К) $n \cdot b \ll V$ и $n^2 a / V^2 \ll p$ уравнение Ван-дер-Ваальса в значительной степени совпадает с уравнением Клапейрона [15]:

$$\left(\frac{p_{вх} \cdot V_{вх}}{T_{вх}}\right) = \left(\frac{p_{вых} \cdot V_{вых}}{T_{вых}}\right), \quad (7)$$

Тогда объем воздуха $V_{вых}$ на выходе его из рекуператора можно определить:

$$V_{вых} = \frac{p_{вх} \cdot V_{вх} \cdot T_{вых}}{T_{вх} \cdot p_{вых}}, \quad (8)$$

При анализе зависимости (8) видно, что при рассмотренных выше изменениях давления и температуры получим, что при прохождении удаляемого воздуха через рекуператор будет уменьшение объема воздуха $V_{вх}$ примерно на 7 %. Поэтому в данном исследовании при решении уравнения (6) для определения $V_{вых}$ использована следующая методика. Вначале принимаем $V_{вых} = 0,99 V_{вх}$ и подставляем значения $p_{вх}$, $p_{вых}$, $T_{вх}$ и $T_{вых}$ для конкретных расчетных условий, а также значения n , a , b . Обозначим левую часть уравнения (6) буквой A , а левую – B . Если $A < B$ и разница более 5 % (достаточная точность для технических расчетов) [23–25], то необходимо еще уменьшить $V_{вых}$ с шагом 0,01, т.е. $V_{вых} = 0,98 V_{вх}$, и выполнить новый

расчет и т.д. Данная процедура выполняется до достижения разницы между A и B не более 5 %. Если при первом расчете получим $A > B$, то необходимо принять $V_{\text{вых}} = 0,991 V_{\text{вх}}$ (шаг 0,001) и так далее до достижения разницы между A и B не более 5 %. В некоторых случаях точность решения 5 % недостаточно, тогда в программу закладывается более высокая точность, например, 3 %.

При решении уравнения (4) для определения массы конденсата необходимо знать абсолютную влажность насыщенного воздуха на входе и выходе из рекуператора $\rho_{\text{н.вх}}$ и $\rho_{\text{н.вых}}$.

В литературе по термодинамике [12, 13, 26] и в стандарте ISO DIN 7183:2007 зависимость абсолютной влажности воздуха от температуры на линии насыщения приведена в виде таблиц или графиков, что снижает точность расчетов и не позволяет автоматизировать процесс расчета. Поэтому для автоматизации расчетов с использованием программы Excel произведена аппроксимация указанных выше данных и получен полином, позволяющий определить зависимость абсолютной влажности $\rho_{\text{н}}$ (г/м³) на линии насыщения от температуры воздуха, т. е.

$$\rho_{\text{н}} = a_1 \cdot T_p^4 + a_2 \cdot T_p^3 + a_3 \cdot T_p^2 + a_4 \cdot T_p + a_5, \quad (9)$$

где a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 – коэффициенты уравнения регрессии: $a_1 = 0,102 \cdot 10^5$; $a_2 = 0,956 \cdot 10^3$; $a_3 = 0,336$; $a_4 = 52,559$; $a_5 = 3093,081$; T_p – температура точки росы воздуха, К.

Уравнение (9) получено для диапазона температур T_p от -50 до $+25$ °C ($223,15 \dots 298,15$ К),

что соответствует максимальному диапазону температур работы рекуператора. При аппроксимации использован полином 4-го порядка, поскольку величина достоверности в этом случае достаточно высока и равна 0,99991.

Для определения массы влаги $m_{\text{к.рк}}$, выделившейся в виде конденсата при прохождении рекуператора с помощью зависимости (4) примем $\phi_{\text{вых}} = 1$. Расчет $\rho_{\text{н.вх}}$ и $\rho_{\text{н.вых}}$ выполнен с помощью полинома (9) путем подстановки $T_{\text{вх}}$ и $T_{\text{вых}}$ вместо T_p .

Количество конденсата $V_{\text{к}}$ в дециметрах кубических (литрах), поступающее в воздухопровод после прохождения рекуператора, определим по известной формуле:

$$V_{\text{к}} = m_{\text{к}} / \rho_{\text{в}}, \quad (10)$$

где $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, кг/м³; $m_{\text{к}}$ – масса конденсата, г.

С достаточной точностью для технических расчетов при давлениях до 10 МПа в диапазоне температур от 0 до 20 °C (максимально возможный диапазон температуры конденсата) можно принять $\rho_{\text{в}} = 10^3$ кг/м³ [27].

С помощью уравнений (6), (9) и (10) с использованием программного пакета Mathcad выполнен анализ зависимости объема конденсата $V_{\text{к}}$ от $\phi_{\text{вх}}$ и $T_{\text{вых}}$. Температура воздуха в момент входа в рекуператор принята $T_{\text{вх}} = 18$ °C = 291,15 К.

На рис. 1 приведена зависимость объема конденсата $V_{\text{к}} = f_1(T_{\text{вых}})$ для $V_{\text{вх}} = 1$ м³ при различных значениях $\phi_{\text{вх}}$.

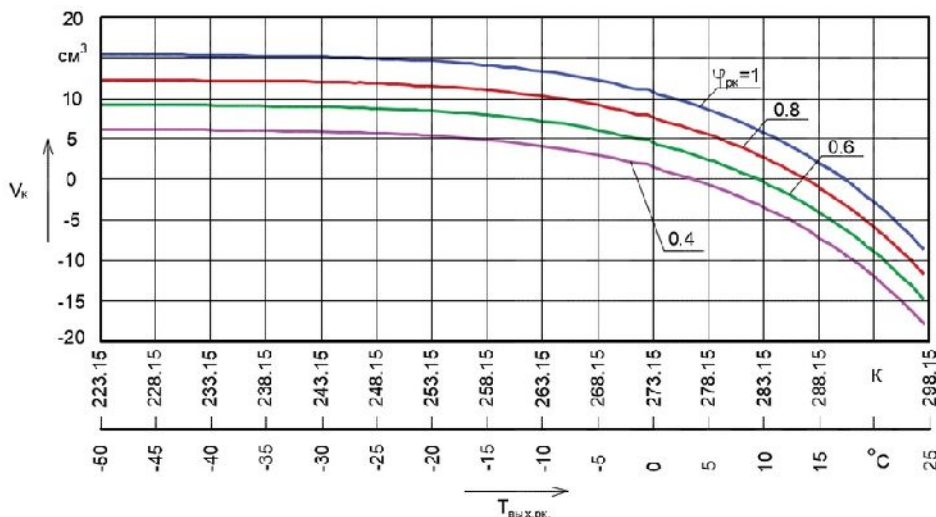


Рис. 1. Зависимость объема конденсата $V_{\text{к}}$, образующегося при прохождении 1 м³ воздуха через рекуператор, от температуры удаляемого воздуха $T_{\text{вых}}$ при различных значениях относительной влажности $\phi_{\text{вх}}$.

На величину объема конденсата значительное влияние оказывает $T_{\text{вых}}$, причем оно существенно проявляется в диапазоне температур $T_{\text{вых}}$ от -20 °C до $+25$ °C. Так при $T_{\text{вых}} = -20$ °C и $\phi_{\text{вх}} = 1$ и прохождении через рекуператор 1 м³ удаляемого воздуха ($T_{\text{вх}} = 18$ °C) образуется 14,8

см³ конденсата, если $T_{\text{вых}} = 5$ °C, то $V_{\text{к}} = 3,2$ см³. Примерно при $T_{\text{вых}} = 2$ °C образование конденсата не происходит, но удаляемый воздух на выходе рекуператора является насыщенным. Даль-

нейшее повышение $T_{вых}$ приводит к ненасыщенному состоянию удаляемого воздуха на выходе рекуператора.

Снижение относительной влажности удаляемого воздуха, поступающего на вход рекуператора $\phi_{вх}$, приводит к снижению объема конденсата, причем эта зависимость близка к линейной.

Рассмотрим работу вентиляционной установки цеха промышленного предприятия с категорией работ Пб в холодный период года, которая обеспечивает подачу удаляемого воздуха из цеха $L_{уд} = 45 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч} = 12,5 \text{ м}^3/\text{с}$. Установка снабжена рекуператором, в котором при данной подаче удаляемого воздуха и температуре наружного воздуха $-22^\circ\text{C} = 255,15 \text{ К}$ происходит снижение температуры удаляемого воздуха с $T_{вх} = +18^\circ\text{C} = 291,15 \text{ К}$ до $T_{вых} = -4^\circ\text{C} = 269,15 \text{ К}$ [22]. Относительная влажность удаляемого воздуха $\phi_{вх} = 50\%$. Значения $T_{вх}$ и $\phi_{вх}$ соответствуют средним значениям оптимальных показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений [19–21]. Для расчетов используем

приведенную выше методику, а вместо $V_{вх}$ в уравнение (4) подставим объем, подаваемый в рекуператор в единицу времени, т.е. подачу удаляемого воздуха $L_{уд}$. В результате расчетов получим, что при прохождении через рекуператор образуется конденсат, массовый расход которого равен $Q_{т.к} = 198,7 \cdot 10^3 \text{ г/ч} = 198,7 \text{ кг/ч}$, а объемный расход конденсата $Q_{к.рк} = 198,7 \text{ л/ч}$. Если данный конденсат не удалять, то в вытяжном воздухопроводе после рекуператора будет образовываться наледь, поэтому вентиляционные установки с рекуператорами необходимо снабжать системами улавливания капель и удаления конденсата. Такая система должна иметь каплеуловитель 7, поддон для сбора конденсата 8 и дренажный трубопровод 11 для отвода конденсата в канализационный трубопровод 12 (рис. 2). Кроме того, при прохождении через рекуператор поток удаляемого воздуха должен быть нисходящим [9]. Этим будет обеспечиваться стекание конденсата из каналов рекуператора 4 вниз в поддон 8.

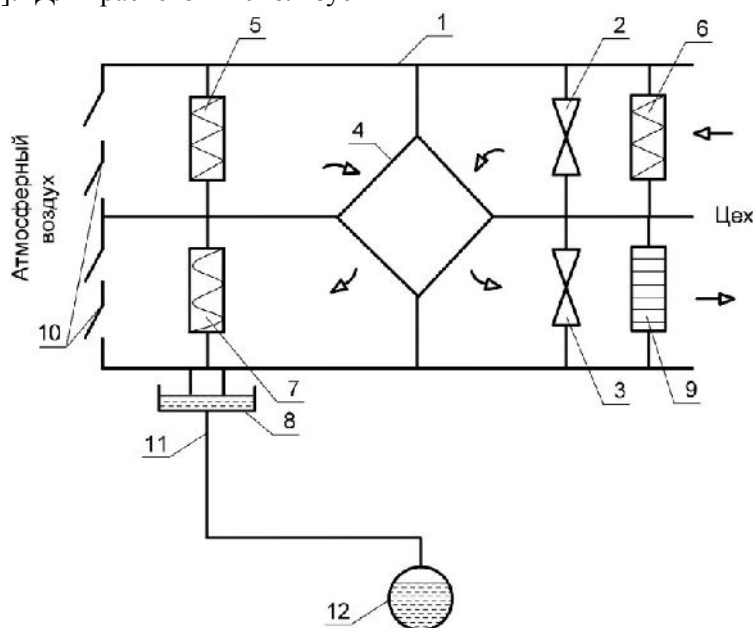


Рис. 2. Упрощенная принципиальная схема вентиляционной установки с рекуператором и системой удаления конденсата: 1 – корпус установки; 2 – вытяжной вентилятор; 3 – приточный вентилятор; 4 – рекуператор; 5, 6 – фильтры; 7 – каплеуловитель; 8 – поддон для сбора конденсата; 9 – нагреватель; 10 – жалюзи; 11 – дренажный трубопровод; 12 – канализационный трубопровод

Выводы. При охлаждении удаляемого воздуха в рекуператоре вентиляционной установки до температур ниже $3...4^\circ\text{C}$, как правило, в нем образуется конденсат. Расход конденсата зависит от состояния (температуры и относительной влажности) удаляемого из помещения воздуха, а также от его подачи и температуры на выходе рекуператора.

Для повышения точности расчетов объема конденсата целесообразно использовать уравнение Ван-дер-Ваальса, которое учитывает объем молекул воздуха и силу притяжения между ними. Установку рекуператора необходимо выполнять

таким образом, чтобы поток удаляемого воздуха был нисходящим, т.к. конденсат, осевший на стенках каналов рекуператора, при этом будет самотеком двигаться вниз в поддон.

После рекуператора необходимо устанавливать устройство для улавливания капель влаги, увлекаемых потоком удаляемого воздуха.

Предложенная методика позволяет определить расход конденсата, образующегося после прохождения удаляемого через рекуператор воздуха, и на основании этих данных спроектировать устройство для его удаления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Dylewski R., Adamczyk J. Economic and ecological indicators for thermal insulating building investments // *Energy and Buildings*. 2012. № 54. С. 88-95. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.07.021.
2. Лобикова О.М., Лобикова Н. . Повышение энергоэффективности жилых зданий: Проблемы, опыт решения / Россия: тенденции и перспективы развития : Ежегодник. Вып. 13 // РАН. ИНИОН. Отд. науч. сотрудничества; Отв. ред. В.И. Герасимов. М., 2018. Ч. 2. С. 351–353.
3. Puring S.M., Vatzov D.N., Tyurin N.P. Parameter choice optimization of ventilating air cleaning equipment while designing and constructing industrial buildings // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 153. Pp. 563–568. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.192.
4. Лобикова Н.В., Лобикова О.М., Галюжин С.Д. Методический подход к оценке инновационных систем отопления в жилом доме // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: Материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых. Могилев: ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», 2018. 138 с.
5. Gorshkov A., Vatin N., Nemova D., Shalbaldin A., Melnikova L., Kirill P. Using life-cycle analysis to assess energy savings delivered by building insulation // *Procedia Engineering*, 2015. № 1 (117). С. 1085–1094.
6. Баканова С.В., Баранов П.О. Оценка экономической целесообразности установки в системе вентиляции здания пекарни рекуператора // Образование и наука в современном мире. Инновации. Пенза: Изд-во Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. 2018. №2 (15). С. 139–145.
7. Кобелев Н.С., Федоров С.С., Кобелев В.Н. Расчет и выбор энергосберегающего оборудования систем теплогасоснабжения и вентиляции населенных пунктов // Курск: Изд-во Юго-Западный государственный университет, 2015. 322 с.
8. Miseviciute V., Martinaitis V. Analysis of ventilation system's heat exchangers integration possibilities for heating season // *Pap. of the 8th International Conference «Environmental Engineering»*, 2011. May 19-20. Vilnius: Lithuania, 2011. Vol. 2. Pp. 781–787.
9. Галюжин С.Д., Лобикова Н.В., Лобикова О.М. Экономическая выгода мероприятий повышения энергетической эффективности систем вентиляции // «Казахстан-Холод 2019: Сб. докл. межд. науч.-техн. конф. (20-21 февраля 2019г.) = Kazakhstan-Refrigeration 2019: Proceedings of the Conference (February 20-21, 2019). Алматы: АТУ, 2019. С. 104–110.
10. Сазонова А.А., Кельвина К.В. Применение рекуператоров тепла в системах обеспечения микроклимата // Научный альманах. 2016. №4-3. (18) С.178-181. DOI: 10.17117/na.2016.04.03.178.
11. Самарин О.Д. О новом подходе к учету конденсации водяных паров при тепловом расчете воздухоохладителей // Известия высших учебных заведений. Строительство, Новосибирск: Изд-во Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, 2016, №2 (686) С. 67–73.
12. Бурцев С.И., Цветков Ю.Н. Влажный воздух. Состав и свойства : учеб. пособие СПб. : Изд-во СПбГАХПТ, 1998. 146 с.
13. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача : учеб. пособ. для вузов. 3-е изд. испр. и доп. М. : Изд-во Высш. шк., 1980. 469 с.
14. Сжатый воздух и компрессоры - компендиум [Электронный ресурс]. Систем. требования: [http : // www.immertech.ru/support/compendium/ index](http://www.immertech.ru/support/compendium/index). (дата обращения: 10.03.2019).
15. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Химический факультет МГУ [Электронный ресурс]. Систем. требования: <http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/realgases/chap1%283%29.html>. (дата обращения: 18.11.2018).
16. Галюжин С.Д., Лобикова Н.В., Лобикова О.М., Галюжин А.С. Целесообразность использования современных энергосберегающих систем вентиляции при строительстве и реконструкции зданий // Вестн. науки и обр. Северо-Зап. России. 2018. Т. 4. №4. С. 1–8.
17. Альтшуль А.Д., Животовский Л.С., Иванов Л.П. Гидравлика и аэродинамика: учебник для студентов вузов. М.: Стройиздат, 1987. 414 с.
18. Ухин Б. В. Гидравлика: уч. пособие. М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2009. 464 с.
19. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
20. Санитарные нормы и правила. Требования к контролю воздуха рабочей зоны, утв. Пост. Мин-ва здравоохранения РБ от 11 октября 2017 г. №92 [Электронный ресурс]. Систем. требования: [http: // www.ohrana-truda.by / topic / 5546-utverzhdenuy-novye-sanitarnye-normy-i-pravila-t/](http://www.ohrana-truda.by / topic / 5546-utverzhdenuy-novye-sanitarnye-normy-i-pravila-t/) (дата доступа: 10.01.2019).
21. Гигиенические нормативы «Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны». утв. Пост. Мин-ва здравоохранения РБ от 11 октября 2017 г. №92 [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: [http: // www.ohrana-truda.by / topic / 5546-utverzhdenuy-novye-sanitarnye-normy-i-pravila-t/](http://www.ohrana-truda.by / topic / 5546-utverzhdenuy-novye-sanitarnye-normy-i-pravila-t/) (дата обращения: 10.01.2019).

22. Каталог оборудования Klingenburg. Рекуперация тепла пластинчатыми теплообменниками. [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <https://www.c-o-k.ru/library/catalogs/klingenburg/10825> (дата обращения 01.12.2018).

23. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в науке и технике: Методы планирования эксперимента: пер. с англ., М.: Изд-во Мир, 1981. 520 с.

24. Ящерицын П.И., Махаринский Е.И. Планирование эксперимента в машиностроении. Минск: Изд-во Выш. шк., 1985. 286 с.

Информация об авторах

Галюжин Сергей Данилович, кандидат технических наук, доцент, действительный член Белорусской инженерной академии, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности». E-mail: serg.galujin@yandex.ru. Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Республика Беларусь, 212000, г. Могилев, проспект Мира, д. 43

Лобикова Надежда Васильевна, магистрант, кафедра «Промышленное и гражданское строительство». E-mail: nadya.lobickova@yandex.ru. Белорусско-Российский университет, Республика Беларусь, 212000, г. Могилев, проспект Мира, д. 43

Лобикова Ольга Михайловна, старший преподаватель кафедры «Промышленное и гражданское строительство». E-mail: olg.lobikova@yandex.ru. Белорусско-Российский университет, Республика Беларусь, 212000, г. Могилев, проспект Мира, д. 43

Поступила в мае 2019 г.

© Галюжин С.Д., Лобикова Н.В., Лобикова О.М., 2019

¹*Galyuzhin S.D., ¹Lobikava N.V., ^{1*}Lobikava O.M.*

¹*Belarusian-Russian University*

Republic of Belarus, 212000, Mogilev, Mira Ave, 43

^{*}*E-mail:olg.lobikova@yandex.ru*

DETERMINATION OF INITIAL DATA FOR DESIGNING A DEVICE TO REMOVE CONDENSATE FROM THE RECUPERATOR OF VENTILATION EQUIPMENT

Abstract. The technique is developed and equations are obtained for determining the volume of condensate formed in the exhaust air when it passes through the recuperator. The necessity of providing a ventilation unit with a device for capturing and removing condensate, which eliminates the formation of ice in the exhaust duct after the heat exchanger and, accordingly, reduces the cost of electricity for driving the exhaust fan is justified. Thermodynamic processes occurring in the humid removed air during its passage through the recuperator are investigated. For designing a device for capturing and removing condensate, dependences are obtained that make it possible to determine the consumption of condensate depending on the supply, temperature and relative humidity of the exhaust air, as well as the degree of its cooling at the outlet of the heat exchanger. To automate the calculations, an approximation of the known data is made and a polynomial is obtained to determine the dependence of the absolute humidity on the saturation line on the air temperature. The polynomial is made for the maximum temperature range of the heat exchanger. As an example, the operation of a ventilation unit equipped with a heat exchanger is considered in the workshop of an industrial enterprise with work category IIb during the cold period of the year with the supply of exhaust air of 45 103 m³ / h. To analyze the dependence of the volume of condensate on the parameters of exhaust air at the inlet and outlet of the heat exchanger, a series of calculations are performed using the Mathcad software package based on the developed methodology. A schematic diagram of a ventilation unit with a heat exchanger, equipped with a condensate removal device is developed. To exclude the formation of ice inside the recuperator, the air flow in it must be downward.

Keywords: ventilation system, construction, heat exchanger, condensate, energy efficiency.

REFERENCES

1. Dylewski R., Adamczyk J. Economic and ecological indicators for thermal insulating building investments. *Energy and Buildings*. 2012. No. 54. pp. 88–95. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.07.021.
2. Lobikova O.M., Lobikova N.V. Improving the energy efficiency of residential buildings: Problems, solution experience [*Povyshenie energoeffektivnosti zhilyh zdaniy: Problemy, opyt resheniya*]. Rossiya: tendencii i perspektivy razvitiya : Ezhegodnik. Vyp. 13. RAN. INION. Otd. nauch. sotrudnichestva; Otv. red. V.I. Gerasimov. M., 2018. Part 2. Pp. 351–353. (rus)
3. Puring S.M., Vatzov D.N., Tyurin N.P. Parameter choice optimization of ventilating air cleaning equipment while designing and constructing industrial buildings. *Procedia Engineering*. Elsevier BV. 2016. Vol. 153. Pp. 563–568. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.192.
4. Lobikova N.V., Lobikova O.M., Galyuzhin S.D. Methodical approach to the assessment of innovative heating systems in a residential house. [*Metodicheskij podhod k ocenke innovacionnyh sistem otopleniya v zhilom dome*]. *Novye materialy, oborudovanie i tekhnologii v promyshlennosti: Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii molodyh uchenyh*. Mogilev: GU VPO «Belorussko-Rossijskij universitet», 2018. 138 p. (rus)
5. Gorshkov A., Vatin N., Nemova D., Shabaldin A., Melnikova L., Kirill P. Using life-cycle analysis to assess energy savings delivered by building insulation. *Procedia Engineering*, 2015. No. 1 (117). Pp. 1085–1094.
6. Bakanova S.V., Baranov P.O. Evaluation of the economic feasibility of installing a heat exchanger bakery in the ventilation system of the building. [*Ocenka ekonomicheskoy celesoobraznosti ustanovki v sisteme ventilyacii zdaniya pekarni rekuperatora*]. *Obrazovanie i nauka v sovremennom mire. Innovacii*. Penza: Izd-vo Penzenskij gosudarstvennyj universitet arhitektury i stroitel'stva. 2018. No. 2 (15). Pp. 139–145. (rus)
7. Kobelev N.S., Fedorov S.S., Kobelev V.N. Calculation and selection of energy-saving equipment for heat supply and ventilation systems of settlement. [*Raschet i vybor energosberegayushchego oborudovaniya sistem teplogazosnabzheniya i ventilyacii naseleennyh punktov*]. Kursk: Izd-vo Yugo-Zapadnyj gosudarstvennyj universitet, 2015. Pp. 322. (rus)
8. Miseviciute V., Martinaitis V. Analysis of ventilation system's heat exchangers integration possibilities for heating season. Pap. of the 8th International Conference «Environmental Engineering», 2011. May 19-20. Vilnius: Lithuania. 2011. Vol. 2. Pp. 781–787.
9. Galyuzhin S.D., Lobikova N.V., Lobikova O.M. The economic benefits of measures to increase the energy efficiency of ventilation systems [*Ekonomicheskaya vygoda meropriyatij povysheniya energeticheskoy effektivnosti sistem ventilyacii*]. Kazakhstan-Refrigeration 2019: Proceedings of the Conference (February 20-21, 2019). Almaty: ATU, 2019. Pp. 104–110. (rus)
10. Sazonova A.A., Kel'vina K.V. Use of Heat Recuperators in Microclimate Support Systems. [*Primenenie rekuperatorov tepla v sistemah obespecheniya mikroklimata*]. *Nauchnyj al'manah*, 2016. No. 4-Z (18). Pp. 178–181. DOI: 10.17117/na.2016.04.03.178. (rus)
11. Samarin O.D. On the new approach to accounting for the condensation of water vapor during thermal calculation of air coolers. [*O novom podhode k uchetu kondensacii vodyanyh parov pri teplovom raschete vozduhoohladitelej*]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo*, Novosibirsk: Izd-vo Novosibirskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet, 2016, no. 2 (686). Pp. 67–73. (rus)
12. Burcev S.I., Cvetkov Yu.N. Moist air. Composition and properties: studies. Benefit [*Vlazhnyj vozduh. Sostav i svojstva : ucheb. posobie*]. SPb. : Izd-vo SPbGAHPT St. Petersburg. : St. Petersburg State Academy of Art and Industry, 1998. 146 p. (rus)
13. Nashchokin V.V. Technical thermodynamics and heat transfer: studies. benefit for universities [*Tekhnicheskaya termodinamika i teploperedacha : ucheb. posob. dlya vuzov*]. 3-e izd. ispr. i dop. M. : Izd-vo Vyssh. shk., 1980. 469 p. (rus)
14. Compressed air and compressors – compendium [*Szhatyj vozduh i kompressory - kompendium*]. Available at: <http://www.immertech.ru/support/compendium/index>. (accessed: 10.03.2019). (rus)
15. Van der Waals equation. Chemical Faculty of Moscow State University [*Urvnenie Van-der-Vaal'sa. Himicheskij fakul'tet MGU*]. Available at: <http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/real-gases/chap1%283%29.html>. (accessed: 11.18.2018). (rus)
16. Galyuzhin S.D., Lobikova N.V., Lobikova O.M., Galyuzhin A.S. The expediency of using modern energy-saving ventilation systems in the construction and reconstruction of buildings [*Celesoobraznost' ispol'zovaniya sovremennyh energosberegayushchih sistem ventilyacii pri stroitel'stve i rekonstrukcii zdaniy*]. *Journal of Science and Education of North-West Russia Scientific peer-reviewed Electronic Journal*. 2018. Vol. 4. No. 4. Pp. 1–8. (rus)
17. Al'tshul' A.D., Zhivotovskij L.S., Ivanov L.P. Hydraulics and Aerodynamics: a textbook for university students. [*Gidravlika i aerodinamika*].

uchebnik dlya studentov vuzov]. M.: Strojizdat, 1987. 414 p. (rus)

18. Uhin B.V. Hydraulics: account. Allowance. [Gidravlika: uch. posobie]. M.: ID «FORUM»: INFRA-M, 2009. 464 p. (rus)

19. GOST 12.1.005-88 Occupational Safety Standards System (OSS). General sanitary and hygienic requirements for working area air [GOST 12.1.005-88 Sistema standartov bezopasnosti truda (SSBT). Obshchie sanitarno-gigienicheskie trebovaniya k vozduhu rabochej zony]. (rus)

20. Sanitary norms and rules. Requirements for the control of working area air, approved Fast. The Ministry of Health of the Republic of Belarus of October 11 2017 No. 92. [Sanitarnye normy i pravila. Trebovaniya k kontrolyu vozduha rabochej zony, utv. Post. Min-va zdavoohraneniya RB ot 11 oktyabrya 2017 No. 92.] <http://www.ohrana-truda.by/topic/5546-utverzhdenny-novye-sanitarnye-normy-i-pravila-t/> (accessed: 01.10.2019). (rus)

21. Hygienic standards «Maximum permissible concentrations of harmful substances in the air of the working area» approved Fast. The Ministry of Health of the Republic of Belarus of October 11, 2017 no. 92. [Gigienicheskie normativy «Predel'no dopustimye koncentracii vrednyh veshchestv v vozduhe rabochej zony». utv. Post. Min-va zdavoohraneniya RB ot 11 oktyabrya 2017 g. №92] Adobe Acrobat Reader. URL: <http://www.ohrana-truda.by/topic/5546-utverzhdenny-novye-sanitarnye-normy-i-pravila-t/> (accessed: 10.01.2019). (rus)

Information about the authors

Galyuzhin, Sergey D. PhD. Belarusian-Russian University, Mogilev, Republic of Belarus, 212000, Mogilev, Mira Ave, 43.

Lobikava, Nadezhda V. Master student. E-mail: nadya.lobickova@yandex.ru. Belarusian-Russian University. Republic of Belarus, 212000, Mogilev, Mira Ave, 43.

Lobikava, Olga M. Senior Lecturer. E-mail: olg.lobikova@yandex.ru. Belarusian-Russian University. Republic of Belarus, 212000, Mogilev, Mira Ave, 43.

Received in May 2019

Для цитирования:

Галюжин С.Д., Лобикова Н.В., Лобикова О.М. Определение исходных данных для проектирования устройства удаления конденсата из рекуператора вентиляционной установки // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 7. С. 63–71. DOI: 10.34031/article_5d35d0b6901803.57308546

For citation:

Galyuzhin S.D., Lobikava N.V., Lobikava O.M. Determination of initial data for designing a device to remove condensate from the recuperator of ventilation equipment. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 7. Pp. 63–71. DOI: 10.34031/article_5d35d0b6901803.57308546

22. Klingenburg equipment catalog. Heat recovery plate heat exchangers [Katalog oborudovaniya Klingenburg. Rekuperaciya tepla plastinchatymi teploobmennikami]. Available at: Adobe Acrobat Reader. URL: <https://www.c-o-k.ru/library/catalogs/klingenburg/10825> (accessed: 12.01.2018). (rus)

23. Johnson N., Lyon F. Statistics and Experiment Planning in Science and Technology: Experiment Planning Methods: trans. from English [Statistika i planirovanie eksperimenta v nauke i tekhnike: Metody planirovaniya eksperimenta] per. s angl., M.: Izd-vo Mir, 1981. 520 p. (rus)

24. Yazheritsyn P.I., Makharinsky E.I. Planning of an experiment in mechanical engineering. [Planirovaniye eksperimenta v mashinostroenii]. Minsk: Izd-vo Vysh. shk., 1985. 286 p. (rus)

25. Galyuzhin A. S. Justification of the necessity of drying compressed air. [Obosnovanie neobhodimosti osushki szhatogo vozduha]. Vestn. Mogilevskogo gos. un-ta prodovol'stviya. 2010. No. 1. Pp. 113–119. (rus)

26. Lukanin V.N., Shatrov M.G., Kamfer G.M. Heat engineering: a textbook for universities. [Teploekhnika] uchebnik dlya vuzov. pod red. V. N. Lukanina. M.: Vyssh. shk., 2000. 671 p. (rus)

27. Vilner Ya.M., Nekrasov B.B. Reference manual for hydraulics, hydraulic machines and hydraulic drives [Spravochnoe posobie po gidravlike, gidromashinam i gidroprivodam]. Minsk : Izd-vo Vysh. shk., 1985. 382 p. (rus)

DOI: 10.34031/article_5d35d0b7b4d548.97521615

¹Ярмош Т.С., ¹*Михайлова И.Д.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, Белгородская область, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

*E-mail: Irinakitaeza@gmail.com

ЛАНДШАФТНЫЙ УРБАНИЗМ – НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ КОНЦЕПЦИЙ РАЗВИТИЯ ГОРОДСКОГО ПРОСТРАНСТВА НА ПРИМЕРЕ ГОРОДОВ РОССИИ

Аннотация. Современные условия жизни в городах приводят к повышению уровня стресса. Увеличивается плотность застройки, объемы производства, уровень урбанизации: фактор живой природы, как естественный способ снижения внутреннего напряжения отсутствует. Требуется решение такого рода, где «город» и «природа» должны стать синонимами в сознании людей: новая стратегия градостроительного развития, отвечающая внутренним потребностям человека в природном окружающем пространстве, в частности, общегородским задачам по сохранению природных ландшафтов, преобразованию нарушенных территорий для обеспечения благоприятной экологической обстановки населенного пункта, в целом.

Одним из путей решения этой проблемы на общегородском уровне становится ландшафтный урбанизм: новое направление современных концепций развития и модернизации городского пространства, решающее вопросы взаимного функционирования разных городских зон путем внедрения «буферных» ландшафтных пространств.

В России ландшафтный урбанизм только начинает набирать популярность. Его принципы повсеместно применяются при проектировании рекреационных пространств в крупных и малых городах. Существующие на сегодняшний день примеры, позволяют говорить об эффективности ландшафтного урбанизма в контексте улучшения экологии территории, универсальности ее функционального назначения и эстетической привлекательности.

Ключевые слова: ландшафтный урбанизм, социально-ориентированная структура территории.

Введение. Современные высокие темпы урбанизации постепенно подводят человека к поиску решения вопроса демографического взрыва. Большие города становятся еще больше, общественные пространства максимально используются площадями зданий и сооружений для жизни, оказания услуг или производства: уменьшается количество озеленённых насаждений. Увеличение населения в городах сопровождается новым строительством на месте пешеходных и рекреационных территорий.

Условия жизни приводят к повышению уровня стресса. Фактор живой природы как естественный способ снижения внутреннего напряжения отсутствует. Размещение и организация труда всё большего количества людей в районах с искусственно созданной средой (техносфера) повышает конфликтность в сфере отношений человека и природы, что требует не только бережного отношения к природе, но и постоянного воспроизводства природной среды [1].

Требуется решение такого рода, где «город» и «природа» должны стать синонимами в сознании людей, единой морфологической структурой. Городской житель должен иметь возможность ежесекундного контакта с природой, воспитываться в этой среде, при этом, не нанося ей урон [2].

Требуется новая стратегия градостроительного развития, отвечающая внутренним потребностям человека в природном окружающем пространстве, в частности, общегородским задачам по сохранению природных ландшафтов, преобразованию нарушенных территорий для обеспечения благоприятной экологической обстановки населенного пункта, в целом.

Одним из путей решения этой проблемы на общегородском уровне становится ландшафтный урбанизм: новое направление современных концепций развития и модернизации городского пространства, решающее вопросы взаимного функционирования разных городских зон путем внедрения «буферных» ландшафтных пространств.

Ландшафтный урбанизм направлен на создание экологически безопасной и социально-ориентированной структуры территории, открытой навстречу природе и комфортной для людей [3].

Современные принципы территориального планирования разительно отличаются от принципов середины и конца прошлого столетия, когда среда обитания человека рассматривалась как совокупность зон, отвечающих тем или иным потребностям, а не как единая система, каждый элемент которой совместно друг с другом комплексно отвечает поставленным задачам пространства человека-потребителя.

Раньше, например, проектирование сети городских пространств происходило при учете и вовлечении рекреационных зон, как отдельных равнозначных функциональных элементов. Сегодня, наоборот все чаще наблюдается тенденция непрерывной интеграции городской инфраструктуры и территории озеленения. Таким образом последние не просто являются неотъемлемыми элементами пространства, обеспечивающими экологическую составляющую территории, они также должны «подстраиваться» под функциональное назначение окружающих их пространств.

Иными словами, пространственные конструкции городской среды более не должны определяться рамками заранее заданных функций или стремиться к изоляции, но вместо этого должны быть интегрированы в ткань города [4].

Основная часть. Ландшафтная архитектура способна «продвигать» участки, превращать их в новые с визуальной, общественной и интеллектуальной точки зрения территории, работая над глубинной природой места [5].

Родиной ландшафтного урбанизма считается США, а теоретиком - американский ландшафтный архитектор Фредерик Олмстед, который совместно с Кальвертом Во, создал Центральный парк в Нью-Йорке в 1859 году. При проектировании такого масштабного рекреационного пространства они придерживались тех принципов, которые впоследствии стали ключевыми при формировании ландшафтного урбанизма как нового веяния урбанистики, а именно - сохранение уникального природного ландшафта путем реновации существующей ландшафтной композиции.

С тех пор ландшафтный урбанизм приобрел много сторонников. В конце прошлого столетия в Америке и Европе увеличилось количество проектов, отвечающих основным принципам течения, основанных на теории и практике. В настоящее время его принципы находятся в процессе формирования, так как основаны на результатах аналитических исследований уже существующих и проектируемых объектов ландшафтного урбанизма [6].

Таким образом можно выделить некоторые основные неотъемлемые составляющие элементы среды ландшафтного урбанизма:

- вода (искусственные и естественные водные системы города).
- городская инфраструктура (инженерные, коммунальные, транспортные сети и др.).
- экологические системы и биоразнообразие (ландшафтная экология, геоморфология, гидрология, климат и растительность) [7].

Выделяют также и второстепенные составляющие, фигурирующие в проектах ландшафтного урбанизма в зависимости от возможностей проектируемой местности:

- городское сельское хозяйство (повторное использование окружающей среды и промышленных территорий).
- энергетика (производство энергии с помощью альтернативных и возобновляемых систем, таких как энергия ветра, солнца, воды и др.).
- промышленное пространство (где с помощью ландшафтного урбанизма корректируется формообразование и трансформируются функции при реорганизации).
- отдых (программирование поверхностей в качестве гибких пространств для различных рекреационных целей) [7].

В России ландшафтный урбанизм только начинает набирать популярность. В последнее время муниципальные власти городов рассматривают ландшафтный урбанизм не просто как способ преобразования территории, а скорее как необходимость ускорения наступления последствий такой переделки. Так, повышение эстетических составляющих городской среды, создание ее уникального образа, способны развивать сферу туризма, повышать уровень экономики и увеличивать поступающие инвестиции в город и его объекты извне.

Наибольшее распространение это направление получило в столице России. Осенью 2017 года в Москве открыли парк «Зарядье». Его территория граничит с главным центром всей страны – Красной площадью, с крупными торговыми центрами и офисными центрами города, определенным образом интегрируя в историко-культурный и деловой центр Москвы, что приводит к созданию своеобразной «спокойной» буферной зоной между окружающими пространствами (рис. 1).

Ландшафтное решение пространства выбрано не случайно: луга, холмы, низины и степные участки воссоздают все природные зоны нашей страны (рис. 2). Так, перенестись в атмосферу Крайнего Севера можно при помощи специальной, оборудованной в подземном музее парка, «Ледяной пещеры».

«Зарядье» – не просто парк, это новый тип общественного пространства, созданный международной командой архитекторов, инженеров, ландшафтных дизайнеров и других экспертов во главе с американским архитектурным бюро «Diller Scofidio + Renfro». Здесь природа и технологии, просвещение и развлечения, история и современность соединяются и дополняют друг друга [9].

В основу создания парка легли принципы ландшафтного урбанизма: экологическое разнообразие, интегрирование пешеходных сетей цен-

тра города в структуру парка, а также использование водных ресурсов в организации пространства.

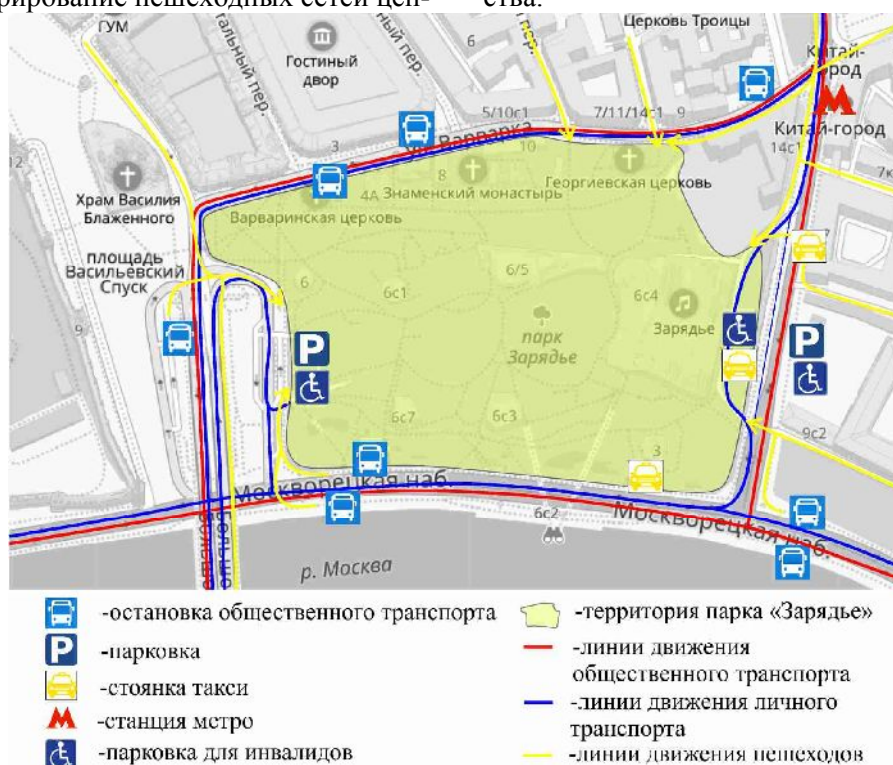


Рис. 1. Схема транспортно-пешеходной доступности парка «Зарядье»



Рис. 2. Схема озеленения парка «Зарядье» [8]

Такой выбранный подход направлен на активное включение природы в структуру города на основе сохранения и воссоздания её естественного биоразнообразия для формирования идентичного и эстетически привлекательного городского пространства [3].

Еще одним объектом, созданным по принципам ландшафтного урбанизма, является парк «Тюфелева роща» ландшафтного дизайнера Джерри Ван Эйка, расположенного на месте территории бывшего автомобилестроительного завода «ЗИЛ» в городе Москва (рис. 3).

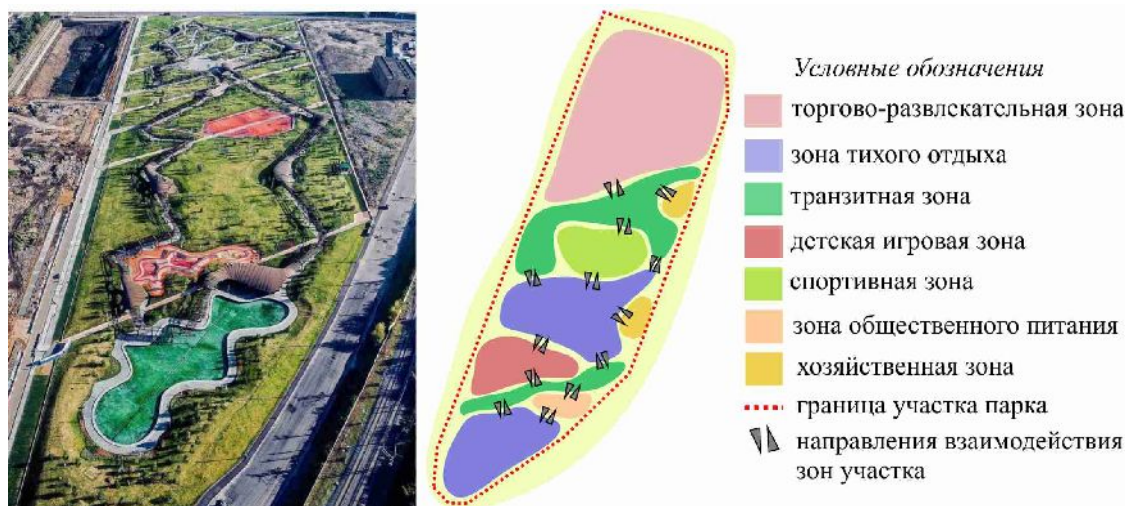


Рис. 3. Схема функционального зонирования парка «Тюфелева роща»

Площадь парка около 10 га. Однако, благодаря большому количеству зеленых насаждений, пешеходных дорожек, протяженностью около 1.5 км, и искусственному пруду (глубиной более метра и площадью 3 тыс. кв. м., с эффектом «голубой лагуны», который стал возможен благодаря уникальной многоступенчатой системе очистки из пяти линий), «Тюфелева роща» является большой рекреационной территорией, интегрированной в общественное и деловое пространство города путем расположенных в границах парка торговых и спортивных павильонов, а также перголы, выполняющей функции крытой прогулочно – пешеходной зоны и смотровой площадки.

Формально парк расположен на территории жилого комплекса «ЗИЛАРТ», но свое название берет из истории: пруд, и парк находились на берегу Москвы-реки еще задолго до появления автомобилестроительного завода, здесь располагалась известная реликтовая хвойная «Тюфелева роща», которая была намного старше Москвы. В XX веке во время всеобщей индустриализации страны она была полностью вырублена и застроена, и только, спустя много лет, когда столица взяла курс на преобразование экологически неблагоприятных территорий удалось вернуть древнюю «ранее зеленую» зону, которая теперь начинает возрождаться.

В Краснодаре принципы ландшафтного урбанизма нашли отражение в парке с рабочим названием «Краснодар», общей площадью 23 га, который является частью территории крупнейшего в Кубани стадиона, расположенного вблизи спальных районов города. Автором проекта выступило немецкое архитектурное бюро «gmp International».

Парк «Краснодар» – это большое рекреационное пространство, включающее в себя расти-

тельность, привезенную со всего мира, подобранную и высаженную таким образом, чтобы в условиях Российского климата пейзажи всегда оставались зелеными. При строительстве, отделке и благоустройстве парка использовались высокотехнологичные, качественные и экологически чистые материалы: например, песок на детской площадке – кварцевый (такой используют в лабораториях для получения прозрачного стекла) [10].

Газон парка «Краснодар» можно оценивать как отдельное пространство, включающее в себя элементы геопластики, которые в зависимости от функционального назначения, соединены между собой целой многокилометровой сетью пешеходных и велосипедных дорог. На газоне можно играть в подвижные игры или проводить семейный пикник (рис. 4).

На территории "Краснодара" есть фонтан с водопадом и водоемом (зимой он превратится в открытый каток с искусственным льдом); скалодром, площадка для стритбола, скейт-зона для экстремальных видов спорта, музыкальный лабиринт для детей (здесь установлены разные музыкальные инструменты), открытый кинотеатр на 200 человек, детские площадки, веревочные городки и многое другое [10].

Таким образом, строительство парковой зоны в существующих условиях помогло решить сразу несколько проблем: занятости и распределения большого количества посетителей во время работы стадиона, обеспечение рекреации проживающих недалеко жителей города путем интеграции парковых рекреационных зон в социальную инфраструктуру района.

Принципами ландшафтного урбанизма руководствовались известный ландшафтный архитектор Оливье Даме совместно с бюро «Мегапарк», при создании проекта реконструкции парка «Динамо» в городе Воронеж.



Рис. 4. Схема функционального зонирования городского парка «Краснодар»

Парк располагается вблизи спортивных комплексов, однако на существующем ныне месте он появился еще в XVIII веке. Его территория ещё издавна представляла собой нетронутые природные ландшафты, обустроенные сеть пешеходных дорог и рекреационных пространств. За все время своего существования он пережил периоды как расцвета, так и упадка. Несколько лет назад городскими властями Воронежа было принято правильное решение: территория, расположенная недалеко от центра города, должна была быть использована эффективно, поэтому в 2015

году было реконструировано 10 га парка (из примерно 100 га существующих).

Сегодня парк «Динамо» представляет собой большое рекреационное пространство с сетью пешеходных и велосипедных дорожек, искусственным прудом, большим количеством детских игровых площадок для детей разного возраста, веревочным городком, обустроенными скверами и точками общественного питания (рис. 5). В теплое время года здесь работает восстановленный «Зеленый театр» а также небольшой ипподром [11].

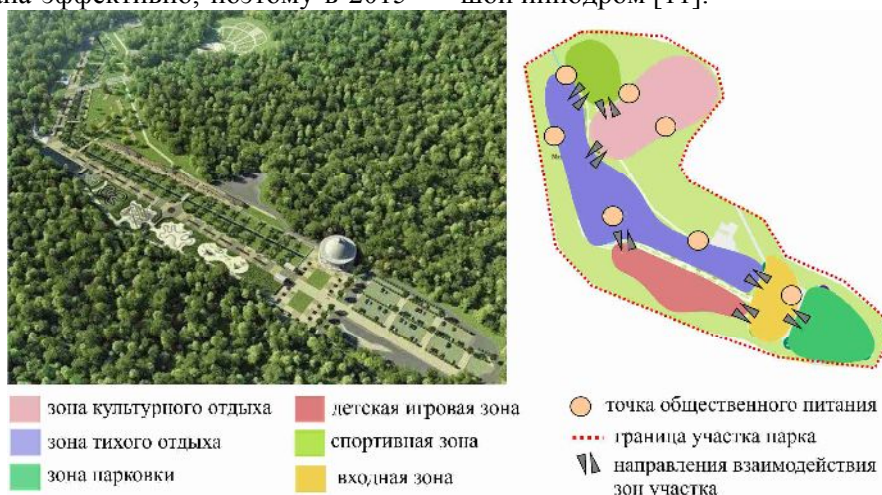


Рис. 5. Схема функционального зонирования парка «Динамо» в г. Воронеж

Идеи ландшафтного урбанизма нашли своё отражение в реконструкции набережных больших и малых городов России. Развитие этой темы приводит к идее «ландшафтного подхода» – такой оптики профессионального видения, которая подразумевает гармоничное сосуществование архитектуры и природы, рассматривает их «нераздельно и неслиянно» – как части одного смыслового и пространственного целого [12].

«Крымская набережная» в Москве – это пример модернизации общественного прибрежного

пространства путем облагораживания и активного интегрирования в городскую инфраструктуру улицы вдоль набережной [13].

До реконструкции «Крымская набережная» представляла собой неблагоустроенное пространство вдоль Москвы – реки, благодаря которому существовала пешеходная связь между зданием Государственной галереи, залами Третьяковки, выставочными и общественными пространствами, а также городской парковкой. Здесь часто собирались художники, выставляющие свои работы (импровизированный общественный «Вернисаж»).



Рис. 6. Поперечный разрез улицы «Крымской набережной» в Москве

В 2013 году набережную реконструировали по проекту московского архитектурного бюро «Wowhaus». Сегодня выполненный проект – это вытянутая вдоль линии набережной на несколько километров сеть пеших и велосипедных дорожек, которая соединяет не только объекты на территории парка, а также является функциональной буферной зоной для прилегающих общественных зданий и пространств и природным водным ландшафтом города (рис. 6).

При таком проектировании важными становятся не только функция и форма, но и то, каким образом они будут вписаны в повседневность пользователя, не будут ли нарушать культурный контекст, или портить экологическую обстановку [14].

На этой территории помимо разнообразных элементов ландшафтного благоустройства, располагается также закрытый павильон – бесплатный выставочный комплекс для художников вместо «импровизированного Вернисажа», фонтаны, пространство для спокойного отдыха, представляющие собой столы и стулья, установленные между деревьями (в полном уединении с природой), искусственные холмы и многое другое.

Сегодня Белгород также стал тем местом, где применяются принципы ландшафтного urba-

низма. В 2017 г. управление архитектуры и градостроительства Белгородской области совместно с конструкторским бюро «Стрелка» проведена реконструкция 3 участков набережной реки Везелки [15].

В 2018 году была проведена большая часть запланированных работ: разработана транспортная-пешеходная сеть (также включающая в себя велосипедные дорожки), высажены зеленые насаждения, очищены некоторые водные акватории.

В особенно живописных местах оборудованы «водные контактные» зоны в виде рыбацких мостиков, прогулочных тропинок и террас. На территории набережной появилась собственная инфраструктура, разработанная согласно разделению всей проектируемой территории на три основных тематических блока. Первый блок: территория у Белгородского государственного университета – основная зона посещения для студентов. Второй блок: участок набережной у парка Победы – зона массового общественного посещения с основной ориентацией на семейный отдых. Третий блок: территория Музея-диорамы – зона спокойного отдыха с особенно эстетически привлекательными ландшафтами (рис. 7).



Рис. 7. Схема функционального зонирования территории набережной г. Белгорода.

Схема подготовлена КБ «Стрелка».

Выводы. Сегодня архитектура перестала быть только «искусством возведения разного вида сооружений, отвечающим требованиями удобства и красоты». Сейчас архитектура явля-

ется мощным средством, призванным формировать в комплексе, согласно социальным привычкам и предпочтениям, всю среду обитания человека и тем самым оказывать воздействие на общество [16].

Тенденции развития многих городов России, в настоящий момент, направлены на создание благоприятных условий для экореконструкции городских пространств. Реализация данных тенденций осуществляется через разработку новой пространственной структуры «городов-ландшафтов», или реорганизацию существующей структуры, в которых экологическая и ландшафтная составляющая является главенствующей [15].

Ландшафтный урбанизм предлагает новые способы решения возникающих социальных, демографических и градостроительных проблем.

Основным его задачами являются:

- реконструирование или модернизация территорий путем сохранения форм природного ландшафта (сеть транспортных и пешеходных путей не является причиной, например, вырубки деревьев), все производимые преобразования призвали лишь подчеркнуть естественную природную составляющую;

- рекреационные зеленые пространства больше не рассматриваются как отдельные элементы плана озеленения: они интегрируются в инфраструктуру города, образуя буферные зоны, соединяющие разные по назначению окружающие пространства (создавая сложные функциональные связи между ними);

- создаваемые пространства рассчитаны на меняющиеся потребности города, поэтому они изменяют свою форму и конфигурацию вместе с жизнью жителей этих населенных пунктов (без учета интересов человека как потребителя, без понятий о его пребывании в любом конкретном объекте городской жилой среды не может осуществиться цивилизованного обустройства его жизненного пространства [17]);

- наличие большого количества рекреационных территорий, интегрированных в городскую инфраструктуру, позволяет рассматривать облик города с точки зрения ландшафта в целом, в его многообразии и многофункциональности;

- применяемые на практике идеи ландшафтного урбанизма улучшают экологию; природные ландшафты вблизи повседневной жизни человека плодотворно влияют на его психоэмоциональное состояние.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пьеркова М.В., Вайтенс А.Г., Баклаженко Е.В. Классификация градостроительных конфликтов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №12. С. 83–90. DOI: 10.12737/article_5c1c99640dff53.24262657
2. Логунова Е.Н. Ландшафтный урбанизм как метод формирования экологического сознания [Электронный ресурс] // Молодежь и наука: сборник материалов IX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 385-летию со дня основания г. Красноярска. URL: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/section039> (дата обращения: 15.01.2019).
3. Красильникова Э.Э. Ландшафтный урбанизм: новый взгляд на старую проблему [Электронный ресурс] // Интернет-издание Green-city: зеленые технологии и архитектура. URL: <http://green-city.su/landshaftnyj-urbanizm> (дата обращения: 10.11.2018).
4. Gintoff Vladimir. Projects that Explain Landscape Urbanism and How it's changing the face of cities. ArchDaily [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://www.archdaily.com> (дата обращения: 10.01.2019).
5. Архитектор Клеман Вильмен рассказал о важности природы в современной урбанистике: [Электронный ресурс] // Архсовет Москвы. URL: <http://archsovet.msk.ru/article/city-design/arhitektorklemanvilmen> (дата обращения 10.11.18).
6. Красильникова Э.Э. Ландшафтный урбанизм. Теория- практика: научная монография. Ч.1 : научные и практические основы ландшафтного урбанизма. // Волгоград: ООО «ИАА «Областные вести». 2015. 156 с.
7. Селимова С.С. Формирование понятия «ландшафтный урбанизм» в градостроительстве // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. 2014. №2 (106). С. 163–169. ISSN 1814\$3296.
8. Схема озеленения парка «Зарядье» [Электронный ресурс] // Комплекс градостроительной политики и строительства Москвы, АО «Мосинжпроект». Системные требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.mosinzhproekt.ru/> (дата обращения 29.11.18).
9. История парка «Зарядье»: [Электронный ресурс] // Официальный сайт парка «Зарядье». Системные требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://www.zaryadyepark.ru/history/> (дата обращения 17.11.18).
10. Гень Ю. Возле стадиона "Краснодар" открылся уникальный парк [Электронный ресурс] // Российская газета. URL: <https://rg.ru/2017/09/28/reg-ufo/voztle-stadiona-krasnodar-otkrylsia-park.html> (дата обращения 10.11.18).
11. Парк «Динамо» [Электронный ресурс] // Официальный сайт Воронежского центрального парка. URL: <https://www.centralniy-parkvrn.ru/map-park/> (дата обращения 29.11.18).

12. Головатюк Е. Ландшафтный урбанизм // Проект Россия. Ландшафт. 2009. № 54. С. 5–8.

13. Крымская набережная в Москве [Электронный ресурс] // Интернет – издание об архитектуре, градостроительстве и дизайне «speech: archspeech». URL:

<https://archspeech.com/object/krymskaya-naberezhnaya-v-moskve> (дата обращения 27.11.18).

14. Словарный запас: средовой подход [Электронный ресурс] // Архитектурный журнал «Стрелка». URL:

<https://strelkamag.com/ru/news/vocabulary-environmental-approach> (дата обращения 10.11.18).

15. Королева И.С., Королев А.С. Процесс урбанизации береговых пространств современного города (на примере белгородской городской агломерации) // Успехи современного естествознания. 2018. № 4. С. 127–132.

16. Ярмош Т.С., Михайлова И.Д. Социокультурное ландшафтное проектирование // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2018. Т. 9. № 4. С. 5–16. DOI: 10.15593/2224-9826/2018.4.01

17. Ярмош Т.С. Социокультурные принципы жилой среды // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. №5. С. 254–258.

Информация об авторах

Ярмош Татьяна Станиславовна, доцент кафедры «Архитектуры и градостроительства» БГТУ, член Союза архитекторов России. E-mail: archi618@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Михайлова Ирина Денисовна, студент. E-mail: Irinakitaeza@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в марте 2019 г.

©Ярмош Т.С., Михайлова И.Д., 2019

¹*Yarmosh T.S., ^{1,*}Mikhailova I.D.*

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

Russia, 308012, Belgorod, st.Kostyukova, 46

**E-mail: Irinakitaeza@gmail.com*

LANDSCAPE URBANISM – A NEW DIRECTION OF MODERN CONCEPTS OF URBAN SPACE DEVELOPMENT ON THE EXAMPLE OF RUSSIAN CITIES

Abstract. Modern living conditions in cities lead to increased levels of stress. Building density, production volumes, level of urbanization are increasing: the factor of nature as a way to reduce stress is absent. A solution is required, where "city" and "nature" should become synonyms in people's minds: a new urban development strategy that meets human needs in the natural surrounding space, in particular, city tasks of preserving natural landscapes and the transformation of disturbed areas to ensure a favorable environmental situation of locality. One of the ways to solve this problem at the city level is landscape urbanism: a modern concept of development and modernization of urban space, solving issues of mutual functioning of different urban areas through the introduction of "buffer" landscape spaces. In Russia, landscape urbanism is just beginning to gain popularity. Its principles are widely used in the design of recreational spaces in large and small cities. The existing examples allow to consider the effectiveness of landscape urbanism in the context of improving the ecology of the territory, the universality of its functional purpose and the aesthetic attractiveness.

Keywords: landscape urbanism, socially-oriented structure of the territory.

REFERENCES

1. Perkova M.V., Vitens A.G., Baklazhenko E.V. Classification of urban conflicts [*Klassifikatsiya gradostroitel'nykh konfliktov*]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 12. Pp. 83–90. DOI: 10.12737/article_5c1c99640dff53.24262657 (rus)

2. Logunova E.N. Landscape urbanism as a method of formation of ecological consciousness [*Landshaftnyy urbanizm kak metod formirovaniya ekologicheskogo soznaniya*]. Molodezh' i nauka:

sbornik materialov IH Vserossiyskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh s mezhduna-rodnym uchastiem, posvyashchennoj 385-letiyu so dnya osnovaniya g. Krasnoyarska. Available at: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/section039> (accessed 02.02.2019). (rus)

3. Krasilnikova E.E. Landscape urbanism: a new look at the old problem [*Landshaftnyy urbanizm: novyy vzglyad na staruyu problemu*]. Internet publication Green-city: green technologies and architecture.

Available at: <http://green-city.su/landshaftnyj-urbanizm> (accessed 10.11.2018). (rus)

4. Gintoff Vladimir. Projects that Explain Landscape Urbanism and How it's changing the face of cities. ArchDaily. Available at: <https://www.archdaily.com> (accessed 10.01.2019).

5. Architect Clement Wilmen spoke about the importance of nature in modern urbanism [*Vil'men rasskazal o vazhnosti prirody v sovremennoj urbanistike*]. Arch Council of Moscow. Available at: <http://archsovet.msk.ru/article/city-design/arhitektor-kleman-vil-men> (accessed 10.11.2018). (rus)

6. Krasilnikova E.E. Landscape urbanism. Theory-practice: scientific monograph [*Landshaftnyj urbanizm. Teoriya praktika: nauchnaya monografiya*]. Part 1: scientific and practical bases of landscape urbanism. Volgograd: LLC "IAA "Regional news", 2015, 156 p. (rus)

7. Selimova S.S. Formation of the concept of "landscape urbanism" in urban planning [*Formirovanie ponyatiya «landshaftnyj urbanizm» v gradostroitel'stve*]. Bulletin of the Donbass national Academy of construction and architecture. 2014. No. 2 (106). Pp. 163–169. ISSN 1814-3296. (rus)

8. The scheme of gardening of Zaryadye Park [*Skhema ozeleneniya parka «Zaryad'e»*]. Complex of town-planning policy and construction of Moscow, JSC Mosinzhproekt. Available at: <http://www.mosinzhproekt.ru/> (accessed 29.11.2018). (rus)

9. History of Zaryadye Park [*Istoriya parka «Zaryad'e»*]. Official website of Zaryadye. Available at: <https://www.zaryadyepark.ru/history/> (accessed 17.11.2018). (rus)

10. Gen Yu. Near the stadium "Krasnodar" opened a unique Park [*Vozle stadiona "Krasnodar"*

otkrylsya unikal'nyj park]. Rossiyskaya Gazeta. Available at: <https://rg.ru/2017/09/28/reg-ufo/vozle-stadiona-krasnodar-otkrylsia-park.html> (accessed 10.11.2018). (rus)

11. Dynamo Park [Park «Dinamo»]. Official website of Voronezh Central Park. Available at: <https://www.centralniy-parkvrn.ru/map-park/> (accessed 29.11.2018). (rus)

12. Golovatyuk E. Landscape urbanism. Project Russia: Landscape. 2009. No. 54. Pp. 5–8.

13. Crimean embankment in Moscow [*Krymskaya naberezhnaya v Moskve*]. Internet – publication about architecture, urban planning and design "speech: archspeech". Available at: <https://archspeech.com/object/krymskaya-naberezhnaya-v-moskve> (accessed 27.11.2018). (rus)

14. Vocabulary: environmental approach [*Slovarnyj zapas: sredovoj podhod*]. Strelka Architectural magazine. Available at: <https://strelkamag.com/ru/news/vocabulary-environmental-approach> (accessed 10.11.2018). (rus)

15. Koroleva I.S., Korolev A.S. The process of urbanization of coastal spaces of the modern city (on the example of the Belgorod urban agglomeration) [*Process urbanizacii beregovykh prostranstv sovremennogo goroda (na primere Belgorodskoj gorodskoj aglomeracii)*]. Advances in modern natural science. 2018. No. 4. Pp. 127–132. (rus)

16. Yarmosh T.S., Mikhailova I.D. Sociocultural landscape design [*Sociokul'turnoe landshaftnoe projektirovanie*] Vestnik PSRU: Construction and architecture. 2018. No. 4. Pp. 5–16. DOI: 10.15593/2224-9826/2018.4.01 (rus)

17. Yarmosh T.S. Socio-cultural principles of living environment [*Sociokul'turnye principy zhiloj sredy*]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2014. No. 5. Pp. 254–258. (rus)

Information about the authors

Yarmosh, Tatiyana S. Professor. E-mail: archi618@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Mikhailova, Irina D. Student. E-mail: Irinakitaeva@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in March 2019

Для цитирования:

Ярмош Т.С., Михайлова И.Д. Ландшафтный урбанизм – новое направление современных концепций развития городского пространства на примере городов России // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 7. С. 72–80. DOI: 10.34031/article_5d35d0b7b4d548.97521615

For citation:

Yarmosh T.S., Mikhailova I.D. Landscape urbanism – a new direction of modern concepts of urban space development on the example of Russian cities. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 7. Pp. 72–80. DOI: 10.34031/article_5d35d0b7b4d548.97521615

DOI: 10.34031/article_5d35d0b7015671.21777827

^{1,*}Бурагба Р., ¹Перькова М.В., ²Семенцов С.В.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46²Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Россия, 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4

*E-mail: bouragba2018@yandex.ru

РАЗВИТИЕ ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЫ ДРЕВНИХ ГОРОДОВ МАРОККО НА ПРИМЕРЕ Г. МАРРАКЕШ

Аннотация. В статье прослеживается процесс формирования планировочной структуры исторического ядра в общей структуре Марокканских городов. Выявлена последовательность застройки медины Марракеша, основные элементы ее планировочной структуры и их развитие по периодам. Рассматривается исламский период, основанный на чередовании правящих династий. Также отражены общие черты планировки городов Марокко и характерные черты, свойственные планировочной структуре Марракеша. Выявлено пять этапов развития функционально-планировочной структуры Марракеша, каждый из которых характеризуется изменением и дополнением элементов планировочной структуры, увеличением периметра застройки медины с включением в него новых элементов. Прослеживается история строительства и трансформации ключевых памятников архитектурного наследия и их влияние на общую структуру медины.

Выявлено, что освоение территории и строительство жилых кварталов по периметру существующей медины повлекло появление нового контура ограждающей стены с включением торговых и ремесленных секторов. Это характерно для второго и третьего периода. Дальнейшее освоение территории города происходило в четвертом и пятом периоде путем строительства жилых кварталов за чертой медины (каменными стенами) и расселением там нового населения. Анализ развития медины Марракеша позволяет выявить идентичность ее архитектурно-планировочной структуры и отнести к типу формирования средневековых городов. На основе рассмотренных данных мы можем прогнозировать дальнейшее направление развития планировочной структуры медины и предотвратить её утрату, «растворение» в структуре города.

Ключевые слова: планировочная структура, историческое ядро города, Марракеш, медина.

Марокко (Королевство Марокко) – государство, расположенное в северной части Африки на южном побережье. Заселение территории Марокко началось со времен раннего палеолита. Марокко издавна являлась узлом пересечения сухопутных и морских путей. В раннюю эпоху климатические условия региона были более благоприятны для жизнедеятельности населения. На этой территории возводились древнейшие города. Последние археологические находки говорят о возможном проживании в этом районе людей еще более 300 тыс. лет назад. Благодаря географическому положению, благоприятному климату и природным условиям, огромному наследию в виде памятников архитектуры и культуры, туризм в Марокко занимает значительную нишу в системе международного туризма. Согласно статистике Министерства туризма Марокко, страна зарегистрировала рекорд в 11,35 миллиона туристов в 2017 году. По представленной статистике прирост составил 10 %. Среди растущих – в основном традиционные европейские рынки: 15 % составил прирост по немецким туристам, 9 % на голландском и итальянском рынке и 8 % на французском и испанском [9]. Согласно стати-

стическим данным от сферы международного туризма в Марокко доход составляет 23,1 % от общего экспорта.

Проблема сохранения архитектурно-исторической среды городов находится в противоречии с агрессивно развивающейся строительной индустрией, не имеющей базы в виде стратегии застройки в зоне, имеющей культурно-историческую ценность. Следовательно, первоочередной задачей является сохранение архитектурно-исторической среды древних городов Марокко в условиях постоянного разрушения исторического наследия. Необходимы исследование и выявления сбалансированных антропогенных нагрузок при расширении площадей современных застроек, учитывая увеличение объема потока туристов. Важно в системе современной застройки и расселения, обозначить роль памятников архитектуры и исторического наследия, найти способы их адаптации к современной среде города. Необходима разработка научно-обоснованных подходов и методов решения планового регулирования развития туристической сферы при направленности к сохранению куль-

турно-исторического наследия. Для этого необходимо знать историю формирования планировочной структуры древних городов Марокко.

Рассмотрим исламский период. Основными точками исторических периодов страны является чередование правящих династий. Каждому из них характерны собственные черты системы планировки и архитектурно-стилистические направления. Исламский период включает в себя следующие этапы:

1 этап – 789–905 гг. н.э. этап Идрисидов, арабско-берберская ветвь. Фес – столица империи. Ветвь появившихся от них правителей Хаммудиды.

2 этап – 1039–1147 гг. – этап Альморавидов, берберская ветвь. Марракеш – столица.

3 этап – 1121 – 1269 гг. – этап Альмохадов, берберская ветвь. Рабат – столица.

4 этап включает время правления Маринидов, берберская ветвь (1244–1465 гг.) и Ваттасидов, берберская ветвь (1465–1554 гг.). Фес – столица.

5 этап – включает время правления Сааидов, арабская ветвь (1549–1609 гг.). При этом столица переносилась за время правления из Феса в Марракеш и обратно в Фес. С 1603 гг. по настоящее время – время правления Алауитов, арабская ветвь. Столицы также многократно переносятся: Мекнес, Фес, Рабат (по настоящее время). Таким образом, столичными городами на разных этапах были Фес, Марракеш, Рабат, Мекнес.

На основе приведенной периодизации выявлено, что происходили изменения в функционально-планировочной структуре медины, которые осуществлялись по определенным закономерностям.

Как правило, возводилось четверо ворот по направлению сторон света или торговых путей в

стенах города. Направление основных улиц обособывалось расположением ворот, улицы пересекались в центре города. На планировочную структуру влияла топографические особенности местности. В некоторых случаях ворота могли быть направлены в одну сторону. От пересечения главных улиц зависело расположение главной площади. Площадь выполняла функцию форума (собрания жителей, место проведения религиозных сборов, и на ней же собирался налог). Тщательно изучить внутреннюю структуру медины древних городов этого периода невозможно. Раскопки не велись, а существующий вид искажен относительно древнего в результате развития города. Наличие цитаделей в мекках указывает на Средне Азиатское влияние так, как ключевым компонентом городов Средней Азии была Цитадель. Этот важный элемент застройки городов Арабского Халифата древних времен отсутствует. И по подобному типу в контуре застройки находились различные слои населения – феодалы, ремесленники и купцы. При этом цитадель выполняла функцию города в городе (рис. 1.)

Спустя пять столетий от хиджера в XI веке закончилась изначальная стадия формирования городов как форпостов ислама и правительственных резиденций. В это время торгово-ремесленная деятельность переносится внутрь города. До этого весь этот сектор находился за стенами города. Это следующий этап эволюции городов как производственных центров. Развитие городов Марокко протекало не одинаково и имеет под собой различную основу – античную, ранне средневековую или как Марракеш – средневековую. Его структура значительно сложнее – на территории размещена Цитадель – Касба, нарастают пригороды. Появляется определение города – Медина. Площади города бурно разрастаются без постройки дополнительных укреплений.



Рис. 1. Марокканская медина

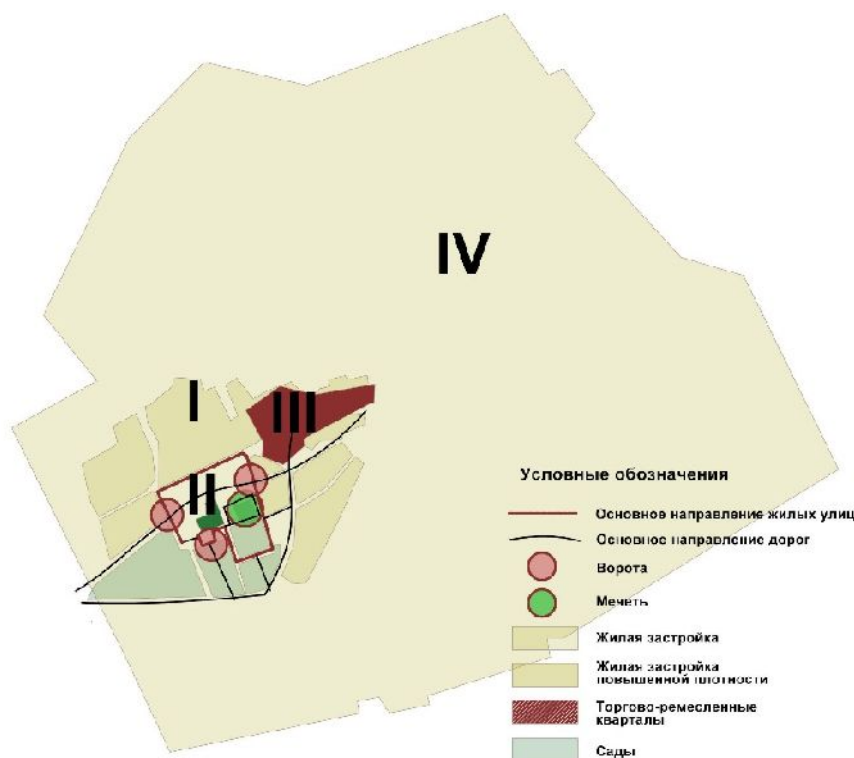


Рис. 2. Первый период Альморавидов (1039–1147 гг.).

I – жилая застройка под стенами касбы; II – касба (цитадель) Альморавидов и мечеть Кутубия; III – торговые и ремесленные кварталы; IV – общий контур жилой застройки

Второй период Альмохадов (1121–1269 гг.).

Правитель того времени Юсуф бен-Ташфин имел резиденцию в Фесе, обустройством города занимался его сын Али. Он возвел в период 1126–1127 гг. большую на тот момент мечеть размером по фундаменту 120×80 метров и закрыл периметр города каменной стеной. Длина возведенных стен составила около 9-ти км, располагалась вплотную к застройке. Западающий угол западной стены видимо образовался из-за желания объединить стеной цитадели – касбой и оградой, но позднее принято решение заключить в городскую черту и примыкавшие сады. Ворота и стены и Маракеша в хорошем состоянии и по сегодняшний день. В 1147 г. Марракеш покорен Альмохадами. Мечеть Али в этот период разрушена. На ее месте возвели Кутубею и в 1158 г. ее площадь удваивают. Это пристроенное здание и можно видеть и сейчас. В 1188 г. возведена новая касба со стороны южной стены с дворцовым комплексом, а в 1190 г. построена новая мечеть. Периметр и очертания города сохранялись практически прежними, с достройкой части на юго-западе. Рядом с касбой освоен участок территории и выведены ворота Неффис, снаружи – ворота Робб, в касбу торжественные Атау. При султанах Абди-Мумин заложен сад Менаре. Султан Абди-Мумин прославился постройкой парков с водоемами «Сахридж». В XII в. закладывается парк Агдаль.

Вместе со Старым городом Марракеша и садами Менара сады Агдаль внесли в список объектов наследия ЮНЕСКО еще в 1985 году. Сады создавались для разведения фруктовых пород деревьев. Они были отреставрированы во время царствования династии Саада, а затем были расширены во время царствования Мулай Абдеррахман в XIX веке, когда они были заключены в стены. Сады орошаются через ряд бассейнов и канав. Целая система каналов и канав под землей, известных как *khettera*, несут воды вниз с высоких Атласских гор на огромное расстояние. Дар Эль хана, небольшой павильон, находится рядом с крупнейшим водоемом Сараж Эль-Хана, который применялся для обучения войск плаванию. Султан Мохаммед IV умер в водоеме, когда его катер перевернулся в 1873 году. Его преемник, Султан Мулай Хасан, располагал гарем в другом павильоне в саду – дар-Аль-байда. Эти сады полностью отражают всю архитектурную и ландшафтную красоту, которую только могли создать в то время [7] (рис. 3.).

Третий период Маринидов и Ваттасидов (1244–1554 гг.). В это период столица переносится в Фес, планировка Марракеша практически не изменяется. Уплотняется жилая застройка центральной части. Значимых зданий построек не сохранилось. Контур города остается прежним (рис. 4).

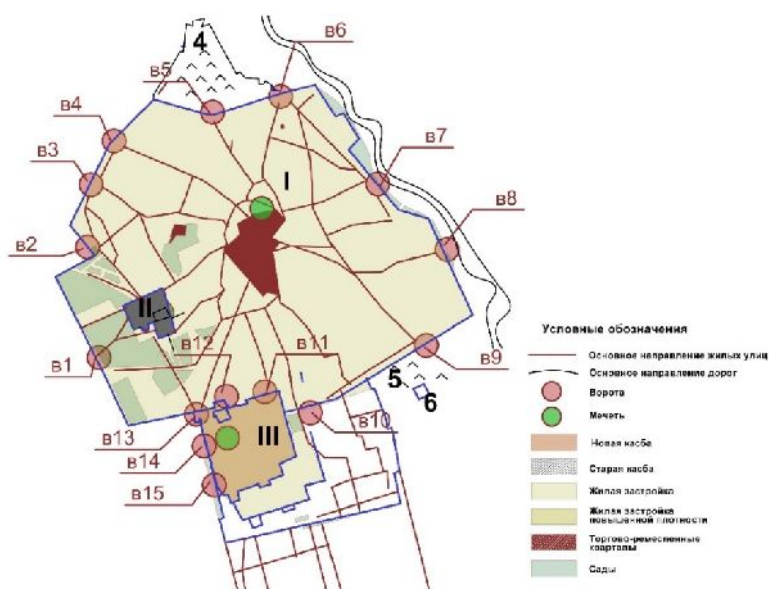


Рис. 3. Второй период Альмохадов (1121–1269 гг.).

I – мекка и мечеть Али бен Юсуфа; II – касба Альморавидов и мечеть Кутубия; III – касба Альмохадов с дворцом и мечетью; 4 – кладбище; 5 – кладбище; 6 – пруды; в1 – Ворота ал-Махзен; в2 – Ворота ар-Раха; в3 – Дуккала; в4 – Муссуфа; в5 – Тагзут; в6 – Фес; в7 – ад Даббагин; в8 – Айлан; в9 – Агмат; в10 – ас-Салиха; в11 – ал-Карратин; в12 – Неффис; в13 – ас-Сария; в14 – ар-Робб и Агиау; в15 – ас-Садат

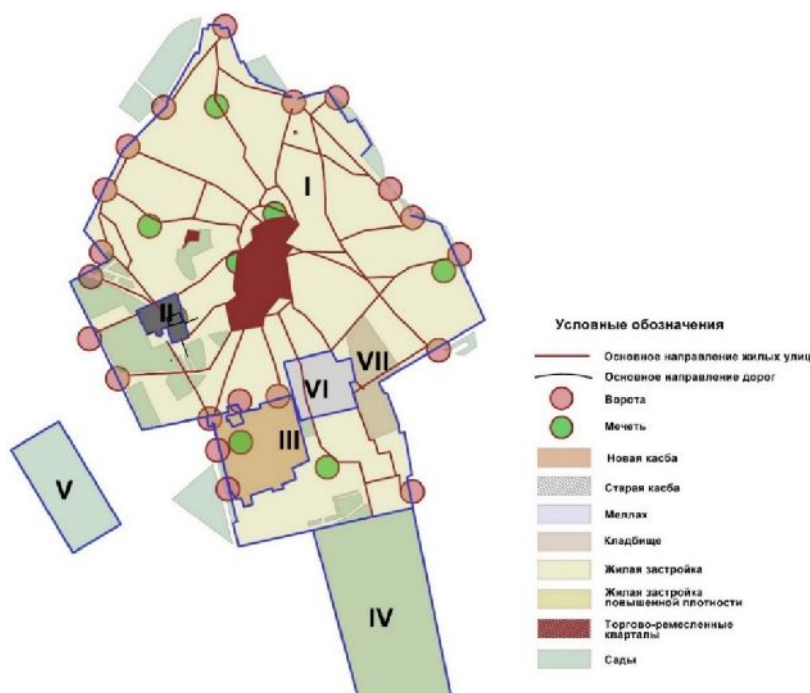


Рис. 4. Третий период Маринидов и Ваттасидов (1244–1554 гг.).

I – мекка и мечеть Али бен Юсуфа; II – касба Альморавидов и мечеть Кутубия; III – касба Альмохадов с дворцом и мечетью; IV – сады Агдаль; V – сады Менара; VI – Меллах; VII – кладбище

Четвертый период Саадидов и Алауитов (1549 г. – по настоящее время). Во времена правления Саадидов (1548–1659 гг.) и Алауитов (с сер. XVIII в.) Марракеш почти постоянно остается столичным городом, где много строилось и перестраивалось. В XVIII в. Расширена касба, ведется строительство дворца Дар ал-Махзен. Сиди Мухаммед бен Абдалла, прибыв в XVIII веке в

Марракеш, застал только разрушенные альмохадские и саадидские дворцы. Чтобы придать городу его первоначальный облик, Мухаммед бен Абдалла распорядился построить внутри окружавших мекку стен королевский дворец Дар эль-Махзен. Для строительства дворца был выделен большой участок земли неподалеку от развалин дворца эль-Бади. Главной особенностью

дворца Сиди Мухаммеда, отличающей его от других дворцов в Марракеше, стало то, что при его строительстве учитывались пространственные соотношения и его перспектива. В течение всей своей истории Дар эль-Махзен неоднократно реставрировался, и сейчас в его комплекс входит главный дворец эль-Дар эль-Кубра и Зеленый дворец эль-Каср эль-Ахдар. В дворцовый комплекс включен Нильский сад Гарсат эль-Нил, пристройки и беседки (мензах) в парке. В комплексе дворца Дар эль-Махзен входят три просторных парадных плаца, которые использовались для царственных церемоний – мешуары. Расположенный в южной стороне от дворца внутренний мешуар выходит к Агедальским садам. Он соединен с дворцом воротами Баб эль-Ахдар. Внешний мешуар через ворота Баб эль-Харри соединяется с кварталом Беррима. И еще один, самый большой мешуар, который находится южнее внутреннего мешуара, окружен зубчатой стеной [6].

В XVIII в. Включается в городскую черту квартал Сиди бель Аббес и его гробница. Перестраивается мечеть Али (от начального вида уцелела только часть Кубба ал Баадийин). Точную численность населения средневекового города указать невозможно, но согласно эмпирическим расчетам Ж. Девердун это 25 000 жителей на конец XVII в.. Социальные сдвиги в обществе провоцируют появление нового этапа развития функционально-планировочной структуры города. Это обусловлено следующим:

1. В начале исламского периода за периметр стен города вынесены ремесло и торговля.

2. Освоение территории и строительство жилых кварталов по периметру существующей медины повлекло появление нового контура ограждающей стены с включением торговых и ремесленных секторов. Это характерно для второго и третьего периода

3. Дальнейшее освоение территории города происходило в четвертом и пятом периоде путем строительства жилых кварталов за чертой медины (каменными стенами) и расселением там нового населения.

На 3-й стадии, плотность населения центральной части значительно увеличилась по отношению к пригородной. В планировке Марракеша мы наблюдаем лишь незначительно развитие территории пригорода за северную городскую стену. С XVI века появляется как обособленный объект планировки медины еврейский квартал «меллах». Во многих мекках он четко выделен стенами. В Марракеше меллах, по сути, формируется как город в городе с синагогой, стенами и т.д.

В планировочной структуре медины были свои закономерности. Если в раннюю эпоху ислама мечеть и дворец располагались рядом, то теперь мечеть переносится к рынку. В середину медины где от всех ворот сходятся улицы. Рынок «сук» плотно окружает мечеть, здесь склады лавки, отдельно можно выделить «кайсария» – крытый рынок (рис. 5).

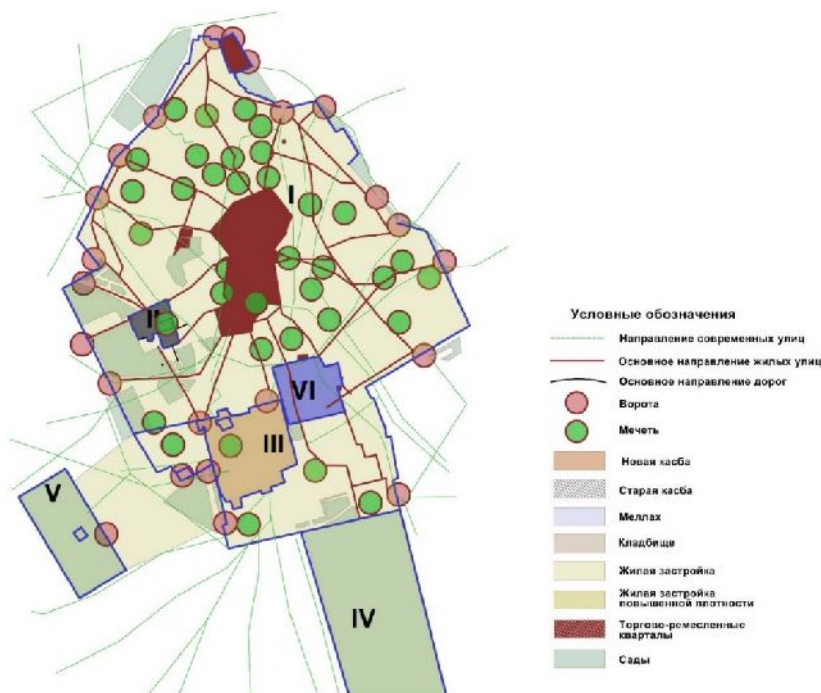


Рис. 5. Четвертый период Сааидов и Алауитов (1549 – по сей день):

I – мекка и мечеть Али бен Юсуфа; II – каба Альморавидов и мечеть Кутубия; III – каба Альмохадов с дворцом и мечетью; IV – сады Агдаль; V – сады Менара; VI – бывший Меллах

Пятый период. Марракеш продолжал развиваться в основном на запад, современный центр города сформировался, главным образом, вокруг проспекта Мухаммеда V, соединяющего Медину с Гелизом, на котором расположены мэрия, офисы банков и крупных компаний. Отели, жилые комплексы, включая эксклюзивные роскошные виллы, расположены в Пальмери, к востоку от города. Дар-аль-Махзен (Королевский

дворец) в касбе, значительно реконструированный по распоряжению короля Хасана II, продолжает служить в качестве вспомогательной резиденции монарха. Меллах, после утраты значительной части еврейского населения после массовой эмиграции марокканских евреев в Израиль после 1948 года, стал меньше отличаться от остальной части Медины [8]. В таблице 1 отражены основные изменения элементов планировочной структуры медины Марракеша (табл. 1).

Таблица 1

Изменения элементов планировочной структуры медины Марракеша

Наименование, периода	Медина га	Кас- бага	Медина /касба%	Периметр стен	Кол-во Ворот медина	Кол-во Ворот касба
Период Альморавидов (1039–1147 гг.)	–	7	–	1 400	–	3
Период Альмохадов (1121 – 1269 гг.)	270	35	12,6 %	9 000	15	3+4
Период Маринидов и Ваттасидов (1244–1554 гг.)	340	35	10,2 %	11 000	20	2+4
Период Саадидов и Алауитов (1549– по сей день).	470	35	7,4 %	16 000	22	4

Выводы. Исторический анализ развития планировочной структуры древних городов Марокко на примере г. Марракеша выявил пять основных этапов освоения территории. Выявлено, что освоение территории и строительство жилых кварталов по периметру существующей медины повлекло появление нового контура ограждающей стены с включением торговых и ремесленных секторов. Это характерно для второго и третьего периода. Дальнейшее освоение территории города происходило в четвертом и пятом периоде путем строительства жилых кварталов за чертой медины (каменными стенами) и расселением там нового населения. Анализ развития медины Марракеша позволяет выявить идентичность ее архитектурно-планировочной структуры и отнести к типу формирования средневековых городов.

Несмотря на активную перестройку в XIX веке значимых элементов этой части города вследствие урбанизации пространства, выявлена целостность средневекового города в виде контура стен медины и ее главных составляющих: касбы, дворцов, площадей, садов, которые по сей день остаются неизменными. Сегодня существуют тенденция к уплотнению застройки, разрушению или реконструкции исторических зданий с приспособлением под современные функции. Это приведет к разрушению исторического ядра города, нарушению восприятия медины. Ее «растворение» в структуре города. Этого не следует допускать, так как медина Марракеша, как и других городов Марокко, является объектом историко-культурного наследия, играет роль мощного центра притяжения в туристической сфере.

В связи с этим следует разработать методы регулирования застройки исторического центра с целью сохранения исторической целостности и идентичности города и страны в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воронина В.Л. Средневековый город арабских стран. Москва. ВНИИТАГ Госкомархитектуры, 1991. 99 с.
2. La planification de la sauvegarde et le détournement marocain (1912-1925) Publications from the Institut Français du Proche-Orient, 2003. 46–49 p.
3. El Ansari R. Le tourisme et la transformation du territoire et du paysage au Maroc. Université de Montréal, 2013. 78–94 p.
4. Almeida F. Transformaciones turísticas en el litoral mediterráneo marroquí, Asociación de Geógrafos Españoles (AGE) (eds) Espacios y destinos turísticos en tiempos de globalización y crisis: Madrid: Universidad Carlos III, 2011. 79 p.
5. Hillali M. Du tourisme et la géopolitique au Maghreb: Le cas du Maroc, Hérodote, 2007. 127p.
6. Королевский дворец Дар эль-Махзен [Электронный ресурс]. URL: http://ru.esosedi.org/MA/11/1000195458/korolevskiy_dvorets_dar_yel_mahzen/. (дата обращения 07.12.2018)
7. Сады Агдаль в 2018 – 2019 [Электронный ресурс]. URL: http://www.turizm.ru/morocco/marrakesh/places/sady_agdal/. (дата обращения 07.12.2018)

8. История Марракеша [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/FEzAd/>. (дата обращения 07.12.2018)

9. Турпром [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tourprom.ru/news/38414/>. (дата обращения 07.12.2018).

Информация об авторах

Бурагба Рабий, аспирант. E-mail: bouragba2018@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, 46.

Перькова Маргарита Викторовна, кандидат архитектуры, доцент, зав. кафедрой архитектуры и градостроительства. E-mail: perkova.margo@mail.ru Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, 46

Семенцов Сергей Владимирович, доктор архитектуры, профессор кафедры архитектурного и градостроительного наследия. E-mail: s.sementsov@mail.ru. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Поступила в мае 2019 г.

© Бурагба Р., Перькова М.В., Семенцов С.В., 2019

^{1,*}*Bouragba R.*, ¹*Perkova M.V.*, ²*Sementsov S.V.*

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

²*St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Russia, 190005, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya st., 4*

**E-mail: bouragba2018@yandex.ru*

DEVELOPMENT OF THE PLANNING STRUCTURE OF ANCIENT CITIES OF MOROCCO ON THE EXAMPLE OF MARRAKESH

Abstract. *The article traces the process of forming the planning structure of the historical core in the general structure of Moroccan cities. The sequence of development the Medina of Marrakech, the main elements of its planning structure and development by periods is revealed. This study examines the Islamic period with the alternation of ruling dynasties. The general features of the planning of Morocco cities and characteristics of the planning structure of Marrakesh are reflected. There are five identified stages in the development of functional-planning structure of Marrakech, each is characterized by change and addition of the planning structure elements, the increase in perimeter buildings of the Medina, with the inclusion of new elements. The history of construction and transformation of key monuments of architectural heritage and their impact on the general structure of the Medina is considered. The development of the territory and construction of residential areas along the perimeter of the existing Medina led to the emergence of a new contour of the enclosing wall with trade and craft sectors. This is typical for the second and the third period. Further development of the city takes place in the fourth and fifth period through the construction of residential areas outside the Medina (stone walls) and the resettlement of new population. Analysis of the Medina of Marrakesh development allows to reveal its architectural and planning structure, relating it to the type of formation of medieval cities. The considered data can assist to predict the further direction of development the planning structure of the Medina and to prevent its loss and "dissolution" in the city.*

Keywords: *planning structure, historical core of the city, Marrakech, Medina.*

REFERENCES

1. Varonina V.L. Medieval Arab City. [*Srednevekovyj gorod arabskih stran*]. Moscow. VNITAG Goscomarkhitectura, 1991. 99 p. (rus)
2. La planification de la sauvegarde et le détournement marocain (1912–1925) Publications from the Institut Français du Proche-Orient, 2003. 46–49 p.
3. El Ansari R. Le tourisme et la transformation du territoire et du paysage au Maroc. Université de Montréal, 2013. 78–94 p.
4. Almeida F. Transformaciones turísticas en el litoral mediterráneo marroquí, Asociación de

Geógrafos Españoles (AGE) (eds) Espacios y destinos turísticos en tiempos de globalización y crisis: Madrid: Universidad Carlos III, 2011. 79 p.

5. Hillali M. Du tourisme et lagéopolitique au Maghreb: Le cas du Maroc, Hérodote, 2007. 127p.

6. Royal Palace Dar ElMakhzen. [*Korolevskij dvorec Dar el'-Mahze*] [Electronic resource]. URL: http://ru.esosedi.org/MA/11/1000195458/korolevskiy_dvoret_dar_yel_mahzen/. (date of the application 07.12.2018). (rus)

7. The gardens Agdal в 2018 –2019. [*Sady Agdal' v 2018–2019*]. URL:http://www.turizm.ru/morocco/marrakesh/places/sady_agdal/. (date of the application 07.12.2018). (rus)

8. Marrakesh history. [*Istoriya Marrakesha*]. URL: <https://clck.ru/FEzAd/>. (date of the application 07.12.2018). (rus)

9. Tourprom. [*Turprom*]. URL: <https://www.tourprom.ru/news/38414/>. (date of the application 07.12.2018). (rus)

Information about the authors

Bouragba, R. Postgraduate student. E-mail: bouragba2018@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova. Russia, 308012, Belgorod, Kostukova, 46

Perkova, Margarita V. Candidate of architecture, professor E-mail: perkova.margo@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova. Russia, 308012, Belgorod, Kostukova, 46

Sementsov, Sergey V. DSc, Professor. E-mail: s.sementsov@mail.ru. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya st., 4.

Received in May 2019

Для цитирования:

Бурагба Р., Перькова М.В., Семенцов С.В. Развитие планировочной структуры древних городов Марокко на примере г. Марракеш // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 7. С. 81–88. DOI: 10.34031/article_5d35d0b7015671.21777827

For citation:

Bouragba R., Perkova M.V., Sementsov S.V. Development of the planning structure of ancient cities of morocco on the example of marrakesh. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 7. Pp. 81–88. DOI: 10.34031/article_5d35d0b7015671.21777827

DOI: 10.34031/article_5d35d0b7327ae1.05497138

^{1,*}Горожанкин В.К.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

*E-mail: gorozhankin.vk@bstu.ru; vk.goro@yandex.ru

АКСИОЛОГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ АРХИТЕКТУРНЫМ ПОИСКОМ

Аннотация. Статья сопоставляет схему двойного кодирования, разработанную в теории пост-модернизма, со схемой зрелищной коммуникации, заимствованную из области театроведения. Предпосылкой к анализу коммуникативных схем послужила идея «критической архитектуры», которую авторы интерпретируют как интерактивное движение, организованное аксиологическими программами, сопрягающими позиции сознания, мышления и рефлексивного управления в жанровом самоопределении, предписания темы и стиля архитектурного произведения с целью ценностного управления проектным поиском. Авторы выделяют предмет ролевой диспозиции, в котором архитектор акцентирует драматургическую роль составителя или стилиста художественного текста. Рассмотрен метод и организационные формы диспозиционного мышления одной из которых является критическая архитектура, рационализирующая проектирование декларациями художественных направлений.

Ключевые слова: аксиологическая программа, диспозитивная рефлексия, проектное инсценирование, сценарные предписания, критическая архитектура, симулякр.

«Критический дискурс» в теории архитектуры.

Дискурс, взявший начало в публичной беседе Питера Айзенмана и Рема Колхаса в Лондоне 2006 года, после которой теоретики современной архитектуры Джеффри Кипнис и Роберт Сомол демонстрировали мастерское владение интерпретативной критикой и, развивая темы беседы, сделали заявления их авторов предметом открытого обсуждения. Текст беседы, сопровождающие её фотографии и документы дискуссии были изданы Архитектурной Ассоциацией Лондона в 2010-м году. А через 7 лет, авторский коллектив Кирилла Асса, перевёл материалы книги на русский язык и называл их амбициозным манифестом. «Критическая архитектура», которая «не только возводит дома, но и изучает устройство окружающей нас реальности» – авторская дефиниция переводчиков из аннотации русского издания [1]. Это толкование, вероятно, не полно выражает смысл дискурса о критической архитектуре как новом этапе профессионального мышления.

Ценностные установки архитектора всегда лежат в основе проектного поиска, но, в беседе Колхаса и Айзенмана, речь идёт об активной позиции проектировщика-креатора (создателя проектной новации) и креативного теоретика, создающего аксиологические программы для проектной практики. Эти смыслы «креативности» (активного творчества) название скрывает, но эти значения неустранимы из контента «критики». Подобный парадокс имён нередкое явление. Например, второй том семиотической архитектуры К.Н. Леду, в рукописи им названный «Я и Солнце», концепт, отразивший место написания

монографии в тюрьме, спустя годы, тоже содержание переосмыслено критиками в метафоре «говорящая архитектура» [10]. На протяжении XX века вёлся поиск новых языковых средств индустриальной архитектуры и, параллельно, уточнялось название её «семиотической» онтологии; возможно, «критическая архитектура» займёт своё место, когда концепты «критики» станут очевидными значениями «аксиологических программ» архитектуры.

Ролевая диспозиция архитектурного дискурса.

Семантику критической архитектуры проясняют позиции презентантов архитектурной формы: «профессионал», использующий профессиональный код и «потребитель», дешифрующий сообщение профессионала [4]. Подчёркивая отстранённость профессионала в дистанцировании кодов, архитектор использует «двойной код», которым отправитель текста (архитектор) «шутит» в пересказе метафизического содержания (рис. 1), либо шутя «героизирует» обыденную обстановку (рис. 2).

Неорганизованный (в сообщество) потребитель не отправляет сообщений профессионалу; поэтому, профессиональное воображение создает: один раз, – образ недоученного, невоспитанного клиента (рис.2), либо, в другой раз, – оно представляет образованного, чувствующего искусную природу потребителя, способного вместе с профессионалом шутить над мифами архитектуры (рис. 1).

Чарльз Дженкс схематизировал рыночный спрос в семантике ситуаций архитектурного формообразования для: «массового потребле-

ния», «игры с репрезентацией социального статуса» или «художественного потребления знатока искусств» [7]. В само-определении проектировщик моделирует ценности общения с клиентом, тем самым он задаёт тип коммуникативной ситуации и ей соответствующий жанр «сообщения».

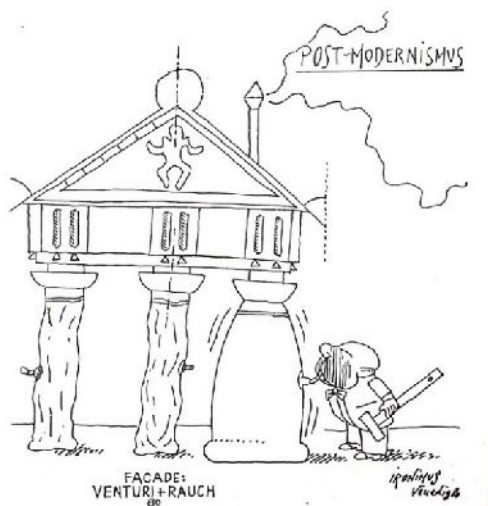


Рис. 1. Архитектор шутит над мифами профессии («дутый энтазис» в постройках Вентури и Рауха)

В работе «Организация архитектурного проектирования» В.Л. Глазычев систематизировал аксиологические ситуации по степени определённости проектных задач, называя их полюсами «открытые» типы, требующие максимального творчества, и «закрытые», которые обстроены проектными аналогами и закреплёны традициями [5]. Дж. Кр. Джонс, М. Бархин и другие методисты относят «задачный метод» проектирования к числу основных. Он заключён в дроблении общей цели проектирования на ряд «мелких» задач, большинство которых имеет алгоритмы решений [8]. Происходит сужение рамок открытости поиска и, симметрично, любая «закрытая» задача может быть преобразована в проблему, открытую для творческого поиска.

При отсутствии прямого контакта проектировщика с клиентом например, в случае конкурсного отбора проекта, профессионал моделирует восприятие или «игровое поведение потребителя» на «архитектурном фоне», который является частью проектного замысла – образа у архитектора о потребителе своего искусства. Уместно вспомнить высказывание А. Толстого: «образ читателя возникает в моей голове одновременно с темой произведения». Подобно этому, архитектор фиксирует своё отношение к творимому им сообщению и к его потребителю в жанре произ-

ведения, в развитии представлений о функциональных местах и исполняемых «ролях» в спектакле репрезентации. Эта область проектного моделирования является предметом ролевой *диспозиции*.

Метод аксиологического управления.

Известный театровед прошлого века Н. Евреинов схематизировал театральность, основанную на «инстинкте преображения» и «радости самоизменения», в трёх ролевых позициях «автор», «актёр», «зритель» и их образах, которые создаёт автор в замысле зрелища и игры, которая зиждётся на «воле человека от жизни дарованной, к жизни им себе созданной» [9].

В работе «Театр как таковой» (1914 год) Евреинов определяет театральность способностью человека в каждый момент жизни пребывать в ролях автора, исполнителя, зрителя и отражать свои действия в адекватных образах (рис. 3). Таким образом, психотехника человека позволяет ему строить программу своей «игры», думать об образной структуре сценического предмета, о содержании игрового поведения и жанре постановки (рис. 4). Авторский образ игровой ситуации понимается в теме и жанре игры – *интегрированная тематизация* или *инсценирование*. – Либо, образ авторского замысла представляется в оформленном тексте – *сценария* игровой постановки [6].



Рис 2. Архитектор героизирует среду обыденного (дом Стоуни-Крик, Вентури и Айзенур)

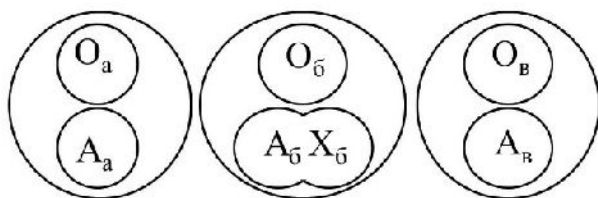


Рис. 3. О.И. Генисарецкий: схема зрелищной коммуникации: лицо A_a – автор; O_a – авторский образ; лицо $A_б$ – актёр; $X_б$ – сценический предмет; $O_б$ – образ игры; лицо $A_в$ – зритель; $O_в$ – образ зрителя

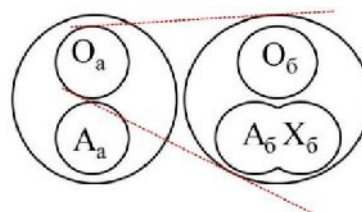


Рис. 4. Программирование сценической игры и проектирование игрового предмета: авторский образ игровой ситуации

Диспозитивная рефлексия и «инсценирование».

В 60-е годы телевизор стал доминирующим средством массовой культуры, вдохновляющих художников на поиск новых образов и новых средств художественной выразительности. Известный художник группы «Флюксус» Вольф Фостель в 1958 году разработал художественную стратегию, им названную «деколлажем», которая в искажениях изображения имитирует электронные помехи. Этот пионер энвайронмента осуществил ряд проектов, объединенные названием «ТВ-деколлаж»; наиболее известной среди них была инсталляция «Эндогенная депрессия». Впервые представленная в 1975 году, была повторена в Центре им. Ж. Помпиду в 1980-м. (рис. 6) – Зрители через витрину наблюдали обыденное поведение индюков, бродящих между забетонированных телеприёмников в поисках корма [2].

Изобретение нового художественного жанра, связанное с интерпретацией средств художественной выразительности, у Вольфа Фостеля проходит ряд рефлексивных позиций. *Первая позиция – «рефлексия сознания»* – перемещает автора в состояние зрителя, созерцающего процесс телепросмотра: он замечает вводящие в депрессию искажения экрана; обращает внимание на «питание у экрана» и на переключения каналов...

Во-второй позиции – «рефлексивного мышления» – автор находит различия и схожесть моделей социального поведения у людей и биологических повадок у птиц – «клюв воздушной кукурузы», на имитацию процесса переключения каналов в поли-телеэкране забетонированных приёмников... *В третьей позиции – «рефлексивного управления»* автор самоопределяется в жанре, выбирая материал исполнителей роли, – в нашем примере им объявлен «игровой артистизм» индюков [12].

Сценарии архитектурного проектирования и организационные формы диспозиции

Принципы разрушения и искажения целостности художественной формы, деформации её

несущего материала, даже, изъятия её материальных частей – это процедуры, подобные приёму «деколлажа» В. Фостеля (рис. 5), они же наглядно выражены и в деконструкциях П. Айзенмана (рис. 7) и в декорациях Р. Вентури (рис. 1).

Оформительские и формообразующие процедуры, становящиеся или поставленные на архитектурной сцене подобно спектаклям, нуждаются и, порой, невозможны без «сценариев». В большинстве случаев процедуры диспозиционной рефлексии не выходят за пределы проектирования и интегрированы в голову одного человека или одного проектного коллектива. Существует три типа сценариев: первый, «постановочный» – предназначен для осуществления единичного, конкретного зрелища. При разработке постановочного сценария тематическое самоуправление и жанровое самоопределение процедур архитектурного формообразования происходит спонтанно или осмысленно проектным мышлением в назначении сюжета и разработки программы зрелища архитектуры – сценария постановки. Но, кроме форм интегрированной (в проектный процесс) тематизации, диспозиционное мышление может приобрести самостоятельные, выделенные из проектирования формы, выдавая собственные продукты в виде указаний, рекомендаций и жанро-тематических предписаний. Так как речь идёт о действиях в театре проектирования [13], назовём эти, две различные организационные формы мышления процедурами интегрированного и выделенного сценирования (рис. 8).

Третья очевидная форма – объёмлющее сценирование, которое регламентирует длящийся в истории процесс исследований и разработки проектов как некую декларированную в концепциях и объявленную в теориях целе-ценностную программу – направление творческих поисков.

Примерами объёмлющего сценирования может служить футуризм в архитектуре прошлого века (рис. 9) и экологическая архитектура наших дней. Объёмлющее сценирование, осознанное мастерами как рациональная организация целеосмысленных и целенаправленных проектных

поисков, сопряжённых с теоретическим дискурсом, предоставили нам феномен «критической архитектуры».



Рис. 5. Вольф Фостель. Кока-Кола. Жанр деколлажа, 1965



Рис. 7. Питер Айзенман. Хауз II: дом Фалька. Направление «деконструкция». Вермонт, 1970

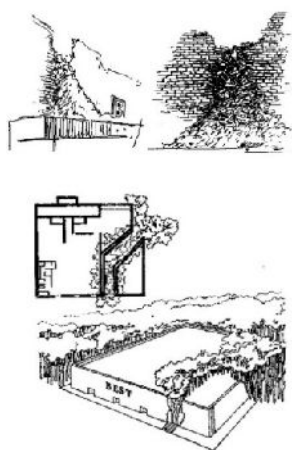


Рис. 8. Тема руины для универмагов «Бест» концепция группы Сайд.



Рис. 6. Вольф Фостель. Инсталляция «эндогенная депрессия», 1975–1980

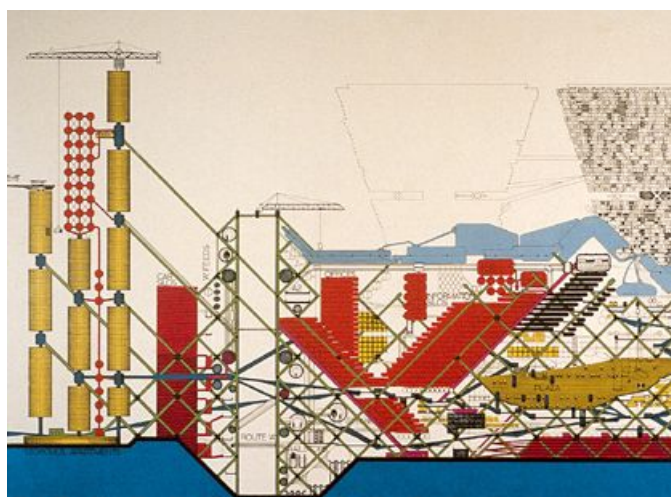


Рис. 9. Сценарий мобильной жилой ткани «штепсель и розетка», разработанный группой Аркигрэм

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Айзенман Питер, Колхас Рэм. Супер-критика. М.: Strelka Press, 2017. 218 с.
2. Андреева Е.Ю. Постмодернизм. Искусство второй половины XX – начала XXI века. СПб.: Азбука-Классика, 2007. 488 с.

3. Бодрийяр Жан. Симулякры и симуляция. М.: Постум, 2018. 320 с.
4. Вентури Роберт, Скотт Браун Дениз, Айзенур Стивен. Уроки Лас-Вегаса: забытый символизм архитектурной формы. М.: Strelka Press, 2015. 212 с.
5. Глазычев В.Л. Организация архитектурного проектирования. М.: Стройиздат, 1977. 187 с.
6. Горожанкин В.К., Лоншаков Д.А., Пусный Л.А. Экспозиционное моделирование // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017 №11. С. 64–69.
7. Дженкс Ч. Язык архитектуры постмодернизма. М.: Стройиздат, 1985. 136 с.
8. Джонс К.Дж. Инженерное и художественное конструирование. Современные методы проектного анализа. М.: Мир, 1976. 375 с.
9. Евреинов Н.Н. Театр для себя. С-Пб.: Нева, 2005 №7. 90 с.
10. Замбьен В. Архитектура говорящая, архитектура характерная, архитектура написанная // Архитектура Мира. Материалы конференции “Запад-Восток: личность в истории архитектуры. Выпуск 4. НИИ Теории архитектуры и градостроительства. М.: ARCHITECTURA, 1994. с. 141-149.
11. Ле Корбюзье. Новый дух в архитектуре. М.: Strelka Press, 2017. 120 с
12. Лефевр В.А. Конфликтующие структуры. М.: Советское радио, 1973. 158 с.
13. Сидоренко В.Ф., Кузьмичёв Л.А., Генисаретский О.И., Переверзев Л.Б. Организационное программирование дизайн-систем // Труды ВНИИТЭ, Техническая эстетика №26: Проблемы организации деятельности по созданию дизайн-программ. М., 1980. С. 11–42.

Информация об авторах

Горожанкин Валентин Константинович, старший преподаватель кафедры архитектуры и градостроительства. E-mail: gorozhankin.vk@bstu.ru; vk.goro@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в мае 2019 г.

© Горожанкин В.К., 2019

^{1,*}**Gorozhankin V.K.,**

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

*E-mail: gorozhankin.vk@bstu.ru; vk.goro@yandex.ru

AXIOLOGICAL MANAGEMENT OF ARCHITECTURAL SEARCH

Abstract. The article compares the double coding scheme developed in the theory of postmodernism with the scheme of spectacular communication, borrowed from the field of theater studies. The idea of “critical architecture” has become a prerequisite for the analysis of communicative schemes. The authors interpret it as an interactive movement organized by axiological programs that combine the positions of consciousness, thinking and reflexive control in the genre self-determination, the prescription of theme and style of the architectural work for the purpose of value management of the project search. The authors identify the subject of role disposition, in which the architect emphasizes the dramatic role of the compiler or stylist of the literary text. The method and organizational forms of dispositional thinking, one of which is a critical architecture, rationalizing the design of declarations of artistic directions are considered.

Keywords: axiological program, dispositive reflection, design staging, scenario prescriptions, critical architecture, simulacrum.

REFERENCES

1. Isenman Peter, Koolhaas Ram. Super critic [Superkritika]. M.: Strelka Press, 2017. 218 p. (rus)
2. Andreeva E.Yu. Postmodernism. Art of the second half of the twentieth - the beginning of the XXI century [Postmodernizm. Iskustvo vtoroj poloviny HKH – nachala XXI veka SPb]. ABC-Clas-sic, 2007. 488 p. (rus)
3. Baudrillard Jean. Simulacra and Simulation [Simulyakry i simulyaciya]. M.: Postum, 2018. 320p. (rus)
4. Robert Venturi, Scott Brown Denise, Eisenour Stephen. Las Vegas lessons: forgotten symbolism of architectural form [Uroki Las-Vegasa: zabytyj sim-volizm arhitekturnoj formy]. M.: Strelka Press, 2015. 212 p. (rus)
5. Glazychev V.L. Organization of architectural design [Organizaciya arhitekturnogo proektiro-vaniya]. M.: Stroyizdat, 1977. 187 p. (rus)

6. Gorozhankin V.K., Lonshakov D.A., Pusny L.A. Exposition Modeling [*Ekspozicionnoe modelirovanie*]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. №11. Pp. 64–69. (rus)
7. Jenks C. The language of architecture of post-modernism [*Yazyk arhitektury post-modernizma*]. M.: stroiizdat, 1985. 136 p.
8. Jones C.J. Engineering and artistic design. Modern methods of project analysis [*Inzhenernoe i hudozhe-stvennoe konstruirovanie. Sovremennye metody proektnogo analiza*]. M.: Mir, 1976. 375 p. (rus)
9. Evreinov N.N. Theater for yourself [*Teatr dlya sebya*]. St. Petersburg: Neva, 2005 No. 7. 90 p. (rus)
10. Zambien V. Talking architecture, characteristic architecture, written architecture [*Arhitektura govoryashchaya, arhitektura harakternaya, arhitektura napisannaya*]. Arhitektura Mira. Materialy kon-ferencii “Zapad-Vostok: lichnost' v istorii arhitektury. Vypusk 4. NII Teorii arhitektury i gradostroitel'stva.. M.: ARCHI-TECTURA, 1994. p. 141-149. (rus)
11. Le Corbusier. New spirit in the architecture tour [*Novyj duh v arhitecture*]. M.: Strelka Press, 2017. 120 seconds. (rus)
12. Lefevre V.A. Conflict Structures [*Konfliktuyushchie struktury*]. M.: Soviet Radio, 1973. 158 p. (rus)
13. Sidorenko V.F., Kuzmichev L.A., G.Gisaretsky O.I., Pereverzev L.B. Organizational programming of design systems [*Organizacionnoe programmirovaniye dizajn-sistem*]. Trudy VNIITE, Tekhnicheskaya estetika №26: Problemy organizacii deyatel'nosti po sozdaniyu dizajn-programm. M., 1980. Pp. 11–42. (rus)

Information about the author

Gorozhankin, Valentin K. Senior lecturer. E-mail: gorozhankin.vk@bstu.ru; vk.goro@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in May 2019

Для цитирования:

Горожанкин В.К. Аксиологическое управление архитектурным поиском // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 7. С. 89–94. DOI: 10.34031/article_5d35d0b7327ae1.05497138

For citation:

Gorozhankin V.K., Sementsov S.V. Axiological management of architectural search. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 7. Pp. 89–94 DOI: 10.34031/article_5d35d0b7327ae1.05497138

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/article_5d35d0b7196335.34243152

^{1,*}Лавров Р.В., ¹Кликин Е.Г., ¹Новиков Л.Б.¹Юго-Западный государственный университет
Россия, 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94

*E-mail: kvarcinat@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОКСИДА НАТРИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТЕКЛОВИДНЫХ ЩЕЛОЧНЫХ СИЛИКАТОВ

Аннотация. Интенсификация процессов стекловарения является приоритетной задачей отечественной стекольной промышленности. Перспективным направлением является частичная (полная) замена карбонатной части стекольной шихты соответствующими гидроксидами. Результатом физико-химической активации кремнийсодержащего сырья гидроксидом натрия, используемого в качестве натрийсодержащего компонента шихты, является получение продукта в виде кремний-натриевого концентрата, фазовый состав которого представлен аморфной и кристаллической в виде низкотемпературного кварца и метасиликата натрия. Насыпная плотность синтезированного продукта соответствует требованиям ГОСТ 5100-85 для кальцинированной соды. Разделение твердой и жидкой части синтезированного продукта проводилось с использованием экспериментальной установки для экстракции одним экстрагентом. Для исследования растворимой части использовался метод кондуктометрии. Расчет остаточного значения NaOH в продукте проводился на основании данных объемов титраната по точкам эквивалентности при титровании отвешенного количества опытной партии продукта и массы нерастворимого остатка. В статье приводятся результаты сравнительного исследования физико-химических свойств продуктов активации и карбонатных шихт для получения силикат-глыбы различной модульности. По физико-химическим свойствам полученный продукт может быть использован в стекольной промышленности для получения силикат-глыбы различной модульности с ожидаемым снижением температуры и времени варки.

Ключевые слова: гидроксид натрия, активация кремнийсодержащего компонента, силикат-глыба, стекловидные щелочные силикаты.

Введение. Силикат натрия растворимый является крупнотоннажным продуктом неорганического синтеза, производство которого в Российской Федерации составляет (в млн. т.) – 0,4, в Республике Беларусь – 0,03, в Казахстане – 0,013, в Украине – 0,065 [1, 2].

Наиболее массовым продуктом силиката натрия растворимого является натриевая силикат-глыба, получаемая сплавлением традиционных кремний- и натрий-содержащих сырьевых источников в виде кварцевого песка и кальцинированной соды. В настоящее время натриевая силикат-глыба, как наиболее распространяемый вид стекловидных силикатов щелочных металлов, производится в ваннах пламенных печей регенеративного типа производительности от 30 – 350 т/сут.

Как и вся стекольная отрасль в целом, производство силикат-глыбы имеет ряд экологических рисков в виде пыления и уноса части шихтного материала, значительно больших, чем теоретические, энергетических затрат на получение единицы продукции, присутствия в отходящих газах оксидов азота (NO_x), оксидов серы и значительного количества парникового CO₂. Например, в случае использования содово-сульфатной смеси

для получения силикат-глыбы общие потери летучих веществ могут составлять до 30 %. В России среднее значение энергии на стекловарение флоат-стекла составляет порядка 8 ГДж/т. [1] при вероятном техническом пределе для регенеративных печей 5,29 ГДж/т., тогда как теоретическое необходимое значение составляет 2,75 ГДж/т. [3, 4]. По теоретическим расчетам для получения 1 т. натриевого растворимого стекла необходимо затратить примерно 230 кг условного топлива с теплотворной способностью 7000 кал., а практический расход условного топлива доходит до 425 кг [5].

Замена карбонатной части шихты на соответствующую гидроксидную является одним из способов интенсификации процессов стеклообразования, позволяющим на 30–50 % сократить энергетические потери, уменьшить пыление и унос стекольной шихты, увеличить удельный съем стекломассы [6–8].

Полная или частичная замена напрямую кальцинированной соды на гидроксид натрия более 7 % от общего количества Na₂O в шихте нецелесообразна вследствие химической коррозии огнеупоров стекловаренной печи, затрудненности технологических манипуляций с шихтой

вследствие высокой гигроскопичности и II класса опасности NaOH [9].

Наиболее приемлемым способом, включающим полную замену Na_2CO_3 на NaOH, является физико-химическая активация кварцосодержащего сырья с использованием гидроксида натрия, результатом которой является получение хорошо классифицируемого синтетического сырьевого материала – кремний-натриевого концентрата (КНК), вероятное остаточное значение несвязанного каустика в котором составляет менее 5 % [10, 11].

С целью определения применимости использования гидроксида натрия для полной замены традиционных натрий-содержащих сырьевых материалов в шихтах стекловидных щелочных силикатов натрия были проведены сравнительные исследования физико-химической структуры КНК и образцов на традиционные сырьевых материалах с использованием методов рентгено-фазового анализа, кондуктометрического титрования и жидкостной экстракции растворимой части частиц концентрата.

Методология. Сравнительный структурный анализ КНК проводился с использованием дифрактометра GBC ЕММА с пределами допускаемой абсолютной погрешности измерения угловых положений дифракционных максимумов, градус: $\pm 0,015$. Диапазон измерений углов дифракции 2θ , градус: от 10 до 90 выбирался с целью обнаружения вероятных силикатных соединений. Для идентификации образующихся фаз в исследуемых образцах шихт были использована тестовая версия экспертной программы MATCH!. Образцы экспериментальных шихт

подготавливались для проведения порошковых дифрактограмм с помолом в бисерной мельнице до тонины менее 0,1 мм.

Экстракция водорастворимых соединений с поверхности частиц КНК проводилась по методу Сокслета с использованием экспериментальной установки периодического действия, состоящей из цилиндрического термоизолированного перегонного куба с погружными кипятильниками, насадки типа НЭТ для экстрагирования твердых веществ объемом 100 мл с патроном для экстракции из целлюлозы, обратного холодильника спирального типа ХСВ. В качестве экстрагента применялась вода дистиллированная. Для определения окончания процесса экстрагирования использовался индикатор фенолфталеин.

Для исследования растворимой части КНК использовался кондуктометр КСЛ-101(14355)/1,00. с приведённой погрешностью в интервале от 0 до 1 мСм/м, $\pm 2,0$ % и относительной погрешностью в интервале от 1 мСм/м до 20 мСм/м, $\pm 2,0$ %. Исследование проводилось при перемешивании раствора с использованием магнитной мешалки при постоянной температуре раствора 36 °С с целью предотвращения возможного образования кристаллогидратов.

Химические составы экспериментальных шихт для получения силикат-глыбы выбирались из ГОСТ 13079-81, соответствующие значению следующих силикатных модулей, масс. %:

- для $n = 2,6$: SiO_2 - 70,7; Na_2O – 29,3
- для $n = 3,6$: SiO_2 – 76,7; Na_2O – 23,3.

Состав сырьевых материалов, используемых для получения экспериментальных шихт, приведен в табл.1.

Таблица 1

Химический состав сырьевых материалов

Сырьевые материалы	Содержание оксидов, мас. %						
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	Fe_2O_3
Гидроксид натрия NaOH ч.д.а ГОСТ 2263-79	0,020	0,001		0,005	76,317		0,001
Сода кальцинированная техническая, марка Б, ГОСТ 5100-85					58,12		0,003
Кварцевый песок ВС-030-В, ГОСТ 22551-77	99,6	0,16					0,014

Основная часть. По приведенному химическому составу сырьевых материалов были рассчитаны рецепты экспериментальных шихт на

кльцинированной соде и с полной заменой соды на каустик (табл. 2).

Таблица 2

Рецепты экспериментальных шихт на 100 в.ч стекла

Состав шихты	Сырьевые материалы, (в.ч)		
	Кварцевый песок	Сода кальцинированная	Гидроксид натрия чешуированный
Силикат-глыба $n = 2,6$	70,98		39,18
	70,98	52,02	
Силикат-глыба $n = 3,6$	77,00		31,17
	77,00	41,37	

КМК по рецептам шихт в табл. 2 готовился в соответствии с описанием в [11], рис. 1.

Сравнительный рентгено-фазовый анализ (РФА) показал, что фазовый состав КНК представлен аморфной и кристаллическими фазами в виде β -кварца и метасиликата натрия. В карбонатных шихтах при температуре обработки при 600 °С в течении часа процессы силикаатообразования не наблюдались (рис. 2, 3).



Рис. 1. Внешний вид КНК после термообработки исходной смеси гидроксида натрия чешуированного и кварцевого песка при $T=350$ °С в течение 1 мин.:

1 – для силикат-глыбы с $n = 2,6$; 2 – для силикат-глыбы с $n = 3,6$

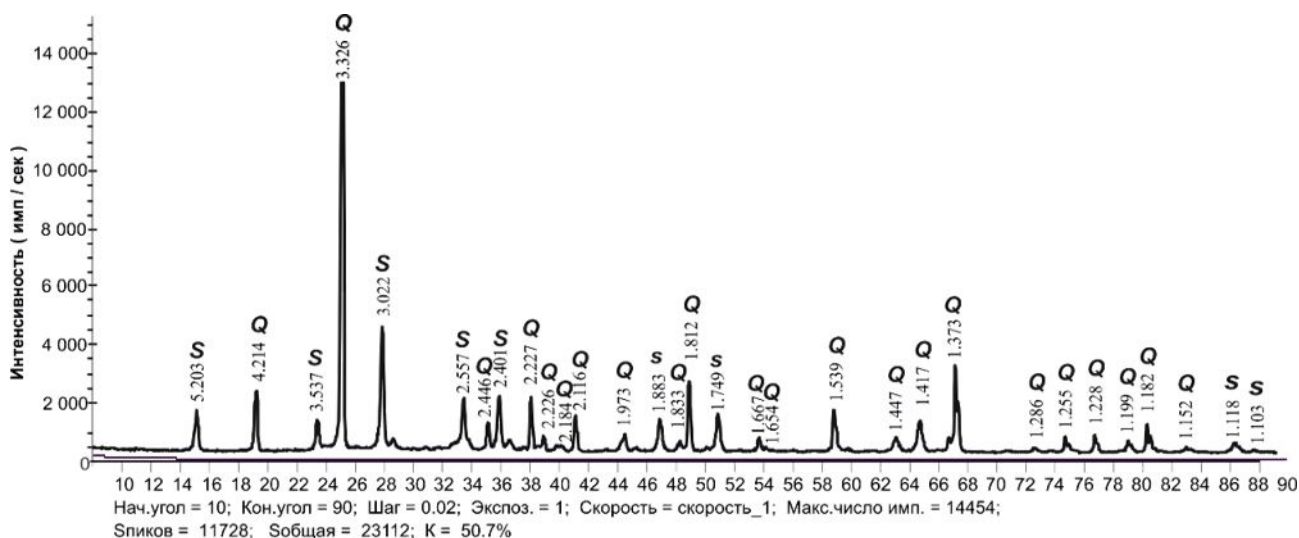


Рис. 2. РФА образца КНК для силикат-глыбы с $n = 3,6$. Обозначения: β - кварц - Q; метасиликата натрия - S. Соединение, вероятное для NaOH, не обнаружено.

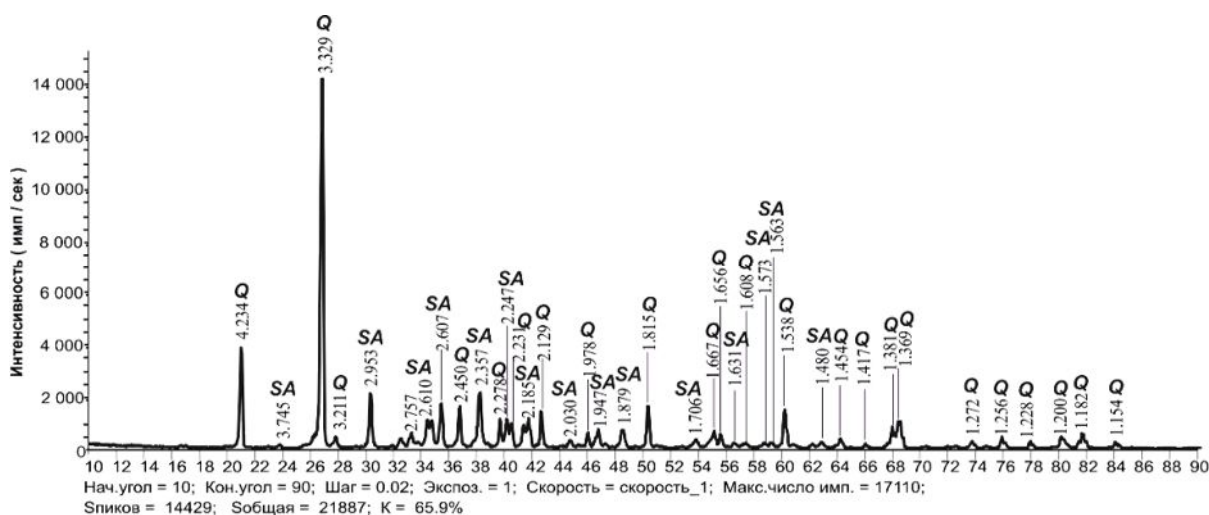


Рис. 3. РФА карбонатной шихты для силикат-глыбы с $n = 3,6$. Основной фазой является кристаллическая в виде низкотемпературного кварца (Q) и кальцинированной соды (SA)

Насыпная плотность (г/см^3) для КНК для силикат-глыбы с $n = 2,6$ (КМК_{2,6}) и КМК для силикат-глыбы с $n = 3,6$ (КМК_{3,6}) составила соответственно 0,95 и 1,15, что отвечает требованиям

ГОСТ 5100-85 для кальцинированной соды высшего и первого сорта.

Для исследования растворимой части КНК подготавливались навески $m = 10$ г. Экстракция с

поверхности частиц КНК проводилась с использованием установки, описанной выше и экстрагентом в объеме 1 л. Окончание процесса определяли по обесцвечиванию индикатора в экстракционной насадке. Масса рафината составила для КМК_{2,6} и КМК_{3,6} – 3,41 и 3,58 г., что соответствует 45 % степени превращения кварцсодержащего сырья в метасиликат.

Полученный экстракт исследовался с использованием метода кондуктометрии. В качестве титранта применяли 0,1н. H₂SO₄. Кривая титрования (рис. 4) имеет характерные изломы, позволяющие зафиксировать 2 точки эквивалентности (ТЭ), обусловленные наличием в растворе силикатных HSiO₃[–] и гидроксильных OH[–] ионов, из которых присутствие последних обусловлено как гидролизом Na₂SiO₃, так и возможным присутствием NaOH, не вступившим в реакцию силикатообразования в процессе синтеза КНК.

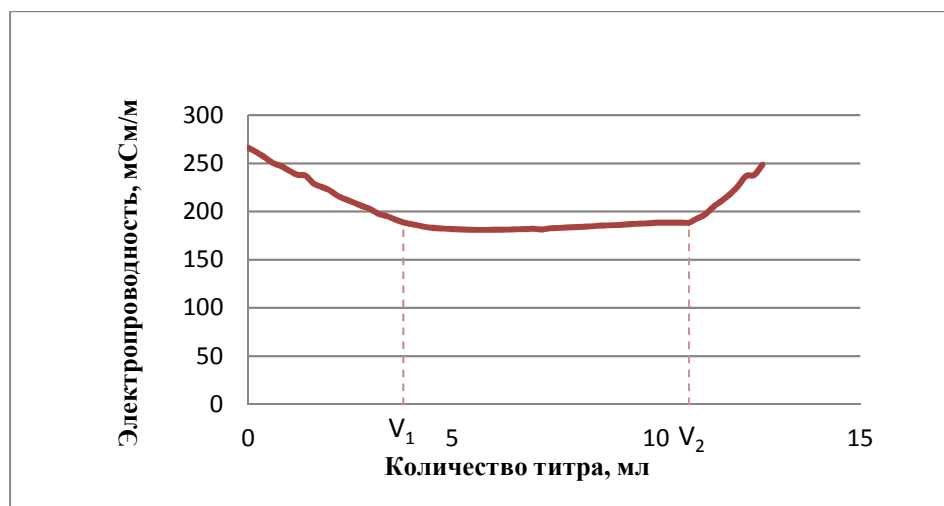


Рис. 4. Данные кондуктометрического титрования растворимой части КНК_{3,6}.

Расчет остаточного значения NaOH в КНК проводился по авторской методике, исходными данными для которой являются химический состав КНК, масса навески КНК, используемой для экстракции с поверхности частиц, масса нерастворимого остатка после экстракции и общего количества титранта, определяемого как V₁+V₂ (рис. 4). Рассчитанное значение свободной щелочи для КНК_{3,6} составило 1,75 масс.% от общего количества Na₂O в концентрате.

Выводы. Сравнительное исследование физико-химических свойств КНК и карбонатной шихты для получения силикат-глыбы показало, что синтезированный продукт выгодно отличается по фазовому составу, определяющему снижение температуры и времени варки по сравнению с варкой на карбонатной шихте, не подвержен сегрегации натрий- и кремний-содержащих компонентов, а количество свободной щелочи в

Однако, как показал эксперимент по титрованию заранее приготовленной смеси гидроксида и силиката натрия с известными концентрациями, наблюдалось некоторое занижение концентрации сильной щелочи и завышение концентрации силиката натрия. Возможное объяснение связано с тем, что соль Na₂SiO₃ представлена очень слабой метакремниевой кислотой H₂SiO₃ с константами диссоциации K₁ = 1,3·10^{–10}, K₂ = 1,6·10^{–12}. В результате гидролиза данной соли образуются довольно высокие концентрации OH[–] ионов, сопоставимые с концентрациями данных ионов, поставляемых сильной щелочью. Это ведет к затруднению в определении первой и второй точек эквивалентности, связанных в первом случае с присутствием OH[–] ионов сильной щелочи и OH[–] ионов, являющихся продуктами гидролиза соли во втором случае.

продукте не способно вызвать коррозионные процессы огнеупоров стекловаренной печи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям «Производство стекла» ИТС 5 – 2015. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gost.ru/portal/gost/home/activity/NDT> (дата обращения: 14.05.2019)
2. Резом-бизнес-план «Создание мощности по выпуску высококачественной силикатной глыбы в АО «Солистке» в г. Солнечногорск Московской области / Болотин В.Н., Кувшинов В.И., Гаур М.Г., Блинчиков В.А. и др. Кишинев. 2014. 24 с. (Личный архив В.Н. Болотина)
3. LBNL-57335-Revision Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Glass Industry. An ENERGY STAR Guide for Energy and Plant Managers. Department Environmental

Energy Technologies Division Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. March 2008 [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://www.energystar.gov/ia/business/industry/Glass-Guide.pdf> (дата обращения: 14.05.2019)

4. Ceramics, glass and cement. Energy saving advice for the ceramics, glass and cement sectors [Электронный ресурс]. URL: <https://www.carbontrust.com/resources/guides/sector-based-advice/ceramics-glass-and-cement/> (дата обращения: 14.05.2019)

5. Григорьев П.Н., Матвеев М.А. Растворимое стекло. СПб.: ГИЛСМ. 1956. 152 с.

6. Марченко Е.И., Лавров Р.В. Новые синтетические сырьевые материалы для производства силикатного стекла // II Международная научно-техническая конференция «Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды» Сборник тезисов. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2017. С. 133-136.

7. Дьяков А.О., Лавров Р.В. Интенсификация процессов стеклообразования стекловидных щелочных силикатов // Фундаментальные и прикладные исследования в области химии и экологии – 2018. Международная научно-практическая конференция. Сборник тезисов. Юго-Западный университет. 2018. С. 94–98.

8. Пат. GB1411257 США, МПК C03B1/00; C03B3/00; C03C1/00; ИК C03B1/00; C03B3/00; C03C1/00; C03C1/02; C03C6/04. Glass manufacture / Ppg industries inc.; опубли. 22.10.1975, [Электронный ресурс]. URL: [https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=](https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=19751022&CC=GB&NR=1411257A&KC=A)

[3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=19751022&CC=GB&NR=1411257A&KC=A](https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=19751022&CC=GB&NR=1411257A&KC=A) (дата обращения: 14.05.2019)

9. Lavrov R.V., Mironovich L.M. A Novel Method for Preparing a Batch of Silicate Glasses Using Sodium and Potassium Hydroxides // Glass Physics and Chemistry. 2018. Vol. 44. Iss. 2. Pp. 145–151.

10. Лавров Р.В. Особенности процессов стеклообразования при использовании гидроксидов металлов : автореферат дис. ... канд. техн. наук. Белгород, 2015. 21 с.

11. Зиз. № 2007131721 Российская Федерация, МПК C03B1/00. Щелочной концентрат для получения стекла и способ его применения с целью снижения атмосферных выбросов углекислоты и твердых составляющих шихты / Молчанов В.Н., Лавров Р.В.; опубли. 27.02.2009; [Электронный ресурс]. URL: http://new.fips.ru/register-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&Doc-Number=2007131721&TypeFile=html (дата обращения: 14.05.2019)

Информация об авторах

Лавров Роман Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры фундаментальной химии и химической технологии. E-mail: kvarcinat@mail.ru. Юго-Западный государственный университет, 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94

Кликин Евгений Геннадьевич, аспирант кафедры фундаментальной химии и химической технологии. E-mail: klikin.zhenya@yandex.ru. Юго-Западный государственный университет, 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94

Новиков Лев Борисович, студент бакалавриата кафедры фундаментальной химии и химической технологии. E-mail: nowikow_lew_555@mail.ru. Юго-Западный государственный университет, 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94

Поступила в мае 2019 г.

© Лавров Р.В., Кликин Е.Г., Новиков Л.Б., 2019

^{1,*}Lavrov R.V., ¹Klikin E.G., ¹Novikov L.B.

¹The Southwest State University (SWSU)
Russia, 305040, Kursk, st. 50 let Oktyabrya, 94
*E-mail: kvarcinat@mail.ru

USING SODIUM HYDROXIDE FOR OBTAINING ALKALI SILICATES

Abstract. Intensification of glassmaking processes is a priority task for domestic glass industry. The partial (complete) replacement of the carbonate part of the glass mixture with the corresponding hydroxides is a perceptual direction. Obtaining the silicon-sodium concentrate is the result of physico-chemical activation of

silicon-containing raw materials with sodium hydroxide used as the sodium-containing component of the mixture. Its phase composition is amorphous and crystalline in the form of low-temperature quartz and sodium metasilicate. The bulk density of the synthesized product meets the requirements of GOST 5100-85 for soda ash. Separation of solid and liquid parts of the synthesized product is carried out using an experimental plant for the extraction with a single extractant. The method of conductometry is used to study the soluble part. The calculation of the residual value of NaOH in the product is based on titrant volumes by equivalence points during the titration of a weighed quantity of the experimental batch of the product and the mass of insoluble residue. The article presents the results of a comparative study of the physico-chemical properties of the products of activation and carbonate mixture to obtain silicate blocks with various modularities. On the basis of physico-chemical properties, the resulting product can be used in the glass industry to produce silicate blocks of various modularities with the expected decrease in temperature and preparation time.

Keywords: sodium hydroxide, activation of silicon-containing component, silicate block, alkaline silicates.

REFERENCES

1. Information and technical reference book on the best available technologies "Glass production" ITS 5 - 2015. [*Informacionno-tekhnicheskij spravochnik po nailuchshim dostupnym tekhnologiyam «Proizvodstvo stekla» ITS 5 – 2015*]. URL: <https://www.gost.ru/portal/gost/home/activ-ity/NDT> (date of application: 05.14.2019) (rus)
2. Resum-business plan "Creating the capacity for the production of high-quality silicate lumps in JSC Solstek" in Solnechnogorsk, Moscow region [*Rezom-biznes-plan «Sozдание moshchnosti po vypusku vysokokachestvennoj silikatnoj glyby v AO «Solistke» v g. Solnechnogorsk Moskovskoj oblasti*]. Bolotin V.N., Kuvshinov V.I., Graur M.G., Glinchikov V.A. Chisinau and others. 2014. 24 p. (Personal archive of Bolotin V.N.) (rus)
3. LBNL-57335-Revision Energy Saving for the Glass Industry. An Energy Star Guide for Energy and Plant Managers. Department of Environment Environment Technologies Division Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. March 2008. Adobe Acrobat Reader. URL: <https://www.energystar.gov/ia/business/industry/Glass-Guide.pdf> (date of the application: 05.14.2019)
4. Ceramics, glass and cement. Energy saving advice for glass and cement sectors. URL: <https://www.carbontrust.com/resources/guides/sector-based-advice/ceramics-glass-and-cement/> (date of the application: 05.14.2019)
5. Grigoriev P.N, Matveev M.A. Soluble glass [*Rastvorimoe steklo*]. St. Petersburg: GILSM.1956. P.152. (rus)
6. Marchenko E.I., Lavrov R.V. New synthetic raw materials for the production of silicate glass [*Novye sinteticheskie syr'evye materialy dlya proizvodstva silikatnogo stekla*]. II Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya «Energ- i resursosberegayushchie ekologicheski chistye himiko-tekhnologicheskie processy zashchity okruzhayushchej sredy. Sbornik dokladov. Belgorodskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet imeni V.G. Shuhova. 2017. Pp. 133–136. (rus)
7. Dyakov A.O., Lavrov R.V. Intensification of glass-forming processes of vitreous alkali silicates [*Intensifikaciya processov stekloobrazovaniya steklovidnyh shchelochnyh silikatov*]. Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya v oblasti himii i ekologii – 2018. Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya. Sbornik tezisov. YUgo-Zapadnyj universitet. 2018. Pp. 94–98. (rus)
8. Ppg industries inc. Glass manufacture. Pat. GB, no 1411257, 1975. (rus)
9. Lavrov R.V., Mironovich L.M. A Glass Method for Preparing and Sodium Hydroxides Glass Physics and Chemistry. 2018. Volume 44, Issue 2. Pp. 145–151.
10. Lavrov R.V. Features of the processes of glass formation when using metal hydroxides [*Osobennosti processov stekloobrazovaniya pri ispol'zovanii gidroksidov metallov*]. Belgorod. 2015. 21 p. (rus)
11. Molchanov V.N., Lavrov R.V. Alkaline concentrate for glass production and method of its use in order to reduce atmospheric emissions of carbon dioxide and solid components of the charge. Application for invention RF, no. 2007131721, 2009. (rus)

Information about the authors

Lavrov, Roman V. PhD, Associate Professor. E-mail: kvarcinat@mail.ru. The Southwest State University (SWSU). Russia, 305040, Kursk, st. 50 let Oktyabrya, 94

Klikin, Evgeny G. Graduate student. E-mail: klikin.zhenya@yandex.ru. The Southwest State University (SWSU). Russia, 305040, Kursk, st. 50 let Oktyabrya, 94

Novikov, Lev B. Bachelor student. E-mail: nowikow_lew_555@mail.ru. The Southwest State University (SWSU). Russia, 305040, Kursk, st. 50 let Oktyabrya, 94

Received in May 2019

Для цитирования:

Лавров Р.В., Кликин Е.Г., Новиков Л.Б. Использование гидроксида натрия для получения стекловидных щелочных силикатов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 7. С. 95–101. DOI: 10.34031/article_5d35d0b7196335.34243152

For citation:

Lavrov R.V., Klikin E.G., Novikov L.B. Using sodium hydroxide for obtaining alkali silicates. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 7. Pp. 95–101. DOI: 10.34031/article_5d35d0b7196335.34243152

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/article_5d35d0b7cf02d8.20620193

^{1,*}Семикопченко И.А., ¹Воронов В.П., ¹Беляев Д.А.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

*E-mail: semickopchenko.i@yandex.ru

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СМЕШЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ КОМПОНЕНТОВ В РАБОЧЕЙ КАМЕРЕ ДЕЗИНТЕГРАТОРА

Аннотация. В данной статье дан анализ движения частиц различных компонентов в междурядном пространстве и в периферийной части рабочей камеры дезинтегратора. Представлены схема дезинтегратора с узлом загрузки компонентов, а также схема рабочей камеры дезинтегратора. Узел загрузки представляет собой два шнековых питателя, обеспечивающих подачу различных компонентов в конический загрузочный бункер. Пропускная способность шнековых питателей согласована с пропускной способностью загрузочного бункера и вертикального цилиндрического патрубка. Определена массовая пропускная способность камеры смешения и помола дезинтегратора. Массовая пропускная способность определялась с помощью функциональной зависимости изменения насыпной плотности материала при его прохождении в радиальном направлении от радиуса разбрасывающего диска R_d до радиального размера корпуса дезинтегратора. Определено, что массовая пропускная способность зависит от геометрических (R_k , R_g , H) и технологических (ϑ_r) параметров дезинтегратора. Движение материала в рабочей камере дезинтегратора и изменение концентрации выделенной компоненты смеси представлены на основе ячеечной модели смешения. В результате теоретических исследований получено аналитическое выражение, которое позволяет определить концентрацию выделенной компоненты смеси на выходе из корпуса дезинтегратора в тангенциальный разгрузочный патрубок. Выявлено, что концентрация выделенной компоненты смеси при прохождении через корпус дезинтегратора представленной конструкции составляет примерно половину (0,57) от начального значения.

Ключевые слова: дезинтегратор, смешение, компонента, камера.

Дезинтеграторы являются одним из наиболее эффективных видов оборудования для помола, смешения и активации различных материалов [1].

На рис. 1 представлена схема рабочей камеры дезинтегратора с узлом загрузки различных компонентов. Дезинтегратор работает следующим образом. Исходные компоненты подаются через загрузочный бункер 1 в рабочую камеру 2 посредством двух шнековых питателей 3. Пропускная способность шнековых питателей 3 согласована с пропускной способностью загрузочного бункера 1 и вертикального цилиндрического патрубка 4. Проходя через вертикальный цилиндрический патрубок 4, материалы под действием центробежных сил направляются к первому ряду рабочих органов 5. Частицы материалов взаимодействуют с поверхностью рабочих органов 5 первого внутреннего ряда и направляются к следующему ряду 6, вращающемуся в противоположном направлении. Переменно направленное движение частиц в противоположных сторонах осуществляется во всех междурядных пространствах рабочей камеры до тех пор,

пока частицы не покинут внешний ряд рабочих органов. В результате взаимодействия частиц с рабочими органами в рабочей камере 2 дезинтегратора осуществляется помол и смешение различных компонентов. Разгрузка получаемой смеси продуктов измельчения осуществляется через тангенциальный патрубок 7.

1. Пропускная способность камеры помола дезинтегратора.

Расчет массовой пропускной способности Q_0 камеры помола дезинтегратора можно произвести на основании следующего соотношения [1]:

$$Q_g = \frac{d}{dt} \int_V \gamma(r) \cdot dV \quad (1)$$

где $\gamma(r)$ – представляет собой функциональную зависимость изменения насыпной плотности материала при его прохождении в радиальном направлении от радиуса разбрасывающего диска R_d до радиального размера корпуса дезинтегратора.

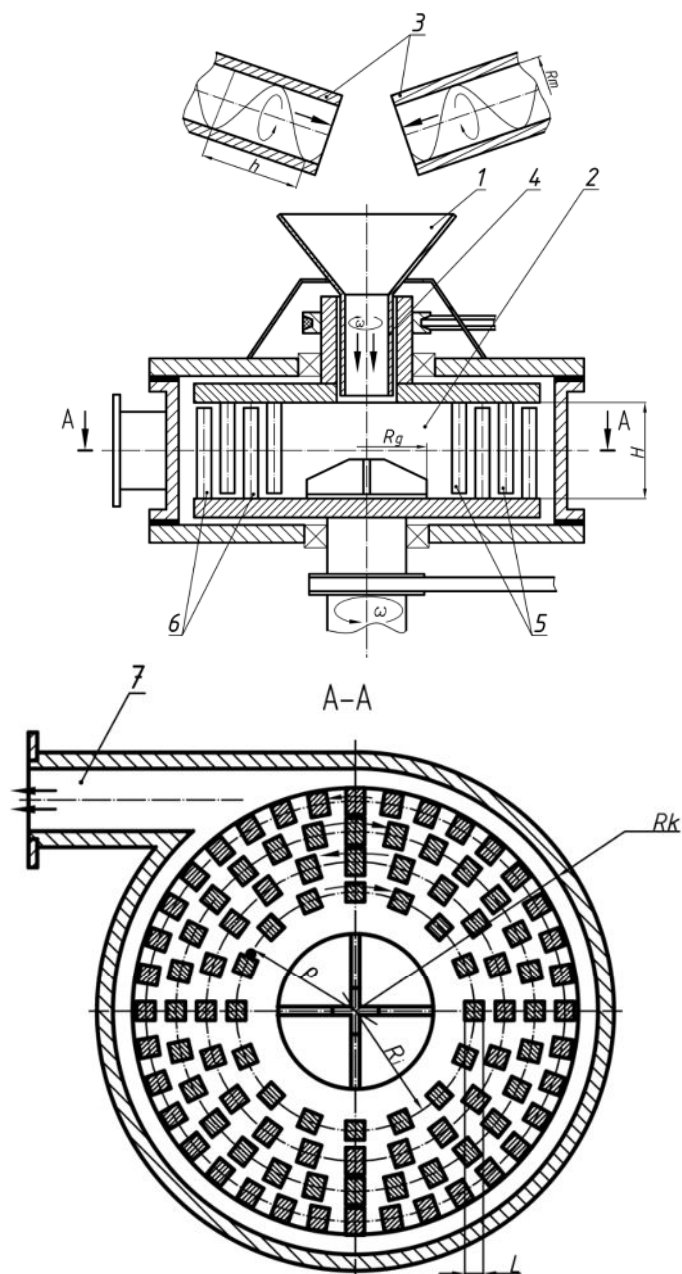


Рис. 1. Схема дезинтегратора с узлом загрузки различных компонентов.

1 – загрузочный бункер; 2 – рабочая камера; 3 – шнековый питатель; 4 – цилиндрический патрубок;
5, 6 – рабочий орган, 7 – тангенциальный патрубок

Если предположить, что данная функциональная зависимость имеет линейный характер, а именно:

$$\gamma(r) = \gamma_0 \frac{R_k - r}{R_k - R_g} + \gamma_k \frac{r - R_g}{R_k - R_g} \quad (2)$$

где γ_0 – насыпная плотность материала, поступающего на разбрасывающий диск;

γ_k – насыпная плотность материала на выходе из камеры дезинтегратора;

R_k – радиус корпуса дезинтегратора;

R_g – радиус разбрасывающего диска;

Вычисление интеграла в формуле (1) произведем в цилиндрической системе координат.

Элемент объема в этом случае можно представить в следующем виде:

$$dV = r \cdot dr \cdot d\chi \cdot dz \quad (3)$$

здесь r, χ, z – координаты цилиндрической системы координат.

Подстановка (2) и (3) в (1) приводит к результату:

$$Q_g = \frac{d}{dt} \int_0^{2\pi} d\chi \int_0^H dz \int_{R_g}^{R_k} \frac{r}{R_k - R_g} (\gamma_0 R_k - \gamma_0 r + \gamma_k r - \gamma_k R_g) dr = \frac{2 \cdot \pi \cdot H}{R_k - R_g} \cdot \int_{R_g}^{R_k} \left(\gamma_0 \cdot R_k \cdot \frac{dr}{dt} - 2 \cdot \gamma_0 \cdot r \cdot \frac{dr}{dt} + 2 \cdot \gamma_k \cdot r \cdot \frac{dr}{dt} - \gamma_k \cdot R_g \cdot \frac{dr}{dt} \right) \quad (4)$$

где H – высота камеры смешения и помола.

Если учесть, что величина

$$\vartheta_2 = \frac{dr}{dt} \quad (5)$$

представляет собой скорость перемещения частиц материала вдоль поверхности ударных элементов.

С учетом (5) формула (4) примет вид:

$$Q_g = \frac{2 \cdot \pi \cdot H}{R_k - R_g} \int_{R_g}^{R_k} \vartheta_r (\gamma_0 \cdot R_k - 2 \cdot \gamma_0 \cdot r + 2 \cdot \gamma_k \cdot r - \gamma_k \cdot R_g) dr. \quad (6)$$

Согласно результату работы [2], скорость ϑ_r движения частицы материала по поверхности ударного элемента, ориентация которого от радиального направления отклонена на угол β , определяется соотношением:

$$\vartheta_r = \frac{\omega \cdot \rho}{2 \cdot f} (\cos \beta - f \cdot \sin \beta) \quad (7)$$

где f – коэффициент трения частицы материала о поверхность ударного элемента;

ω – частота вращения роторов с ударными элементами;

ρ – расстояние от оси вращения ряда ударных элементов до точки встречи частицы материала с поверхностью ударного элемента.

Данное расстояние равно:

$$\rho = R_i - \frac{l}{2} \quad (8)$$

здесь R_i – расстояние от оси вращения до i – того ряда ударных элементов;

l – ширина ударного элемента.

Согласно (7) и (8) величина скорости ϑ_r не зависит от радиальной координаты, поэтому соотношение (6) можно привести к виду:

$$Q_g = \frac{2 \cdot \pi \cdot H \cdot \vartheta_r}{R_k - R_g} \int_{R_g}^{R_k} [\gamma_0 \cdot R_k - \gamma_k \cdot R_g + 2 \cdot (\gamma_k - \gamma_0) \cdot r] dr. \quad (9)$$

Вычисление интеграла (9) приводит к следующему результату:

$$Q_g = 2 \cdot \pi \cdot H \cdot \vartheta_r \cdot [R_g \cdot (\gamma_0 - \gamma_k) + \gamma_k \cdot (R_k - R_g)]. \quad (10)$$

Приведем (10) к следующему виду:

$$Q_g = 2 \cdot \pi \cdot H \cdot \vartheta_r \cdot R_g \cdot [\gamma_0 + \gamma_k \cdot (\alpha_1 - 2)] \quad (11)$$

где введено следующее обозначение:

$$\alpha_1 = \frac{R_k}{R_g}. \quad (12)$$

2. Ячеечная модель смешения материалов в рабочей камере дезинтегратора.

Движение материала в рабочей камере дезинтегратора и изменение концентрации выделенной компоненты смеси представлены на рисунке 2.

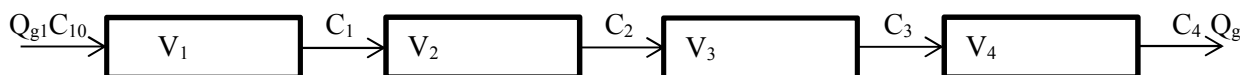


Рис. 2. Схема ячеечной модели смешения

Согласно результату работы [2] уравнение, описывающее изменение концентрации выделенной компоненты смеси в рамках ячеечной модели имеет вид:

$$Q_i \cdot (C_{i-1} - C_i) = V_i \frac{dC_i}{dt} \quad (13)$$

где $i \approx 1, 2, 3, 4$ – номера ячеек, через которые последовательно проходит материал;

C_i – концентрация выделенной компоненты смеси в i -ячейке;

C_0 – начальное значение концентрации выделенной компоненты;

Q_i – объемный расход материала, проходящего через i -ячейку равный:

$$Q_i = \frac{Q_g}{\gamma_{см}} \quad (14)$$

$\gamma_{см}$ – плотность материала, проходящего через i -ячейку;

V_i – объем i -ой ячейки, значение которого определяется соотношением:

$$V_i = \pi (R_{i+1}^2 - R_i^2) \cdot H \quad (15)$$

здесь

$$R_{i+1} = R_i + \Delta \quad (16)$$

где Δ – расстояние между радиальными размерами $i + 1$ и i ячеек.

Вычислим:

$$R_{i+1}^2 = R_i^2 + 2R_i \cdot \Delta + \Delta^2 \quad (17)$$

Учитывая что

$$\frac{\Delta}{R_i} \ll 1 \quad (18)$$

тогда соотношение (17) можно представить в следующем виде:

$$R_{i+1}^2 = R_i^2 \left(1 + 2 \frac{\Delta}{R_i} + \frac{\Delta^2}{R_i^2} \right). \quad (19)$$

На основании (18), пренебрегая в (19) величинами второго порядка малости имеем:

$$R_{i+1}^2 \cong R_i^2 + 2R_i \cdot \Delta. \quad (20)$$

Подстановка (20) в (15) позволяет получить следующий результат:

$$V_i = 2 \cdot \pi \cdot H \cdot \Delta \cdot R_i. \quad (21)$$

Введем следующее обозначение:

$$\tau_i = \frac{V_i}{Q_i} \quad (22)$$

которому с учетом (11), (14) и (21) можно придать вид:

$$\tau_i = \frac{\Delta \cdot R_i \cdot \gamma_{cm}}{\vartheta_r \cdot R_g (\gamma_0 + \gamma_k (\alpha_1 - 2))}. \quad (23)$$

Легко убедиться, что величина (23) имеет размерность времени. На основании этого факта величине (23) можно придать смысл времени пребывания материала в i -ой ячейке.

Дальнейшее упрощение формулы (23) можно провести на основании следующих соотношений. Скорость движения частицы материала по поверхности ударного элемента [3]:

$$\vartheta_r = \frac{\omega \cdot \rho}{2 \cdot f} (\cos \beta - f \cdot \sin \beta) \quad (24)$$

где ω – частота вращения роторов с ударными элементами;

ρ – расстояние от оси вращения ряда ударных элементов до точки встречи частицы материала с поверхностью ударного элемента;

f – коэффициент трения частицы материала о поверхность ударного элемента;

β – угол отклонения ударного элемента от радиального направления.

Расстояние ρ определяется следующим образом:

$$\rho = R_i - \frac{l}{2} \quad (25)$$

здесь R_i – расстояние от оси вращения до i – того ряда ударных элементов;

l – ширина ударного элемента.

Если учесть что величина

$$\frac{l}{2R_i} \ll 1 \quad (26)$$

является малой величиной, то с учетом (26) формула (24) примет вид:

$$\vartheta_r \cong \frac{\omega R_i}{2f} (\cos \beta - f \sin \beta). \quad (27)$$

Подстановка (25) в (23) приводит к следующему соотношению:

$$\tau_0 = \frac{2 \cdot \Delta \cdot \gamma_{cm} \cdot f}{\omega (\cos \beta - f \sin \beta) R_g (\gamma_0 + \gamma_k (\alpha_1 - 2))}. \quad (28)$$

Полученное соотношение (28) позволяет сделать вывод, что время нахождения материала с точностью до величин первого порядка малости не зависит от номера ячейки.

С учетом (22), (28) уравнение (13) принимает вид:

$$C_{i-1} - C_i = \tau_0 \frac{dC_i}{dt}, \quad i = 1, 2, 3, 4. \quad (29)$$

Для определения изменения концентрации выделенной компоненты смеси в рассматриваемых ячейках необходимо проинтегрировать систему (29), удовлетворяющую следующим начальным условиям:

$$C_i(t = 0) = 0, \quad i = 0, 1, 2, 3, 4 \quad (30)$$

здесь C_0 – заданное начальное значение выделенной компоненты смеси на входе в ячейки.

Дифференциальное уравнение, описывающее изменение концентрации выделенной компоненты смеси в объеме первой ячейки, согласно (29) имеем:

$$\tau_0 \frac{dC_1}{dt} = C_0 - C_1. \quad (31)$$

Уравнение (31) можно привести к следующему виду:

$$\frac{d(C_0 - C_1)}{C_0 - C_1} = -\frac{dt}{\tau_0}. \quad (32)$$

Интегрирование (32) позволяет получить:

$$C_0 - C_1 = A_{10} e^{-\frac{t}{\tau_0}} \quad (33)$$

где A_{10} – постоянная интегрирования.

Значение постоянной интегрирования A_{10} находим из начального условия (30) для первой ячейки.

Применение (30) к (33) приводит к результату:

$$A_{10} = C_0. \quad (34)$$

Подстановка (34) в (33) приводит к результату:

$$C_1 = C_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_0}} \right). \quad (35)$$

Дифференциальное уравнение, описывающее изменение концентрации выделенной компоненты смеси в объеме второй ячейки на основании (29) имеет вид:

$$\tau_0 \frac{dC_2}{dt} = C_1 - C_2. \quad (36)$$

Подстановка (35) в (36) приводит к следующему результату:

$$\tau_0 \frac{dC_2}{dt} + C_2 = C_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_0}} \right). \quad (37)$$

Интегрирование уравнения (37) приводит к соотношению:

$$C_2 = A_{20} e^{-\frac{t}{\tau_0}} + C_0 \left(1 - \frac{t}{\tau_0} e^{-\frac{t}{\tau_0}} \right). \quad (38)$$

На основании начального условия (30) применительно ко второй ячейке находим постоянную интегрирования:

$$A_{20} = -C_0. \quad (39)$$

Подстановка (39) в (38) приводит к соотношению:

$$C_2 = C_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_0}} - \frac{t}{\tau_0} e^{-\frac{t}{\tau_0}} \right). \quad (40)$$

Далее запишем дифференциальное уравнение, описывающее изменение концентрации выделенной компоненты смеси в объеме третьей ячейки:

$$\tau_0 \frac{dC_3}{dt} = C_2 - C_3 \quad (41)$$

которое при подстановке (40) примет вид:

$$\tau_0 \frac{dC_3}{dt} + C_3 = C_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_0}} - \frac{t}{\tau_0} e^{-\frac{t}{\tau_0}} \right). \quad (42)$$

Интегрирование уравнения (42) приводит к выражению:

$$C_3(t) = A_{30} e^{-\frac{t}{\tau_0}} + C_0 \left(1 - \frac{t}{\tau_0} e^{-\frac{t}{\tau_0}} - \frac{t^2}{2\tau_0^2} e^{-\frac{t}{\tau_0}} \right). \quad (43)$$

Применив начальное условие (30) для объема третьей ячейки, находим постоянную интегрирования A_{30} :

$$A_{30} = -C_0. \quad (44)$$

С учетом (44) решение (43) принимает вид:

$$C_3(t) = C_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_0}} - \frac{t}{\tau_0} e^{-\frac{t}{\tau_0}} - \frac{t^2}{2\tau_0^2} e^{-\frac{t}{\tau_0}} \right). \quad (45)$$

Дифференциальное уравнение, описывающее изменение концентрации выделенной компоненты смеси в объеме четвертой ячейки:

$$\tau_0 \frac{dC_4}{dt} = C_3 - C_4 \quad (46)$$

которое с учетом полученного соотношения (45) можно привести к виду:

Информация об авторах

Семикопенко Игорь Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры механического оборудования. E-mail: semikopenco.i@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Воронов Виталий Павлович, кандидат физико-математических наук, профессор кафедры механического оборудования. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Беляев Денис Александрович, аспирант, кафедры механического оборудования. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в марте 2019 г.

© Семикопенко И.А., Воронов В.П., Беляев Д.А., 2019

$$\tau_0 \frac{dC_4}{dt} + C_4 = C_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_0}} - \frac{t}{\tau_0} e^{-\frac{t}{\tau_0}} - \frac{t^2}{2\tau_0^2} e^{-\frac{t}{\tau_0}} \right). \quad (47)$$

Решение неоднородного дифференциального уравнения первого порядка (47) имеет вид:

$$C_4 = C_0 \left(1 - \frac{t}{\tau_0} e^{-\frac{t}{\tau_0}} - \frac{t^2}{2\tau_0^2} e^{-\frac{t}{\tau_0}} - \frac{t^3}{6\tau_0^3} e^{-\frac{t}{\tau_0}} \right) + A_{40} e^{-\frac{t}{\tau_0}}. \quad (48)$$

Постоянную интегрирования A_{40} на основании (30) необходимо положить равной:

$$A_{40} = -C_0. \quad (49)$$

Подстановка (49) в (48) позволяет получить следующий результат:

$$C_4 = C_0 \left[1 - e^{-\frac{t}{\tau_0}} \left(1 + \frac{t}{\tau_0} + \frac{t^2}{2\tau_0^2} + \frac{t^3}{6\tau_0^3} \right) \right]. \quad (50)$$

Полученное соотношение (50) позволяет определить концентрацию выделенной компоненты смеси на выходе из корпуса дезинтегратора, а именно:

$$C_4 = (t = 4\tau_0) \cong 0.57C_0. \quad (51)$$

Таким образом, согласно (51) концентрация выделенной компоненты смеси при прохождении через корпус дезинтегратора представленной конструкции составляет примерно половину (0,57) от начального значения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хинт И.А. Основы производства силикатных изделий. Стройиздат, 1962. 636 с.
2. Семикопенко И.А., Воронов В.П., Пензев П.П. Теоретические исследования скорости движения частиц материала вдоль поверхности ударного элемента мельницы дезинтеграторного типа // Известия ВУЗов. Строительство. № 11-12. 2008. С. 93–96.
3. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками. Л.: Химия, 1975. 384 с.

^{1,*}**Semikopenko I.A.**, ¹**Voronov V.P.**, ¹**Belyaev D.A.**

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

*E-mail: semickopencko.i@yandex.ru

THEORETICAL STUDY OF THE PROCESS OF MIXING THE VARIOUS COMPONENTS IN THE WORKING CHAMBER OF THE DISINTEGRATOR

Abstract. This article analyzes the movement of particles of different components in the inter-row space and in the peripheral part of the disintegrator's working chamber. The diagram of the disintegrator with the component loading unit and the diagram of the disintegrator's working chamber are presented. The loading unit consists of two screw feeders, which supply various components to the conical loading hopper. The capacity of the screw feeders is matched with the capacity of the hopper and the vertical cylindrical branch pipe. The mass capacity of the mixing chamber and the grinding of the disintegrator is determined. Mass throughput is determined using the functional dependence of the change in the bulk density of the material during its passage in the radial direction from the radius of scattering disk R_0 to the radial size of the disintegrator body. It is determined that the mass throughput depends on the geometric (R_k , R_g , H) and technological (ϑ_r) parameters of the disintegrator. The movement of the material in the working chamber of the disintegrator and the change in the concentration of the selected components of the mixture are presented on the basis of the cell mixing model. It allows to determine the concentration of the selected component of the mixture at the outlet of the body of the disintegrator in the tangential discharge pipe. According to expression, the concentration of the selected components of the mixture when passing through the disintegrator body of the presented construction is about half (0.57) of the initial value.

Keywords: disintegrator, mixing, component, chamber.

REFERENCES

1. Khint I.A. Basics of the production of silicic-calcium products [*Osnovy proizvodstva silikal'citnyh izdelij*]. Stroyizdat, 1962. 636 p. (rus)
2. Semikopenko I.A., Voronov V.P., Penzev P.P. Theoretical studies of the speed of movement of particles of a material along the surface of a shock element of a disintegrator-type mill [*Teoreticheskie*

issledovaniya skorosti dvizheniya chastic materiala vdol' poverhnosti udarnogo ehlementa mel'nicy dezintegratornogo tipa]. News of higher educational institutions. Construction. 2008. No. 11-12. Pp. 93–96. (rus)

3. Strenk F. Stirring and agitating machines [*Peremeshivanie i apparaty s meshalkami*]. L.: Chemistry, 1975. 384 p. (rus)

Information about the authors

Semikopenko, Igor A. PhD, Assistant professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46. E-mail: semickopencko.i@yandex.ru.

Voronov, Vitaly P. DSc, Professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Belyaev, Denis A. Research assistant. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in March 2019

Для цитирования:

Семикопенко И.А., Воронов В.П., Беляев Д.А. Теоретическое исследование процесса смешения различных компонентов в рабочей камере дезинтегратора // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 7. С. 102–107. DOI: 10.34031/article_5d35d0b7cf02d8.20620193

For citation:

Semikopenko I.A., Voronov V.P., Belyaev D.A. Theoretical study of the process of mixing the various components in the working chamber of the disintegrator. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 7. Pp. 102–107. DOI: 10.34031/article_5d35d0b7cf02d8.20620193

DOI: 10.34031/article_5d35d0b677dc74.96046396

¹Пономарев Б.Б., ^{1,*}Нгуен Ши Хьен¹Иркутский национальный исследовательский технический университет

Россия, 664074, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

*E-mail: syhiendk35@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССА ПЯТИКООРДИНАТНОГО КОНЦЕВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований, позволивших установить степень влияния режимов обработки и условий ориентации концевого инструмента на силы резания при формообразовании поверхностей свободной формы построочным фрезерованием. На основе измерений, проведенных в процессе обработки заготовок на пятикоординатном фрезерном станке модели HSC 75 linear концевыми сфероцилиндрическими фрезами фирмы MITSUBISHI различных типоразмеров диаметром от 5 до 10 мм с двумя и четырьмя зубьями построены диаграммы и графики зависимостей сил резания и их проекций от времени при различных частотах вращения шпинделя, подачах на зуб, глубинах резания, углах наклона и опережения концевого инструмента. По результатам анализа экспериментальных данных подтверждено теоретическое заключение о возрастании сил резания при увеличении значений подачи на зуб, глубины резания, и повышении частоты вращения шпинделя применительно к процессу фрезерования сфероцилиндрическим инструментом. Выявлены критические положения инструмента относительно обрабатываемой поверхности, при которых силы резания имеют максимальные значения. Полученные результаты позволили разработать рекомендации по выбору позиции инструмента при чистовой обработке фрезерованием сложных поверхностей для исключения повышенных нагрузок на инструмент.

Ключевые слова: чистовое пятикоординатное фрезерование, поверхности свободной формы, силы резания, концевые сфероцилиндрические фрезы, ориентация инструмента, условия обработки.

Введение. В настоящее время при изготовлении деталей, содержащих поверхности свободной формы, широко используются многоцелевые пятикоординатные станки с числовым программным управлением.

Для процесса чистовой обработки сложных поверхностей чаще всего используют сфероцилиндрические концевые фрезы, которые позволяют минимизировать остаточный гребешок и избежать локальных и глобальных зарезаний в заготовке. При осевом вращении инструмента, значения скоростей точек, находящихся на режущей кромке сферической части фрезы в зоне вершины инструмента, по величине приближаются к

нулю. При стружкообразовании это приводит к увеличению нагрузки в области вершины фрезы и снижению качества обрабатываемой поверхности. Это может быть исключено путем ориентации инструмента по углам наклона (α) и опережения инструмента (β) по отношению к нормали к обрабатываемой поверхности (см. рис. 1). При этом кинематика и динамика процесса резания меняется в ходе обработки, так как само понятие сложной поверхности связано с существенным изменением значений кривизн в каждом из направлений в окрестностях всех её точек.

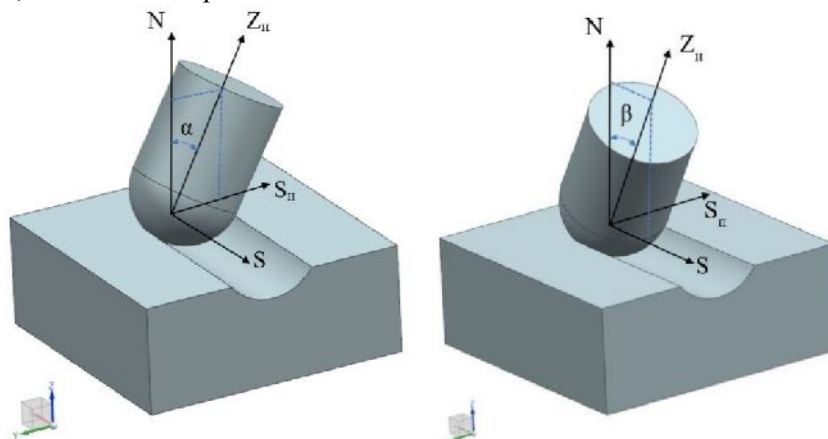


Рис. 1. Относительное положение инструмента и заготовки с – а) углом наклона б) углом опережения (N – нормаль к поверхности, S – продольная подача стола, S_ш – поперечная подача, Z_ш – ось инструмента)

Сила резания является одним из наиболее важных параметров, требующих отслеживания в процессе обработки, поскольку она определяет не только потребную мощность станка, напряжения в деталях станка, в обрабатываемой заготовке, но также температуру и износ режущего инструмента [1]. Сила резания занимает важное место в исследованиях процессов обработки материалов, и, в частности, в моделировании, оптимизации, мониторинге и контроле процессов фрезерования. Важно, чтобы во время обработки силы резания поддерживались близкими к оптимальным значениям. Чрезмерные силы резания вызывают большие прогибы системы, участвующей в процессе концевой фрезерования и приводят к низкому качеству продукта, в то время как малые силы резания часто указывают на низкую эффективность обработки. Следовательно, надежные количественные прогнозы сил резания и оптимизация их значений в операциях обработки необходимы для выбора условий реализации процесса и определения уровня качества обрабатываемой детали.

Динамические характеристики процесса фрезерования изучались многими отечественными и зарубежными авторами. При этом можно выделить два основных подхода, используемых исследователями: аналитический и механистический [2]. Аналитический метод обычно связан с термомеханическими явлениями, возникающими в зоне резания, и моделированием физических механизмов, сопровождающих процесс снятия стружки, например, напряжения и деформации при интенсивных пластических изменениях [3, 3]. Механистические модели предполагают, что силы резания пропорциональны площади поперечного сечения удаляемого элемента материала и определяются через удельные коэффициенты [5, 6, 7, 8]. В связи со сложностью конфигурации инструментальных поверхностей фрез, используемых при формообразовании пространственно сложных деталей, некоторые авторы определили силы резания используя методы преобразования ортогональных систем координат [9, 10, 11, 12]. При этом рассматривается только контакт части режущей кромки с обрабатываемым объектом.

В работах [13] и [14] авторами разработаны виртуальные модели фрезерования в трехмерной постановке на основе метода конечно-элементного анализа для определения влияния на силы резания величины подачи на зуб, глубины резания, углов наклона и опережения инструмента. Использование программного комплекса Abaqus позволило моделировать динамику процесса удаления материала заготовки режущими кромками сфероцилиндрических фрез при различных условиях обработки.

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований влияния на силы резания режимов обработки и ориентации инструмента относительно нормали к заготовке по углам наклона и опережения.

Условия проведения экспериментальных исследований. Для установления закономерностей, проявляющихся при чистовой обработке поверхностей концевыми сфероцилиндрическими фрезами, был проведен ряд экспериментов по обработке заготовок и измерению полученной на них шероховатости поверхностей. Обработка произведена на пятикоординатном фрезерном станке модели HSC 75 linearg концевыми сфероцилиндрическими фрезами фирмы MITSUBISHI диаметрами от 5 до 10 мм с двумя и четырьмя зубьями (рис. 2). Основные технические параметры инструментов представлены в таблице 1.



Рис. 2. Сфероцилиндрические фрезы, используемые в исследованиях

В качестве заготовки использованы пластины из стали размером 120×120×10 мм. Для подготовки управляющих программ использовался САМ модуль программы Unigraphics NX.

Для измерения сил резания в процессе фрезерования был выбран трехкомпонентный стационарный динамометрический комплекс Kistler Type 9129AA, с помощью которого определялись три компонента силы резания F_x , F_y и F_z с диапазоном измерения ± 10 кН.

Для сбора и обработки данных при силовом анализе производителями прибора предлагается использовать многоцелевое программное обеспечение DynoWare. Программное обеспечение изначально разрабатывалось с целью обеспечения работы измерительного комплекса на основе хорошо зарекомендовавшей себя линейки кварцевых динамометров фирмы Kistler и их использования совместно с современной компьютерной техникой [15]. При анализе сигнала программный комплекс DynoWare обеспечивает непрерывную визуализацию регистрируемых кривых,

а также содержит все необходимые математические и графические функции для обработки измерений. Кроме того, DynoWare позволяет документировать измерительный процесс и хранить данные о конфигурации и измерениях [16]. Относительные позиции динамометра, инструмента,

заготовки, компьютера с ПО и технологического оборудования представлены на рисунке 3.

Сигналы с датчиков динамометра передаются через усилитель и плату обработки данных на преобразование их в цифровые значения. Эти данные обрабатывались с помощью программы DynoWare.

Таблица 1

Технические параметры инструментов

№ на рис. 2	Количество зубьев	Размеры			
		Диаметр (мм)	Максимальная глубина резания (мм)	Диаметр соединения (мм)	Функциональная длина (мм)
1	2	5	5	6	50
2	2	6	9	6	80
3	4	6	12	6	80
4	2	8	14	8	90
5	4	8	14	8	90
6	2	10	18	10	100
7	4	10	18	10	100

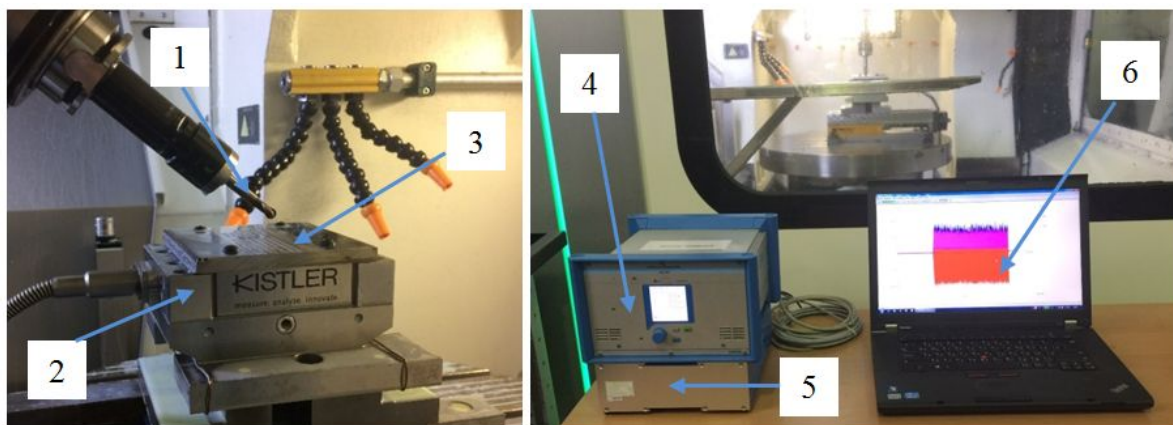


Рис. 3. Система измерения сил резания, регистрации и обработки данных:
1 – инструмент; 2 – динамометр; 3 – заготовка; 4 – усилитель; 5 – плата обработки данных;
6 – компьютер с ПО DynoWare

Для оценки уровня сигнала «шума», сопровождающего работу пятикоординатного станка HSC 75 linear и наводимого на датчики динамометра, измерения проводились в режиме холостых движений с вращающимся шпинделем и инструментом, установленным в станочную

оснастку при изменении угла наклона от 0 до 60°. На рисунке 4 представлены результаты измерения силы при этих условиях, регистрируемые с помощью стационарного динамометра типа 9129AA.

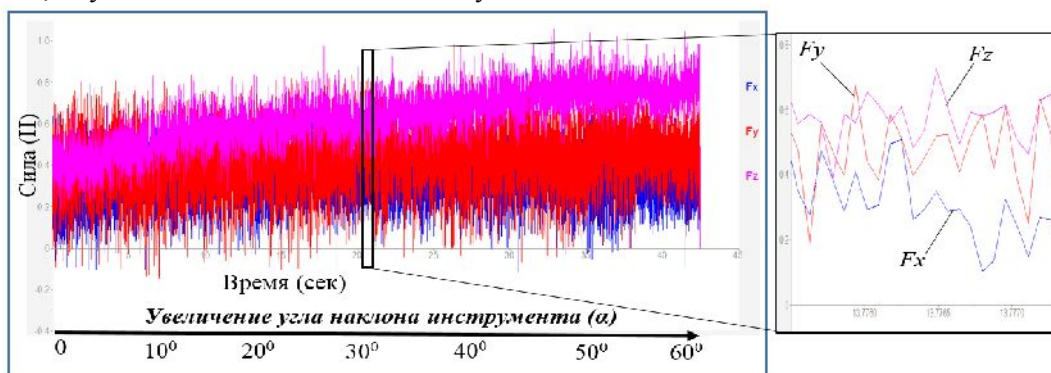


Рис. 4. Нагрузки, измеренные с использованием стационарного динамометра 9129AA при холостом движении инструмента и различных значениях угла наклона инструмента

Из диаграмм следует, что «шум» станка и другие факторы при использовании стационарного динамометра типа 9129АА незначительно влияют на результаты измерения силы резания. Уровень помех, зафиксированный с помощью стационарного динамометра 9129АА, составляет менее 1Н.

Влияние условий обработки на силы резания. При исследовании влияния условий обработки на силы резания, исходный режим резания выбран следующим образом: частота вращения

шпинделя $n = 6000 \text{ мин}^{-1}$, подача на зуб $f_z = 0,02 \text{ мм/зуб}$, глубина резания $t = 0,2 \text{ мм}$, фреза двухзубая диаметром 8 мм, угол между осью инструмента и нормалью к обрабатываемой поверхности 0° . При оценке влияния одного из этих параметров остальные параметры оставались постоянными.

Влияние подачи на зуб. Результаты измерений составляющих сил резания при значениях подачи на зуб 0,02мм; 0,025мм и 0,03мм представлены на рисунках 5, 6 и 7.

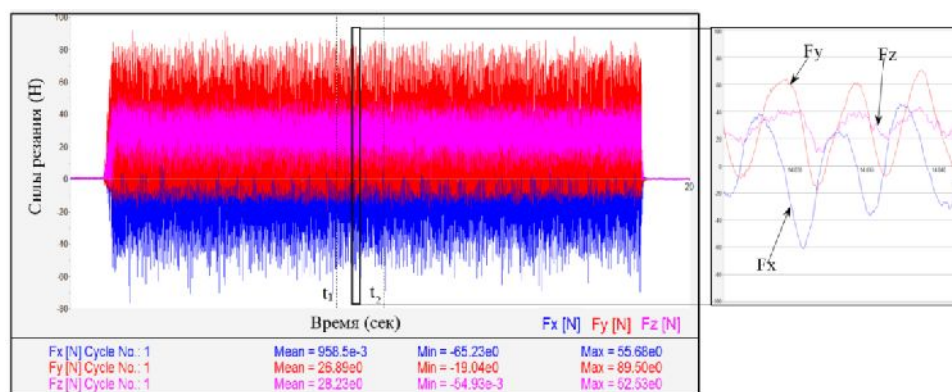


Рис. 5. Диаграмма силы резания при чистовом фрезеровании с подачей на зуб 0,02 мм

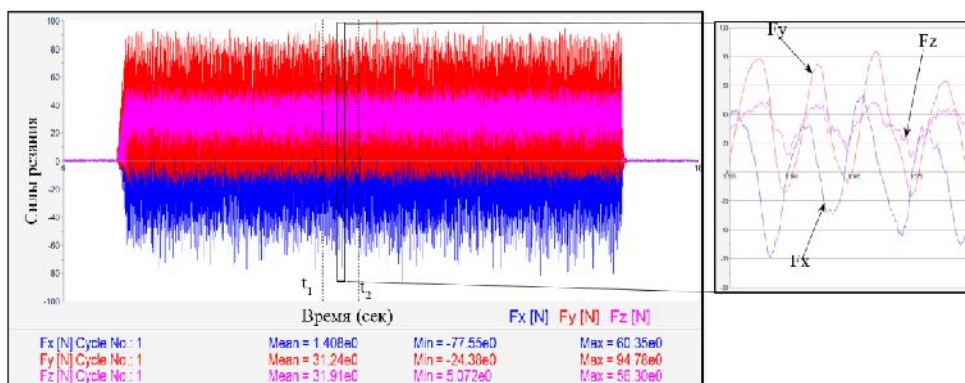


Рис. 6. Диаграмма силы резания при чистовом фрезеровании с подачей на зуб 0,025 мм

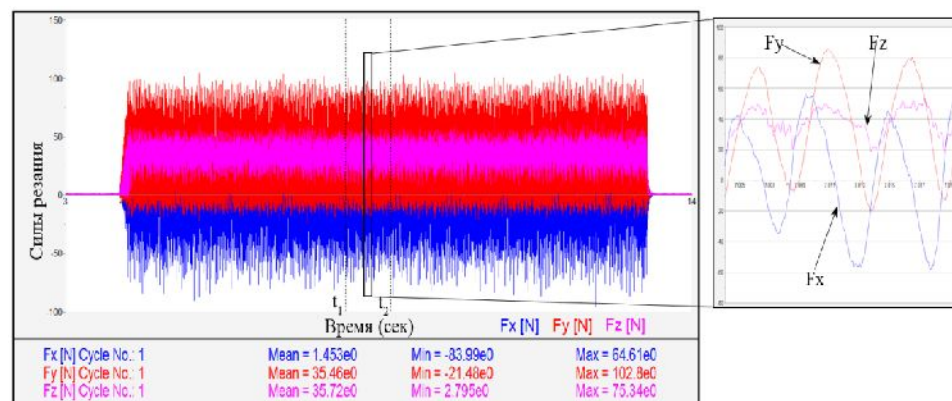


Рис. 7. Диаграмма силы резания при чистовом фрезеровании с подачей на зуб 0,03 мм

Из диаграмм (рис. 5, 6, 7) можно сделать вывод: сила резания изменяется в зависимости от времени по синусоидальным законам. Так как в

процессе обработки заготовки каждый зуб сфероцилиндрической фрезы за один оборот поочередно участвует во встречном и попутном

фрезеровании поэтому проекция силы F_x изменяет знак. Её среднее значение использовать для оценки динамических характеристик процесса не имеет смысла.

Программа DynoWare позволяет определить максимальное, минимальное и среднее значения силы резания на любом промежутке времени, например от t_1 до t_2 . Эти данные полностью характеризуют зависимость проекций силы резания от времени (см. рис. 5, 6, 7). При сравнении минимальных и максимальных значений следует, что с увеличением подачи на зуб абсолютное значение проекции силы резания F_x растет. При сравнении среднего значения составляющих силы резания F_y и F_z установлено, что их значения увеличиваются при возрастании

подачи на зуб. А именно, при подаче на зуб $f_z = 0,02$ мм

$F_{y\text{ сред}} = 26,89H$ и $F_{z\text{ сред}} = 28,23H$; при $f_z = 0,025$ мм $F_{y\text{ сред}} = 31,24H$ и $F_{z\text{ сред}} = 31,91H$; а при $f_z = 0,03$ мм $F_{y\text{ сред}} = 35,46H$ и $F_{z\text{ сред}} = 35,72H$.

Влияние глубины резания. Для исследования влияния глубины резания на силу резания заготовка обрабатывалась сфероцилиндрической фрезой при глубинах 0,2 мм; 0,25 мм и 0,3 мм. На рисунке 8 представлены диаграммы, построенные на основе результатов испытаний, из которых следует, что при увеличении глубины резания, увеличиваются проекции силы резания F_x , F_y и F_z .

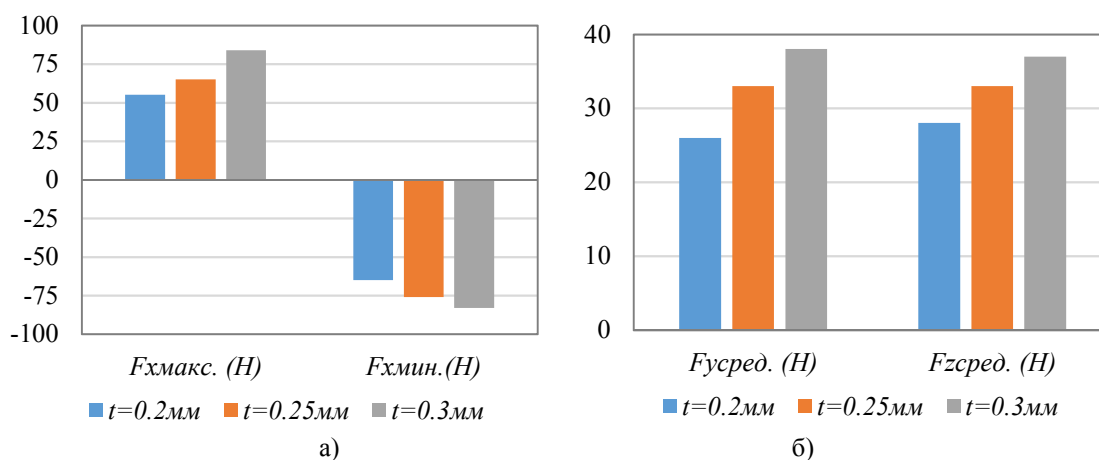


Рис. 8. Диаграммы проекций силы резания при чистовом фрезеровании при различных значениях глубины резания: а) $F_{x\text{ макс}}$ и $F_{x\text{ мин}}$ б) $F_{y\text{ сред}}$ и $F_{z\text{ сред}}$

Влияние частоты вращения шпинделя.

На рис. 9 представлены диаграммы составляющих сил резания в зависимости от частоты вращения шпинделя при значениях 5000, 6000 и 7000 об/мин.

Из диаграмм следует, что амплитуда синусоидальной линии, характеризующая проекцию

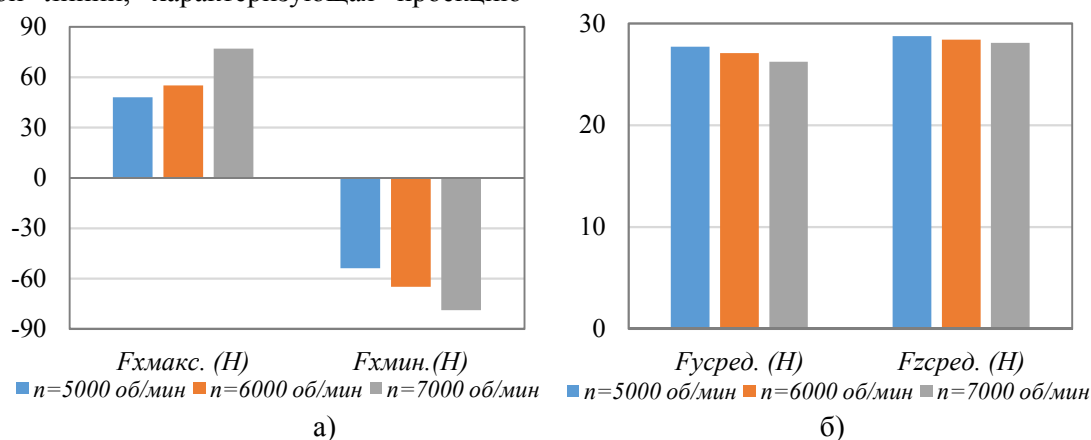


Рис. 9. Диаграммы проекций силы резания при чистовом фрезеровании при различных значениях скорости резания: а) $F_{x\text{ макс}}$ и $F_{x\text{ мин}}$ б) $F_{y\text{ сред}}$ и $F_{z\text{ сред}}$

Влияние диаметра фрезы и количества зубьев. При применении различных типовых инструментов с разным диаметром и количеством

зубьев для чистового фрезерования, изменяются эффективный диаметр инструмента, скорость резания и объем снимаемой стружки. На рис. 10

представлены результаты измерения составляющих силы резания при фрезеровании различными фрезами. При этом другие параметры, характеризующие условия обработки, оставались неизменными ($n = 6000 \text{ мин}^{-1}$, $f_z = 0,02 \text{ мм/зуб}$, $t = 0,2 \text{ мм}$, $\alpha = \beta = 0^\circ$).

Проанализировав полученные результаты, можно сделать заключение, что при использовании сфероцилиндрических фрез с одинаковым

количеством зубьев, при повышении диаметра инструмента увеличиваются значения проекций силы резания. При обработке заготовки четырехзубой сфероцилиндрической фрезой, при прочих одинаковых условиях, проекция силы резания F_x уменьшается, а F_y и F_z увеличиваются.

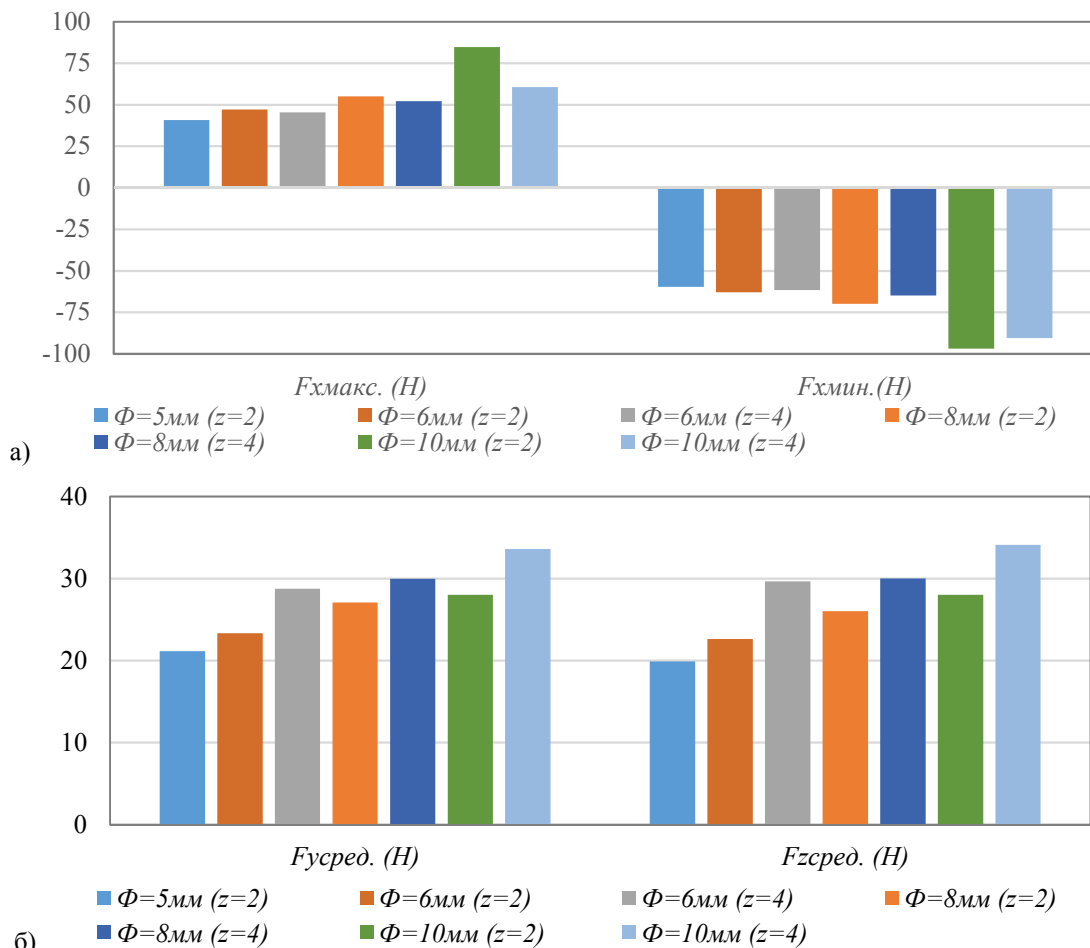


Рис. 10. Диаграммы проекций силы резания при чистовом фрезеровании при использовании различных фрез:
а) $F_{x \text{ макс}}$ и $F_{x \text{ мин}}$ б) $F_{y \text{ сред}}$ и $F_{z \text{ сред}}$ (z – количество зубьев)

Влияние ориентации инструмента на силы резания. С целью определения влияния положения инструмента по отношению к поверхности заготовки на силу резания в точке их касания была проведена серия экспериментов, режимы резания при выполнении которых (табл. 2) не изменялись.

Таблица 2

Режимы резания

Глубина резания, t	0,2 мм
Частота вращения шпинделя, n	6000 мин^{-1}
Подача на зуб, f_z	0,02 мм/зуб

При обработке сложной поверхности заготовки сфероцилиндрическими фрезами на трехкоординатных станках с ЧПУ ось инструмента по

отношению к общей нормали в точке касания обрабатываемой и инструментальной поверхностей в каждый момент времени оказывается под различными углами. При пятикоординатной обработке относительное положение инструмента для различных областей поверхности может регулироваться. При этом наблюдается изменение кинематики процесса. В зависимости от глубины резания и диаметра инструмента, при определенных углах наклона и опережения, режущий зуб фрезы за полный оборот инструмента, при контакте его с заготовкой и формировании строки, участвует во встречном и попутном фрезеровании, вследствие чего проекции силы резания F_y и F_z изменяют знак. Для оценки влияния ориентации инструмента на силы резания потребовалось

провести анализ всех диаграмм проекций сил резания. Для оценки направления изменения силы резания использовались максимальные и минимальные значения проекций силы резания $F_{x\max}$, $F_{x\min}$, $F_{y\max}$, $F_{y\min}$, $F_{z\max}$ и $F_{z\min}$, а для ее оценки – величина результирующей (1):

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (1)$$

Для определения силы F в программе DynoWare использован модуль «Манипуляция данными» (Data Manipulation), который позволяет производить оценку в режиме «online» или в режиме «offline» – при обработке данных после измерения (рис. 11).

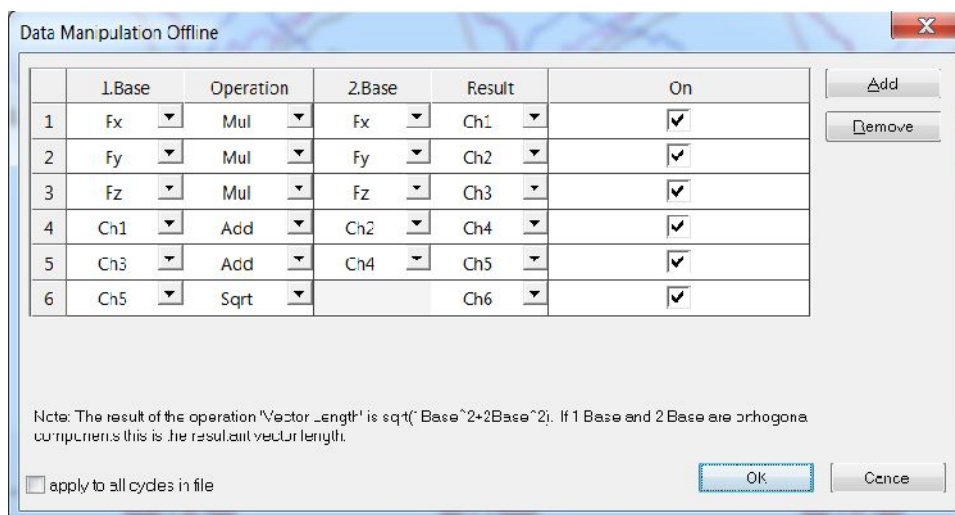


Рис. 11. Интерфейс модуля «Data Manipulation»

Каналы Ch1-Ch6 использовались как переменные для определения необходимых значений по следующим формулам (2):

$$\begin{aligned} Ch1 &= F_x^2 \\ Ch2 &= F_y^2 \\ Ch3 &= F_z^2 \\ Ch5 &= Ch1 + Ch2 + Ch3 = Ch4 + Ch3 = F_x^2 + F_y^2 + F_z^2 \\ Ch6 &= \sqrt{Ch5} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} = F \end{aligned} \quad (2)$$

На рис. 12 представлены кривые установившихся значений проекций силы резания в пределах времени t_1 и t_2 . В инструменте «Edit View»

выбрано отображение только Ch6, результат представлен на рис. 13.

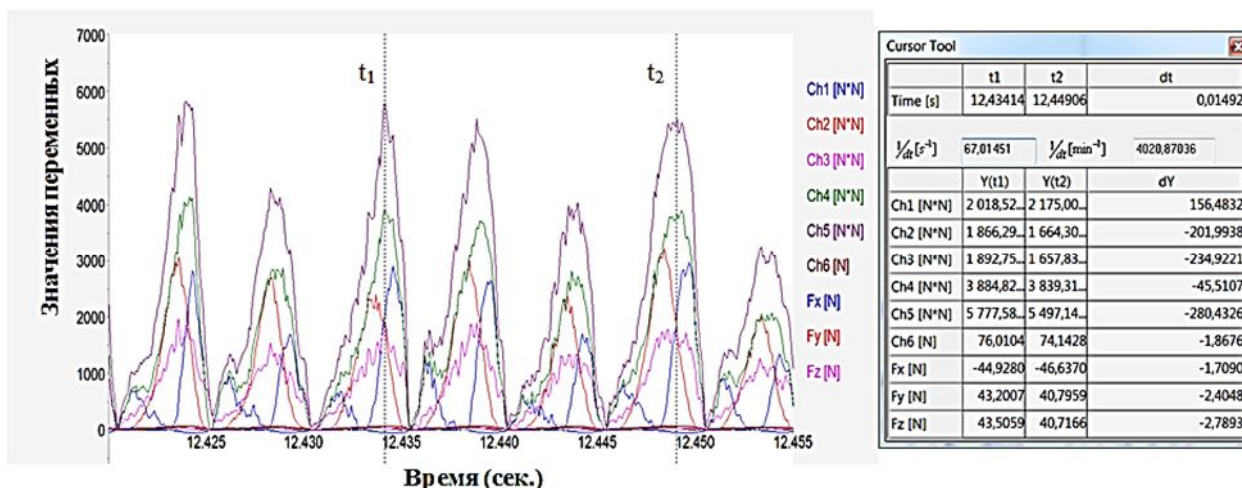
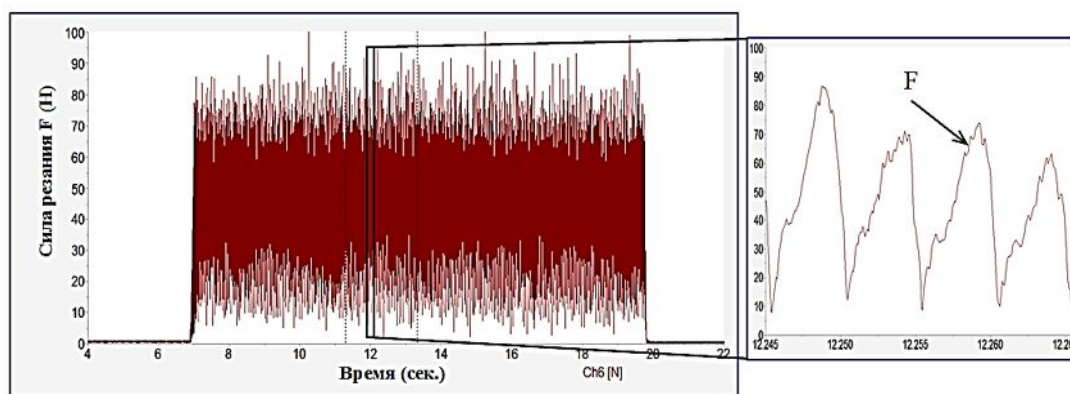


Рис. 12. График изменения значений проекций силы резания

Рис. 13. Зависимость суммарной силы резания F от времени

Величина результирующей силы резания в процессе чистового фрезерования оценивалась по двум параметрам $F_{\max}$ и $F_{\text{сред}}$. $F_{\max}$ характеризует максимальную нагрузку, действующую на инструмент и учитывается при расчете на прочность инструмента. $F_{\text{сред}}$ может быть принята во внимание при определении стойкости инструмента.

Влияние угла наклона инструмента на силы резания. Для анализа влияния угла наклона инструмента на силы резания проведен

ряд испытаний, при выполнении которых измерялись силы резания при различных значениях угла наклона в интервале $(-50...50^\circ)$. При $\alpha = \pm 18,2^\circ$ – углы, при которых, точка с нулевой скоростью резания выходит из зоны контакта с обрабатываемой поверхностью.

На рисунках 14 и 15 изображены диаграммы зависимости максимальных и минимальных значений проекций силы от угла наклона инструмента при обработке двухзубой и четырехзубой фрезами.

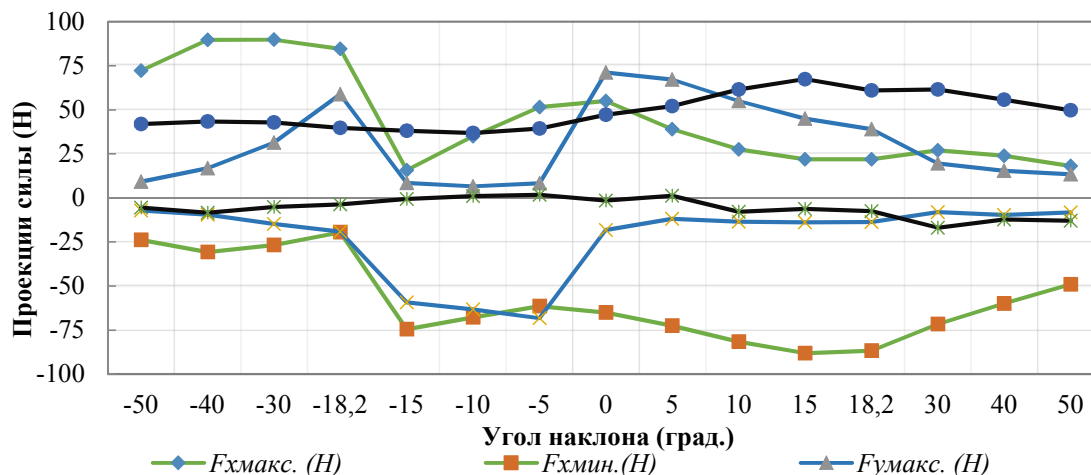


Рис. 14. Зависимость максимальных и минимальных значений проекций силы от угла наклона инструмента при фрезеровании двухзубой фрезой

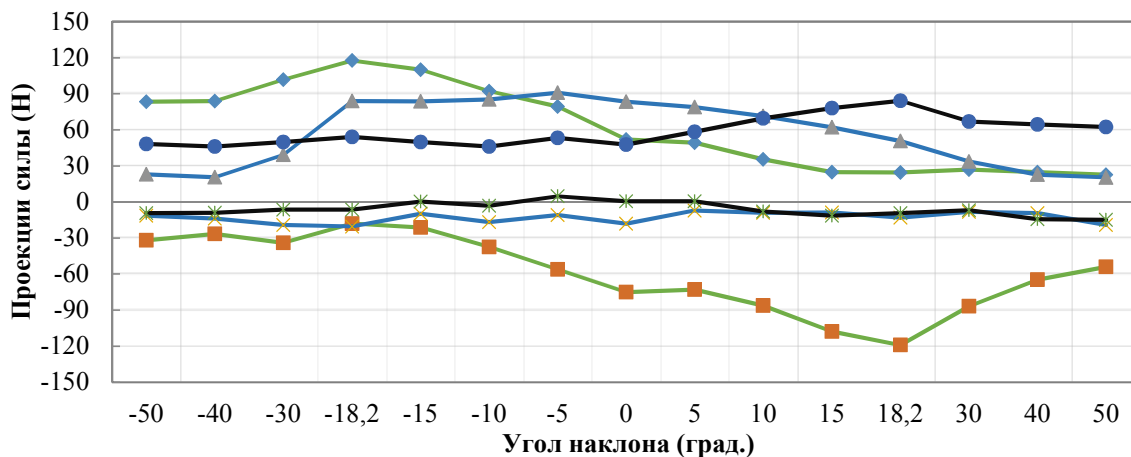


Рис. 15. Зависимость максимальных и минимальных значений проекций силы от угла наклона инструмента при фрезеровании четырехзубой фрезой

Зависимость максимальных и средних значений результирующей силы резания $F_{\max}$ и $F_{\text{сред}}$ представлена на рис. 16. Можно констатировать, что при постоянных режимах резания сила, действующая на четырехзубую фрезу больше, чем на двухзубую. Критическое значение нагрузки возникает при выходе точки инструментальной поверхности с нулевой скоростью резания из процесса обработки. Среднее значение силы резания достигает максимума при нулевом угле наклона инструмента.

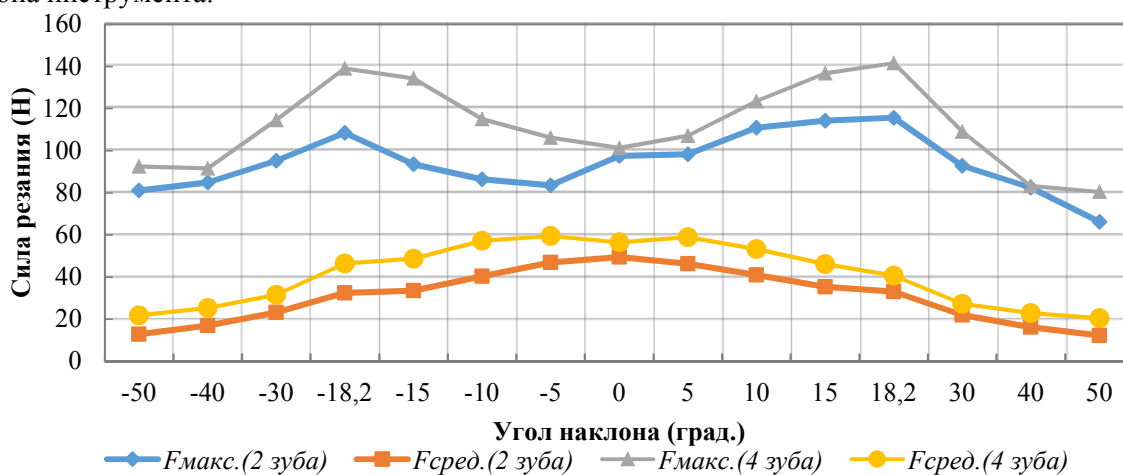


Рис. 16. Зависимость максимальных и средних значений силы резания от угла наклона

Влияние угла опережения инструмента на силы резания. Аналогично предыдущему оценивалось влияние угла опережения инструмента на силу резания. Инструмент при испытаниях ориентировался под углом в интервале:

-50...50°. Для инструмента, использовавшегося при проведении обработки на выбранных режимах (табл. 2), точка с нулевой скоростью резания находилась в зоне контакта с заготовкой при изменении угла опережения от 0 до 18,2°.

Необходимо отметить, что при положениях, когда точка инструмента с нулевой скоростью резания не контактирует с заготовкой, наблюдается перерыв в процессе образования стружки режущей кромкой фрезы, то есть в некоторые моменты времени сила резания приближается к нулю. При таких позициях инструмента разница между максимальным значением и средним значением силы резания значительна (см. рис. 16).

На рисунках 17, 18 и 19 представлены диаграммы изменения проекций силы и результирующей силы резания при различных значениях угла опережения инструмента.

Из диаграмм следует, что в интервале изменения угла опережения, при котором точка инструмента с нулевой скоростью резания еще находится в зоне обработки, сила резания значительно увеличивается и достигает максимума при 10°.

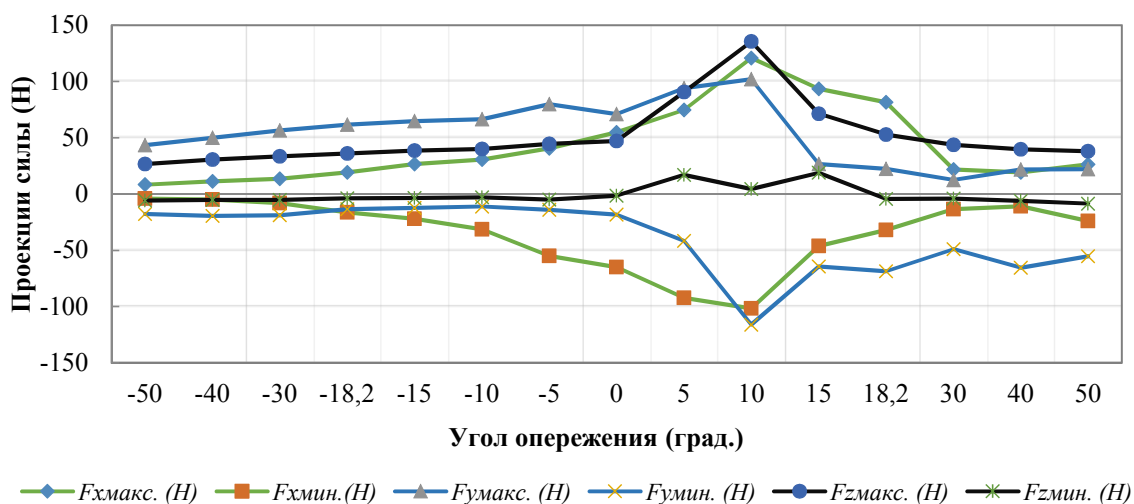


Рис. 17. Диаграммы максимальных и минимальных значений проекций силы резания при различных углах опережения инструмента при фрезеровании двухзубой фрезой

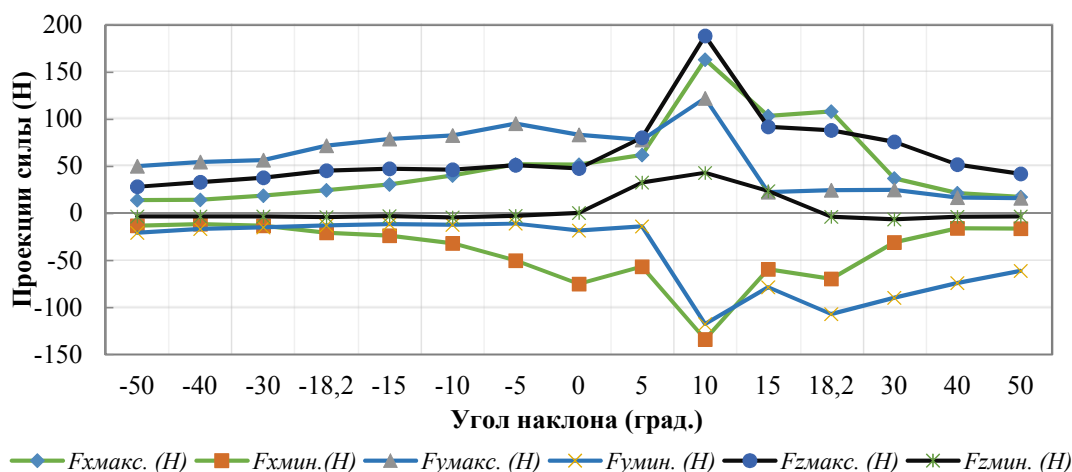


Рис. 18. Диаграммы максимальных и минимальных значений проекций силы резания при различных углах опережения инструмента при фрезеровании четырехзубой фрезой

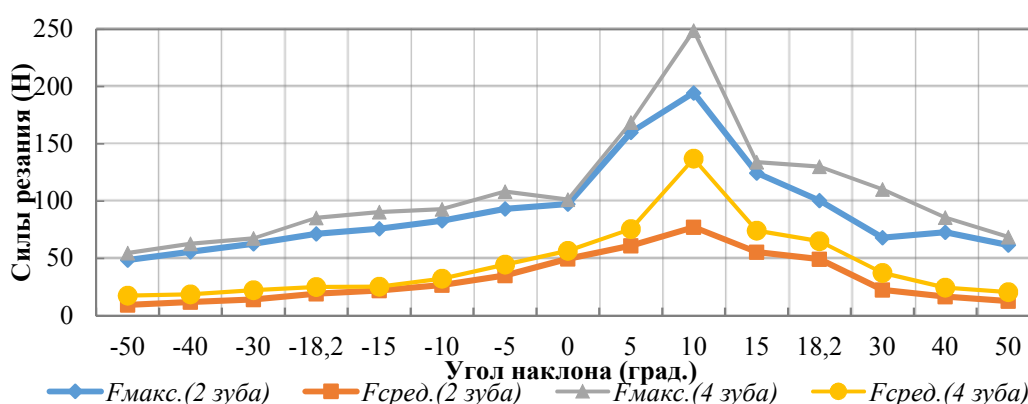


Рис. 19. Диаграммы максимальных и средних значений силы резания при различных углах опережения

Влияния комбинации двух углов на силы резания. Для двухфакторного анализа влияния ориентации инструмента на силы резания с изменением углов наклона и опережения проведены испытания, при которых углы α и β изменялись в интервалах $-30...30^\circ$. В этих пределах инструмент ориентировался относительно нормали к обрабатываемой поверхности. Для каждого типа фрез проведено 49 испытаний. При этом угол между осью инструмента и нормалью к поверхности в точке касания определялся по формуле:

$$\gamma = \arctg(\sqrt{tg^2 \alpha + tg^2 \beta}) \quad (3)$$

Результаты измерения силы резания при ориентации инструмента с двумя и четырьмя режущими зубьями представлены на рисунках 20, 21.

Экспериментальные исследования и графическое отображение их результатов позволяют сделать вывод, что сила резания значительно увеличивается, когда инструмент находится в таком положении, при котором точка инструмента с нулевой скоростью резания оказывается в зоне снятия стружки и участвует в процессе обработки. Для фрез, используемых в эксперименте, при

глубине резания 0,2 мм такие положения определяются интервалом изменения угла наклона относительно нормали к поверхности в точке касания инструмента с заготовкой $-10^\circ...10^\circ$ и угла опережения $0...20^\circ$. При угле наклона $\alpha = 0^\circ$ и угле опережения $\beta = 10^\circ$ значения силы резания могут достигать критических величин. Малые значения сила резания имеет при угле опережения $\beta = -30^\circ$.

Заключение. Результаты измерения и анализа силы резания при концевом фрезеровании заготовки сфероцилиндрическим инструментом позволили оценить влияние углов наклона и опережения инструмента на динамические характеристики процесса и сделать следующие выводы:

- условия обработки существенно влияют на силу резания. Нашло подтверждение теоретического заключения о том, что при увеличении подачи на зуб и глубины резания, а также с повышением частоты вращения шпинделя, увеличивается сила резания.
- при использовании сфероцилиндрических фрез различных диаметров с одинаковым количеством зубьев проекции силы резания растут с увеличением диаметра сферической части

инструмента. При обработке поверхности четырехзубой фрезой проекция силы резания F_x

уменьшается, а F_y и F_z - увеличиваются по сравнению с обработкой двухзубой фрезой.

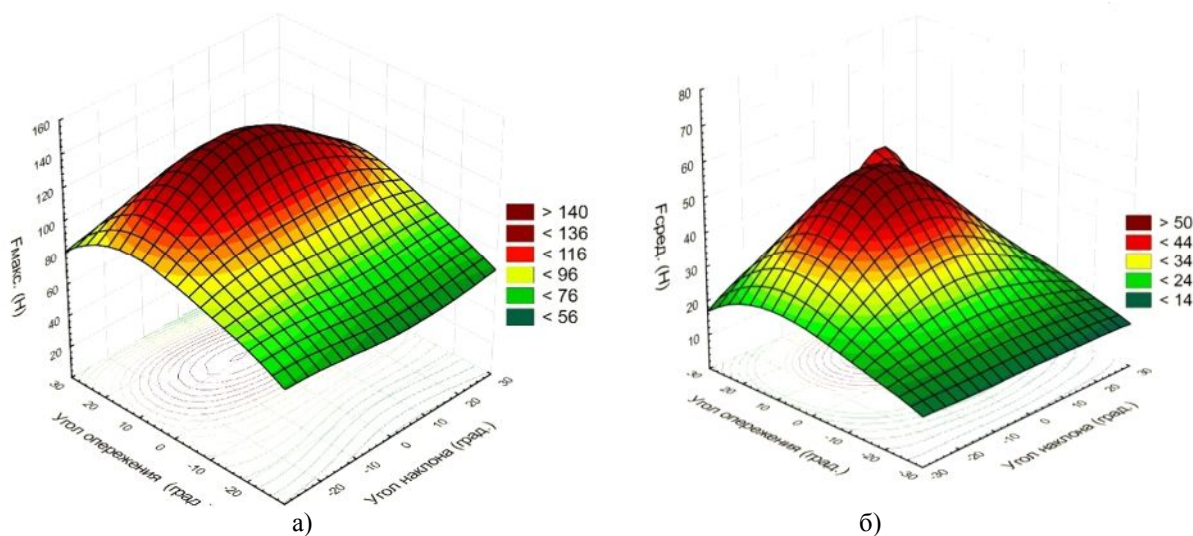


Рис. 20. Зависимость максимальных (а) и средних значений (б) силы резания от углов наклона и опережения инструмента при фрезеровании двухзубой фрезой

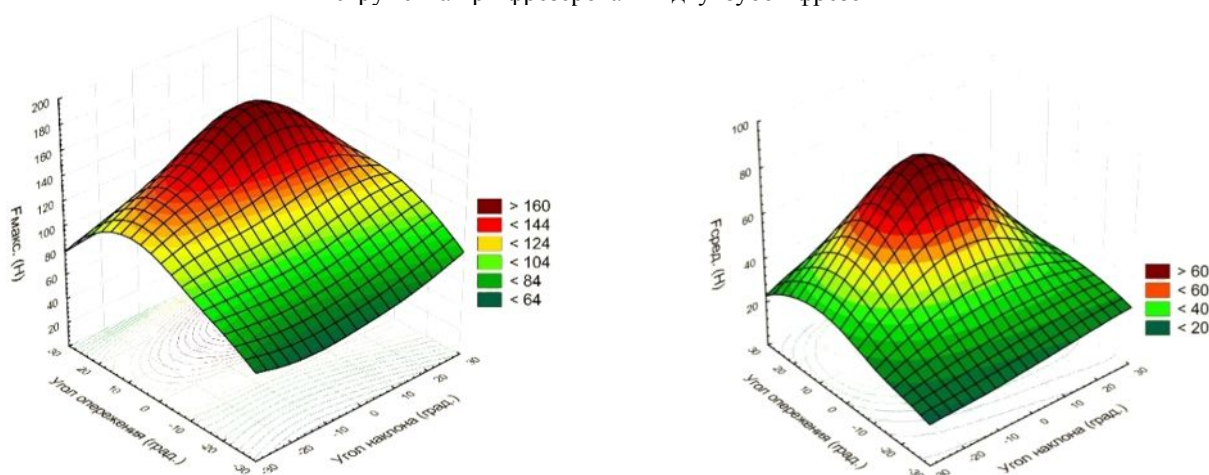


Рис. 21. Зависимость максимальных (а) и средних значений (б) силы резания от углов наклона и опережения инструмента при фрезеровании четырехзубой фрезой

- при нахождении точки сферической части инструмента с нулевой скоростью резания, в зоне удаления сегмента стружки сила резания значительно возрастает, так для сфероцилиндрической фрезы диаметром 8мм это происходит при изменении угла наклона α от -10 до 10° и угла опережения β от 0 до 20° .

Результаты оценки влияния ориентации сфероцилиндрических фрез на силу резания позволяют определить оптимальные углы позиционирования инструмента при фрезеровании поверхностей на пятикоординатных станках с ЧПУ, обеспечить его устойчивую работу и высокое качество получаемой поверхности, а также добиться повышения производительности в виде повышения минутного объема снимаемой стружки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абдразаков Ф.К., Поваров А.В. Вульф, А.М. Резание металлов. Л.: Машиностроение. 1973. 496 с.
2. Wojciechowski S., Twardowski P., Pelic M. Cutting forces and vibrations during ball end milling of inclined surfaces // Procedia CIRP. 2014. № 14. Pp. 113–118.
3. Moufki A., Devillez A., Dudzinski D., Molinari A. Thermomechanical modelling of oblique cutting and experimental validation // Int. J. Mach. Tools Manuf. 2004. № 44. Pp. 971–989.
4. Shatla M., Altan T. Analytical modeling of drilling and ball end milling // Journal of Materials Processing Technology. 2000. № 98(1). Pp. 125–133.
5. Budak E., Altintas Y., Armarego E. J. A. Prediction of milling force coefficients from orthogonal cutting data // Journal of Manufacturing Science and Engineering. 1996. № 118(2). Pp. 216–224.

6. Lee P., Altıntaş Y. Prediction of ball-end milling forces from orthogonal cutting data // International Journal of Machine Tools and Manufacture. 1996. № 36(9). Pp. 1059–1072.

7. Yang M., Park H. The prediction of cutting force in ball-end milling // International Journal of Machine Tools and Manufacture. 1991. № 31(1). Pp. 45–54.

8. Subrahmanyam K.V.R., San W.Y., Soon H.G., Sheng H. Cutting force prediction for ball nose milling of inclined surface // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Vol. 48. Iss. 1-4. Pp. 23–32

9. Parihar V., Saloda M.A., Nandwana B.P., Khidiya M. S. Effects of cutting parameters on cutting forces: An experimental study and numerical modeling of turning operation by finite element analysis // Journal of Environmental Science, Computer Science and Engineering & Technology. 2015. Vol. 4. № 4. Pp. 532–544.

10. Jin X., Altintas Y. Prediction of micro-milling forces with finite element method // Journal of Materials Processing Technology. 2012. № 212(3). Pp. 542–552.

11. Mohammadpour M., Razfar M. R., Jalili Safar R. Numerical investigating the effect of machining parameters on residual stresses in orthogonal cutting // Simulation Modelling Practice and Theory. 2010. № 18(3). Pp. 378–389.

12. Shams A., Mashayekhi M. Improvement of orthogonal cutting simulation with a nonlocal damage model // International Journal of Mechanical Sciences. 2012. № 61(1). Pp. 88–96.

13. Пономарев Б.Б., Нгуен III.Х. Моделирование и анализ влияния условий обработки на силы резания при концевом фрезеровании // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2018. Т. 59. № 3. С. 8–16.

14. Пономарев Б.Б., Нгуен Ши Хьен. Влияние ориентации инструмента на силы резания при концевом фрезеровании // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2019. Т. 708. № 3. С. 11–20.

15. Руководство по эксплуатации - Программное обеспечение DYNOWARE.

16. Утенков В.М., Быков П.А. Возможности использования динамометра Kistler для испытания металлорежущих станков // Инженерный Вестник. 2012. № 10. С. 1–9.

Информация об авторах

Пономарев Борис Борисович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология и оборудование машиностроительных производств». E-mail: pusw@istu.edu. Иркутский национальный исследовательский технический университет. Россия, 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Нгуен Ши Хьен, аспирант кафедры «Технология и оборудование машиностроительных производств». E-mail: syhiendk35@gmail.com. Иркутский национальный исследовательский технический университет. Россия, 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Поступила в мае 2019 г.

© Пономарев Б.Б., Нгуен Ши Хьен, 2019

¹**Ponomarev B.B., ^{1,*}Nguyen Sy Hien**
¹Irkutsk National Research Technical University
 Russia, 664074, Irkutsk, st. Lermontova, 83.
^{*}E-mail: syhiendk35@gmail.com

DYNAMICS OF FIVE-AXIS END MILLING PROCESS

Abstract. The article presents the experimental results of the influences of machining conditions and tool orientation on cutting forces during the end milling of free-form surfaces. A series of experiments are carried out on the machining of steel 3 blanks on a five-axis milling machine model HSC 75 linear using 2-flute and 4-flute ball end mills from MITSUBISHI with diameters from 5 mm to 10 mm. The dependency diagrams and graphs of cutting forces and their projections on cutting time are given at different spindle speeds, feeds per tooth, depths of cut, tilt angles and lead angle when using different ball end mills. Based on the results of the analysis of experimental data, the theoretical conclusion about the increase in cutting forces with increasing feed per tooth, cutting depth and spindle speed in relation to the ball end milling process is confirmed. The critical tool positions with respect to the surface, at which cutting forces have maximum values, are revealed. The obtained results allow developing recommendations for the choice of the tool position during end milling of free-form surfaces to reduce loads on the tool.

Keywords: five-axis end milling, free-form surfaces, cutting forces, ball end mills, tool orientation, machining conditions.

REFERENCES

1. Vul'f A.M. Metal cutting [Rezaniye metallov]. Leningrad, Mashinostroyeniye publ., 1973. 496p. (rus)
2. Wojciechowski S., Twardowski P., Pelic M. Cutting forces and vibrations during ball end milling of inclined surfaces. Procedia CIRP. 2014. No. 14. Pp. 113–118.
3. Moufki A., Devillez A., Dudzinski D., Molinari A. Thermomechanical modelling of oblique cutting and experimental validation. Int. J. Mach. Tools Manuf. 2004. No. 44. Pp. 971–989.
4. Shatla M., Altan T. Analytical modeling of drilling and ball end milling. Journal of Materials Processing Technology. 2000. No. 98(1). Pp. 125–133.
5. Budak E., Altintaş Y., Armarego E.J. A. Prediction of milling force coefficients from orthogonal cutting data. Journal of Manufacturing Science and Engineering. 1996. No. 118(2). Pp. 216–224.
6. Lee P., Altintaş Y. Prediction of ball-end milling forces from orthogonal cutting data. International Journal of Machine Tools and Manufacture. 1996. No. 36(9). Pp. 1059–1072.
7. Yang M., Park H. The prediction of cutting force in ball-end milling. International Journal of Machine Tools and Manufacture. 1991. No. 31(1). Pp. 45–54.
8. Subrahmanyam K.V.R., San W.Y., Soon H.G., Sheng H. Cutting force prediction for ball nose milling of inclined surface // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Vol. 48. Iss. 1-4. Pp. 23–32
9. Nandwana B.P., Khidiya M. S. Effects of cutting parameters on cutting forces: An experimental study and numerical modeling of turning operation by finite element analysis. Journal of Environmental Science, Computer Science and Engineering & Technology. 2015. Vol. 4. No. 4. Pp. 532–544.
10. Jin X., Altintas Y. Prediction of micro-milling forces with finite element method. Journal of Materials Processing Technology. 2012. No. 212(3). Pp. 542–552.
11. Mohammadpour M., Razfar M. R., Jalili Safar R. Numerical investigating the effect of machining parameters on residual stresses in orthogonal cutting. Simulation Modelling Practice and Theory. 2010. No. 18(3). Pp. 378–389.
12. Shams A., Mashayekhi M. Improvement of orthogonal cutting simulation with a nonlocal damage model. International Journal of Mechanical Sciences. 2012. No. 61(1). Pp. 88–96.
13. Ponomarev B.B., Nguyen S.H. Modeling and analysis of influence of process conditions on cutting forces during end milling [Modelirovaniye i analiz vliyaniya usloviy obrabotki na sily rezaniya pri kontsevom frezerovanii]. Modern technologies, system analysis, modeling. 2018. No. 3. Pp. 8–16. (rus)
14. Ponomarev B.B., Nguyen S.H. The influence of tool orientation on cutting forces during end milling [Vliyaniye oriyentatsii instrumenta na sily rezaniya pri kontsevom frezerovanii]. Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building. 2019. No. 3. Pp. 11–20. (rus)
15. Instruction Manual - DYNOWARE Software [Rukovodstvo po ekspluatatsii - Programnoye obespecheniye DYNOWARE]. (rus)
16. Utenkov V.M., Bykov P.A. Possibilities of using a dynamometer Kistler for testing metal-cutting machines [Vozmozhnosti ispol'zovaniya dinamometra Kistler dlya ispytaniya metallovezhushchikh stankov]. Engineering Herald. 2012. No. 10. Pp. 1–9. (rus)

Information about the authors

Ponomarev Boris Borisovich. DSc (Eng.), Professor. E-mail: pusw@istu.edu. Irkutsk National Research Technical University. Russia, 664074, Irkutsk, Lermontov St., Bldg. 83.

Nguyen Sy Hien. Postgraduate student. E-mail: syhiendk35@gmail.com. Irkutsk National Research Technical University. Russia, 664074, Irkutsk, Lermontov St., Bldg. 83.

Received in May 2019

Для цитирования:

Пономарев Б.Б., Нгуен Ши Хьен. Исследования динамики процесса пятикоординатного концевой фрезерования // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 7. С. 108–120. DOI: 10.34031/article_5d35d0b677dc74.96046396

For citation:

Ponomarev B.B., Nguyen Sy Hien. Dynamics of five-axis end milling process. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 7. Pp. 108–120. DOI: 10.34031/article_5d35d0b677dc74.96046396

DOI: 10.34031/article_5d35d0b6c4cf71.39272431

^{1,*}Домнина К.Л., ²Pivarčiová E., ¹Репко В.Н., ¹Сотникова М.В.¹Воткинский филиал Ижевского государственного технического университета им. М.Т. Калашникова

Россия, 427430, Удмуртская Республика, г. Воткинск, ул. П.И. Шувалова, д. 1

²Technical University in Zvolen, Department of Manufacturing and Automation Technology,
Faculty of Environmental and Manufacturing Technology
Slovakia, 960 53, Zvolen, Študentská 26

*E-mail: domnina@vfistu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ПЕНОБЕТОНЕ, АРМИРОВАННОМ ПОЛИЭТИЛЕНТЕФТАЛАТНЫМ ВОЛОКНОМ (ПЭТФ-ВОЛОКНОМ)

Аннотация. В статье проводится анализ температурных полей над образцами пенобетона, армированными ПЭТФ-волокнами, который разработан в Воткинском филиале Ижевского государственного технического университета им. М.Т. Калашникова. Эффективность армирования ПЭТФ-волокнами в области улучшения прочностных свойств уже была доказана, но до сих пор недостаточно изучено влияние армирования ПЭТФ-волокнами на теплофизические свойства пенобетонов. В лабораториях Технического университета г. Зволень, Словакия (TUZVO) мы провели анализ теплопередачи с помощью естественной конвекции путем нагрева армированных образцов пенобетона. Был использован метод голографической интерферометрии, позволяющий визуализировать температурные поля в режиме реального времени. Температурные поля, возникающие над поверхностью образцов, отображались и регистрировались посредством интерферометра Маха-Цендера методом «живой границы» на протяжении всей длины интерференционных полос. Предложена методика по расчету параметров теплообмена по аналогии с нагревом плоской плиты. Был проведен качественный и количественный анализ голографических интерферограмм температурного поля; рассчитаны локальные параметры теплообмена: коэффициенты теплоотдачи α и теплопроводности λ . Установлено, что российские образцы пенобетона, армированные ПЭТФ-волокном, обладают более высокой теплостойкостью и лучшей изоляцией по сравнению с зарубежными аналогами.

Ключевые слова: голографическая интерферометрия, интерферометр Маха-Цендера, теплообмен, пенобетон, полиэтилентерефталатное волокно (ПЭТФ-волокно).

Введение. Проблема энергосбережения в строительстве вытекает из необходимости развития направления по созданию и производству эффективных недорогих материалов с высокими теплофизическими и прочностными характеристиками. В числе перспективных материалов такого вида находятся ячеистый пено- и газобетон. Преимущество при организации производства ячеистого бетона в России, в частности, на региональном уровне, отдается неавтоклавному пенобетону (плотность 600–800 кг/м³) ввиду более низких капитальных вложений, а также более простой технологии изготовления [1]. Помимо этого пенобетон способен решить существующие задачи в области теплоэнергетики и теплотехники: создание одновременно теплоизоляционного и прочного конструкционного материала.

Материалы. Для экспериментальных исследований были использованы образцы конструкционно-теплоизоляционного неавтоклавного пенобетона плотностью 600 кг/м³, изготовленные в Воткинском филиале Ижевского государственного технического университета по классической технологии. В качестве сырья применялись портландцемент нормальнотвердеющий ЦЕМ I 42,5Н

ОАО «Сухоложскцемент» песок природный карьерный ООО «Волковский карьер» г. Чайковский, вода, пенообразователь Foamix C ООО «М-Альянс» г. Москва и армирующее ПЭТФ-волокно ООО «ПЭТ» г. Чайковский.

Эффективность армирования ПЭТФ-волокнами в области улучшения прочностных свойств уже была доказана [2, 3]. Но до сих пор недостаточно изучено влияние армирования ПЭТФ-волокнами на теплофизические свойства пенобетонов.

Для конструкционно-теплоизоляционных пенобетонов одним из основных показателей качества (наряду с прочностью, морозостойкостью, трещиностойкостью, паропроницаемостью и т.д.) является теплопроводность, оцениваемая коэффициентом теплопроводности λ , Вт/м·К, и коэффициентом теплоотдачи α , Вт/(м²·К). Экспериментальные исследования проводились в лабораториях Технического университета г. Зволень, Словакия (TUZVO).

Методика. Методы голографической интерферометрии широко используются для измерения и визуализации параметров изменений объектов при различных внешних воздействиях [4–6]. Они основаны на принципе сравнения двух

волновых фронтов, причем один из них или оба записывают и восстанавливают голографическим методом.

Голографический интерферометр Маха-Цендера является прибором с широкими возможностями настройки, который используется в том

числе для исследования температурных полей. Типичный оптический набор для голографической интерферометрии устройством Маха-Цендера приведен на рис. 1.

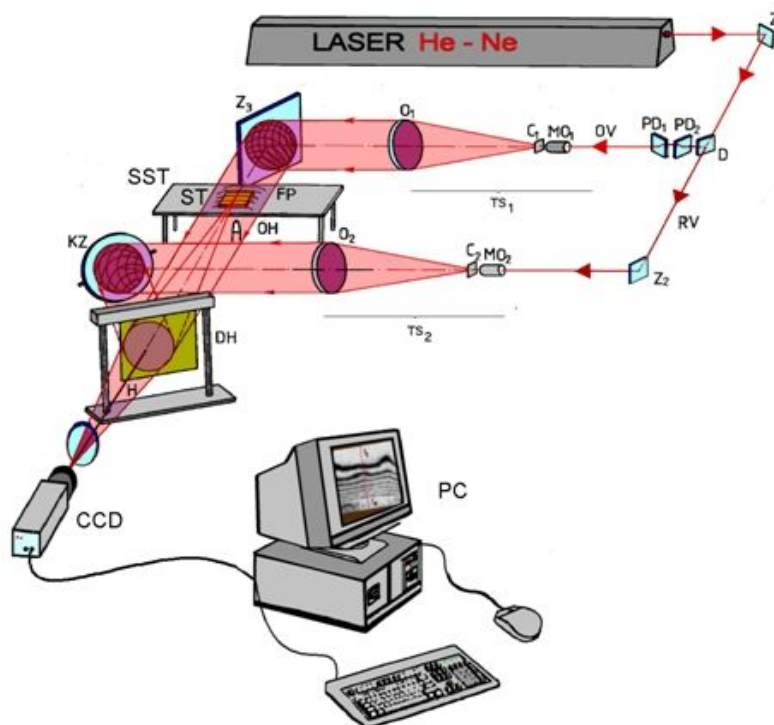


Рис. 1. Схема голографического переменного одноволнового интерферометра Маха-Цендера:

OV – линия объекта; RV – опорная линия; D – разделитель; H – голографическая плита; DH – держатель голографической плиты; KZ – зеркало в карданной подвеске; O₁, O₂ – объективы; Z₁, Z₂, Z₃ – зеркала; C₁, C₂ – перфорированные жалюзи; FP – фазовый объект (начальное температурное поле над объектом испытания); MO₁, MO₂ – объективы микроскопических объектов; PD₁, PD₂ – планшеты; ST – объект испытания; TS₁, TS₂ – телескопические комплекты; OH – источник нагрева; SST – держатель для захвата объекта испытания; CCD – камера; ПК – компьютер с аппаратным и программным обеспечением

После отражения от зеркала лазерный луч (Z₁) разбивается на разделительной плите (D) на два объема – объектный и эталонный. Часть пучка распределяется (D), передается, и свет распространяется в его исходном направлении. Посредством дополнительных зеркал (Z₂, Z₃), а также зеркала, расположенного в карданной подвеске (KZ), пучки света направляются в место расположения голографической плиты (DH). Для записи более обширных полей лучи должны быть усилены с помощью телескопических комплектов (TS₁, TS₂).

Объем лучей (OV), передающих значение температурного поля (FP) над испытуемым твердым телом (ST), попадает на голографическую плиту (H), закрепленную в держателе (DH). Другой объем параллельных лучей (опорная линия RV) падает на зеркало, размещенное в карданной подвеске.

Поворачивая зеркало (KZ) вокруг двух независимых друг от друга осей, можно настроить ограниченную или бесконечную ширину полосы в контрольной области за голограммой.

Голограмма получается при одновременном экспонировании голографической плиты двумя световыми потоками при однородном значении коэффициента преломления в измеряемой области, т.е. без входа в фазовый объект.

После фотохимической обработки голографической плиты можно восстановить исходный размер объекта, который в режиме реального времени интерферируется с реальным объемом объекта, деформированного оптическими неоднородностями, т.е. при сбое в любом месте с изменением показателя преломления света, например, при изменении плотности воздуха из-за изменения температуры, изменяются и локальные значения оптического пути света. Любое измене-

ние значения коэффициента преломления искажает реальную объектную волну и проявляется в виде появления интерференционных полос.

В качестве источника голографической интерферометрии использовался гелий-неоновый лазер с длиной волны $\lambda = 0,6328 \cdot 10^{-6}$ м.

В эксперименте использовался метод «живой границы» или метод реального времени «Infinite-Fringe». Данный метод позволяет наблюдать одновременно за изменениями коэффициента интерференции и изменениями фазовой неоднородности в реальном времени.

Анализ голографических интерферограмм

Функциональная зависимость температуры от величин состояния окружающей среды, длины модели, длины световой волны и количества темных полос от положения неоднородной области определяется в соответствии с [7] по формуле:

$$T(x, y) = \frac{T_{\infty}}{1 - 0,805 \cdot \frac{T_{\infty}}{l \cdot p_{\infty}} \cdot \left(s - \frac{1}{2}\right)}, \quad (1)$$

где $T(x, y)$ – расположение температур, температура в соответствующем интерференционном порядке; T_{∞} – температура воздуха в контрольной области; p_{∞} – давление в данной области; s – интерференционный порядок; λ – длина световой волны; l – длина модели.

Воздух в контрольной области с температурой T_{∞} взаимодействует с поверхностью модели с температурой T_x в положении x , что приводит к локальному теплообмену между поверхностью и воздухом.

Значение локального (местного) коэффициента теплоотдачи α_x зависит от многих факторов, например, от типа жидкости, скорости потока, формы поверхности, положения наблюдаемой области или разницы температур поверхности и воздуха [8]. Значение локального коэффициента теплоотдачи можно рассчитать по формуле [9]:

$$\alpha_x = -\lambda_v \left(\frac{dT}{dy} \right)_x \frac{1}{T_x - T_{\infty}}, \quad (2)$$

где λ – коэффициент теплопроводности (определяется температурой поверхности); T_x – температура поверхности модели в положении x .

Рассмотрим нагрев горизонтальной плоской плиты: нагрев происходит снизу, температура нижней нагреваемой поверхности t_1 , верхней поверхности – t_2 . Согласно основному закону теплопроводности – закону Фурье, плотность теплового потока q равна [10]:

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx}. \quad (3)$$

Для плотности стабилизированного теплообмена q через плиту шириной d следует:

$$q = \lambda \frac{t_1 - t_2}{d}. \quad (4)$$

Если температура газа (или жидкости) над плитой соответствует t_{∞} , то согласно закону Ньютона-Рихмана о плотности потока тепла [11]:

$$q = \alpha (t_2 - t_{\infty}), \quad (5)$$

где α – коэффициент теплоотдачи.

Из условия равенства плотности тепловых потоков через плиту следует:

$$\lambda \frac{t_1 - t_2}{d} = \alpha (t_2 - t_{\infty}). \quad (6)$$

Из уравнения (6) можно рассчитать неизвестный коэффициент теплопроводности плиты:

$$\lambda = \alpha \cdot d \cdot \frac{t_2 - t_{\infty}}{t_1 - t_2}. \quad (7)$$

Экспериментальные исследования теплообмена

Для измерения теплопередачи использовались экспериментальные образцы из пенобетона, армированного ПЭТФ-волокном, размерами $40 \times 40 \times 15$ мм. В качестве нагревателей использовались два электрических щитовых нагревательных элемента общей входной мощностью 300 Вт с возможностью ручного регулирования тепловой мощности в пределах 15–100 %.

Голографические интерферограммы температурного поля над нагретым экспериментальными образцами регистрировались при температуре окружающей среды $23,5^{\circ}\text{C}$ ($296,65\text{ K}$) и давлении 98100 Па .

Голограммы записывались интерферометром Маха-Цендера на неограниченное число интерференционных полос в режиме реального времени. В ходе экспериментов мы наблюдали расположение температурного поля над образцами, отражающего все три вида теплообмена (теплопроводность, излучение и конвекцию), а также определяли теплофизические свойства образцов.

Голографические интерферограммы, полученные в ходе эксперимента, представлены на рис. 2.



Рис. 2. Голографические интерферогаммы температурных полей

Результатом интерферометрической визуализации температурных полей является изображения голографических интерферогамм, которые могут быть оценены как количественно, так и качественно.

При качественной оценке интерферогамм 2D температурных полей и установке интерферометра на произвольную ширину полос в контрольной области интерференционные полосы представляли собой пучки фазовых объектов с тем же значением показателя преломления, т.е. изотермы диапазонов температуры (пучки с определенной температурой). Если они находились близко друг к другу, это означало наличие большого термического градиента (значительное изменение температуры на небольшом участке). Полосы, расположенные дальше друг от друга, представляли собой участки с почти одинаковыми температурами.

На основе полученных голографических интерферогамм также проводился количественный анализ. Экспериментально температуры

были рассчитаны в соответствии с (1). Далее из интерферогамм были вычислены локальные коэффициенты теплоотдачи α_x в соответствии с (2) по температуре контактной поверхности, температуре и расстоянию между первыми полосами отсчета, расположенными над счетчиком. Коэффициенты теплоотдачи рассчитывались по сечениям на расстоянии 20, 22, 24 мм от левого края исследуемого образца.

В областях, где проходил поток воздуха (по конечной ширине образца он находился в середине), возникали специфические колоколообразные полосы, причем градиент температуры был наименьшим, а отдельные изотермы были более удалены друг от друга. В этих зонах конкретных колоколовидных полос оценивали коэффициент теплоотдачи α . На рисунке 3 показаны расчетные значения локального коэффициента теплоотдачи на расстоянии 20, 22 и 24 мм от края образца.

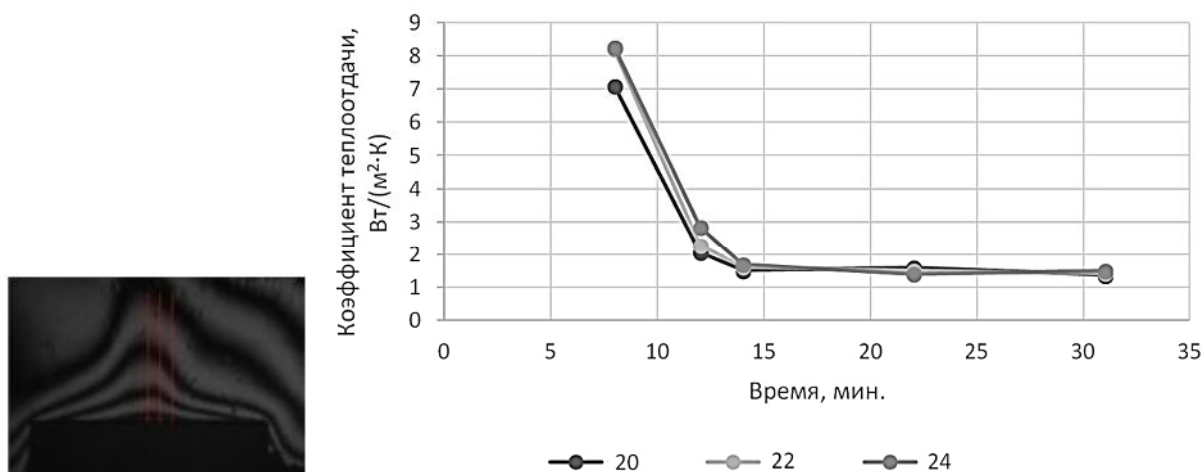


Рис. 3. Расчетные значения локального коэффициента теплоотдачи образцов армированного пенобетона

Чем плотнее полосы, тем выше коэффициент теплоотдачи α . В конкретных колоколовидных интерференционных полосах наблюдалась более низкая теплопроводность, а также более высокое сопротивление на больших расстояниях.

Для расчета коэффициента теплопроводности использовался локальный коэффициент теплоотдачи $\alpha=1,54$ Вт/(м²·К), полученный при расчете сечения интерференционных полос над серединой образца. С помощью выражения (7) мы

определили значение коэффициента теплопроводности пенобетонного армированного образца $\lambda = 0,025$ Вт/(м·К).

По сравнению с газобетонными блоками шведской фирмы YTONG ($\lambda=0,0294$ Вт/(м·К)), применяемыми в Словакии для малоэтажного строительства, российские образцы пенобетона, армированные ПЭФТ-волокном, показали более низкое значение теплопроводности, что означает более высокую теплостойкость и лучшую изоляцию.

Выводы. В статье мы провели анализ теплопередачи с помощью естественной конвекции путем нагрева образца пенобетона, армированного ПЭТФ-волокнами.

Температурные поля, возникающие над поверхностью образца, отображались и регистрировались посредством установки интерферометра Маха-Цендера на протяжении всей длины интерференционных полос в режиме реального времени. Количественный анализ изображений голографической интерферограммы позволил получить коэффициенты теплоотдачи α_x , необходимые для последующего расчета коэффициента теплопроводности λ для образцов с известной системой армирования с заданными размерами и свойствами арматуры и самих образцов. Этот подход можно использовать и для других типов армирования пенобетона.

Источник финансирования. Грантовый проект VEGA 1/0086/18 при поддержке Министерства образования, науки, исследований и спорта Словацкой Республики. Исследования температурных полей в комплексе профилированных поверхностей теплопередачи (VEGA 1/0086/18 grant project: Researching temperature fields in a set of shaped heat transfer surfaces).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пустыльник О.С. Проблемы и перспективы производства высококачественного пенобетона // Поколение будущего: взгляд молодых ученых : сборник научных статей 6 Международной молодежной научной конференции 09-10 ноября 2017 года. Том 3. Курск. 2017. С. 217–221.
2. Домнина К.Л., Сотникова М.В. Моделирование системы армирования мелкозернистых бетонов // Молодежь. Наука. Современность: IV Всерос. науч.-практ. конф. с международ. участием (10 апреля 2017 г.): сборник статей. Филиал ФГБОУ ВО «УдГУ» в г. Воткинске. Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет». 2017. С. 133–136.
3. Домнина К.Л., Сотникова М.В. К вопросу прочности на сжатие мелкозернистого фибробетона // Наука Удмуртии. 2018. № 2 (84). С. 29–33.
4. Островский Ю.И., Бутусов М.М., Островская Г.В. Голографическая интерферометрия. М.: Наука, 1977. 336 с.
5. Вест Ч. Голографическая интерферометрия. М.: Мир, 1982. 504 с.
6. Jones R., Wykes C. Holographic and Speckle Interferometry. Cambridge University Press. Cambridge, UK, 1989.
7. Černecký J., Pivarčiová E. Possibilities and Prospects of Holography. Izhevsk, Russia : State Technical University, 2007. ISBN 978-5-7526-0303-7.
8. Černecký J., Koniar J., Brodnianska Z. The Effect of Heat Transfer Area Roughness on Heat Transfer Enhancement by Forced Convection // Journal of Heat Transfer of the ASME journals. 2014. №136 (4).
9. Pavelek M., Janotková E., Štětina J. Vizualizační a optické měřicí metody (Visualisation and optical measurement methods). Brno: VUT (University of Technology in Brno), 2007.
10. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. Учебн. пособие для неэнергетических специальностей вузов. М.: Высшая школа, 1975. 496 с.
11. Новиков И.И., Воскресенский К.Д. Прикладная термодинамика и теплопередача. М.: Атомиздат, 1977. 352 с.

Информация об авторах

Домнина Ксения Леонидовна, старший преподаватель кафедры «Техническая механика». E-mail: domnina@vlistu.ru. Воткинский филиал Ижевского государственного технического университета им. М.Т. Калашникова. Россия, 427430, Удмуртская Республика, г. Воткинск, ул. П.И. Шувалова, д. 1.

Pivarčiová Elena, кандидат наук, доцент кафедры технологии производства и автоматизации факультета экологии и технологии производства. E-mail: pivarciova@tuzvo.sk. Технический университет в Зволене. Словакия, 960 53, Зволен, ул. Студенческая, д. 26.

Репко Валентин Николаевич, кандидат технических наук, профессор кафедры «Техническая механика». E-mail: olga.koalchenko@mail.ru. Воткинский филиал Ижевского государственного технического университета им. М.Т. Калашникова. Россия, 427430, Удмуртская Республика, г. Воткинск, ул. П.И. Шувалова, д. 1.

Сотникова Мария Вячеславовна, студент 4 курса направления «Строительство». Воткинский филиал Ижевского государственного технического университета им. М.Т. Калашникова. Россия, 427430, Удмуртская Республика, г. Воткинск, ул. П.И. Шувалова, д. 1.

Поступила в мае 2019 г.

© Домнина К.Л., Pivarčiová E., Репко В.Н., Сотникова М.В., 2019

^{1,*}**Domnina K.L.**, ²**Pivarčiová E.**, ¹**Repko V.N.**, ¹**Sotnikova M.V.**

¹Votkinsk branch of Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Russia, 427430, Udmurt Republic, Votkinsk, st. Shuvalova, 1

²Technical University in Zvolen, Department of Manufacturing and Automation Technology,

Faculty of Environmental and Manufacturing Technology

Slovakia, 960 53, Zvolen, Študentská 26

*E-mail: domnina@vfistu.ru

HEAT EXCHANGE IN FOAM CONCRETE REINFORCED BY POLYETHYLENE TEREPHTHALATE FIBER (PET FIBER)

Abstract. The article analyzes temperature fields over foam concrete samples reinforced by PET fibers. The samples are developed at the Votkinsk branch of Kalashnikov Izhevsk State Technical University. The effectiveness of reinforced PET fibers has already been proven, but so far, the effect of PET reinforcement on the thermophysical properties of foam concrete has not been well studied. In the laboratories of the Technical University in Zvolen, Slovakia (TUZVO), the heat transfer is analyzed using natural convection by heating reinforced foam concrete samples. The method of holographic interferometry is used, which allows to visualize temperature fields in real time. Temperature fields arising above the samples are displayed and recorded by a Mach-Zehnder interferometer using the «living boundary» method throughout the entire length of the interference fringes. A method for calculating the parameters of heat transfer by analogy with the heating of a flat plate has been proposed. Qualitative and quantitative analyzes of holographic interferograms of the temperature fields are carried out. The local heat transfer parameters are calculated: the heat transfer coefficient α and the heat conductivity coefficient λ . It has been established that the samples of foam concrete reinforced by PET fibers made in Russia have a higher heat resistance and better insulation than foreign analogues.

Keywords: holographic interferometry, Mach-Zehnder interferometer, heat transfer, foam concrete, polyethylene terephthalate fiber (PET fiber).

REFERENCES

1. Washer O.S. Problems and prospects for the production of high-quality foam concrete [*Problemy i perspektivy proizvodstva vysokokachestvennogo penobetona*]. Pokolenie budushchego: vzglyad molodyh uchenykh : sbornik nauchnykh statej 6 Mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchnoj konferencii 09-10 noyabrya 2017 goda. Tom 3. Kursk. 2017. Pp. 217–221. (rus)
2. Domnina K.L., Sotnikova M.V. Modeling the system of reinforcement of fine-grained concretes [*Modelirovanie sistemy armirovaniya melkozernistykh betonov*]. Molodezh'. Nauka. Sovremennost': IV Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunarod. uchastiem (10 aprelya 2017 g.): sbornik statej. Filial FGBOU VO «UdGU» v g. Votkinske. Izhevsk: Izdatel'skij centr «Udmurtskij universitet». 2017. Pp. 133–136. (rus)
3. Domnina K.L., Sotnikova M.V. On the issue of high compression of fine-grained fiber-reinforced concrete [*K voprosu prochnosti na szhatie melkozernistogo fibrobetona*]. Science of Udmurtia. 2018. No. 2 (84). Pp. 29–33. (rus)
4. Ostrovsky Yu.I., Butusov M.M., Ostrovskaya G.V. Holographic interferometry [*Golograficheskaya interferometriya*]. M.: Science, 1977. 336 p. (rus)
5. West Ch. Holographic interferometry [*Golograficheskaya interferometriya*]. Moscow: Mir, 1982. 504 p. (rus)
6. Jones R., Wykes C. Holographic and Speckle Interferometry. Cambridge University Press. Cambridge, UK, 1989.
7. Černecký J., Pivarčiová E. Possibilities and Prospects of Holography. Izhevsk, Russia: State Technical University, 2007. ISBN 978-5-7526-0303-7.
8. Černecký J., Koniar J., Brodnianska Z. The Effect of Heat Transfer Area Roughness on Heat Transfer Enhancement by Forced Convection. Journal of Heat Transfer of the ASME journals. 2014. No. 136 (4).
9. Pavelek M., Janotková E., Štětina J. Vizualizační a optické měřicí metody (Visualisation and optical measurement methods). Brno: VUT (University of Technology in Brno), 2007.
10. Nashchokin V.V. Technical thermodynamics and heat transfer [*Tekhnicheskaya termodinamika i teploperedacha*]. Uchebn. posobie dlya neenergeticheskikh special'nostej vuzov. M.: Vysshaya shkola, 1975. 496 p. (rus)
11. Novikov I.I., Resurrection K.D. Applied thermodynamics and heat transfer [*Prikladnaya termodinamika i teploperedacha*]. M.: Atomizdat. M.: Atomizdat, 1977. 352 p. (rus)

Information about the authors

Domnina, Kseniia L. Senior lecturer. E-mail: domnina@vfistu.ru. Votkinsk branch of Kalashnikov Izhevsk State Technical University. Russia, 427430, Udmurt Republic, Votkinsk, st. Shuvalova, 1.

Pivarčiová, Elena. PhD, Assistant professor. E-mail: pivarciova@tuzvo.sk. Technical University in Zvolen, Department of Manufacturing and Automation Technology, Faculty of Environmental and Manufacturing Technology. Slovakia, 960 53, Zvolen, Študentská 26.

Repko, Valentin N. PhD, Professor. Votkinsk branch of Kalashnikov Izhevsk State Technical University. Russia, 427430, Udmurt Republic, Votkinsk, st. Shuvalova, 1.

Sotnikova, Mariia V. Bachelor student. Votkinsk branch of Kalashnikov Izhevsk State Technical University. Russia, 427430, Udmurt Republic, Votkinsk, st. Shuvalova, 1.

*Received in May 2019***Для цитирования:**

Домнина К.Л., Pivarčiová E., Репко В.Н., Сотникова М.В. Исследование теплообмена в пенобетоне, армированном полиэтилентерфталатным волокном (пэтф-волокном) // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 7. С. 121–127. DOI: 10.34031/article_5d35d0b6c4cf71.39272431

For citation:

Domnina K.L., Pivarčiová E., Repko V.N., Sotnikova M.V. Heat exchange in foam concrete reinforced by polyethylene terephthalate fiber (pet fiber). Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 7. Pp. 121–127. DOI: 10.34031/article_5d35d0b6c4cf71.39272431

DOI: 10.34031/article_5d35d0b62dc823.22670125

^{1,*}Баранов Д.С., ¹Дуюн Т.А.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

*E-mail: den-3218@yandex.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ ЧИСТОВОМ И ПОЛУЧИСТОВОМ ТОЧЕНИИ

Аннотация. Представлена методика разработки искусственных нейронных сетей для прогнозирования шероховатости обрабатываемой поверхности при чистовом и получистовом точении. Принята архитектура сети с обратным распространением ошибки, имеющая входной, скрытый и выходной слои, сигмоидальную функцию активации для скрытого слоя и линейную – для выходного. Для формирования обучающей выборки использованы эмпирические выражения в виде степенных функций, обучение сетей проводилось по алгоритму Левенберга-Марквардта, имеющего быструю сходимость. В качестве входных переменных для нейросетевых моделей использованы технологические режимы (скорость и глубина резания, подача инструмента), геометрические параметры режущего инструмента (главный и вспомогательный углы в плане резца, радиус при вершине резца, передний угол), физико-механические свойства обрабатываемого материала, каждая обучающая выборка сформирована из тысячи комбинаций исходных данных. Разработаны отдельные сети, прогнозирующие шероховатость при чистовом и получистовом точении, а также комбинированная сеть, учитывающая оба вида обработки. Анализ точности работы сетей показал хорошие результаты, относительная погрешность вычислений не превышает 1 %. Предложенные нейросетевые модели могут быть использованы при технологической подготовке производства, а также в системах адаптивного управления процессом резания.

Ключевые слова: искусственные нейронные сети (ИНС), шероховатость поверхности, чистовое и получистовое точение.

Введение. Современное машиностроение в большей степени базируется на применении многокоординатных станков, обрабатывающих центров и другого высокотехнологического оборудования с числовым программным управлением. Одним из перспективных направлений повышения эффективности работы такого оборудования является адаптивное управление процессом механической обработки с целью достижения заданных значений качественных характеристик обрабатываемой поверхности на основе мониторинга параметров резания в реальном времени. Для решения такого класса задач возникает необходимость не только использования высокоточных датчиков контроля, но и обработка больших массивов информации для формирования цепей обратных связей и реализации управляющих воздействий. В этих случаях традиционные способы назначения режимов резания и прогнозирования качественных характеристик обработанной поверхности не могут быть использованы, так как управляющее воздействие должно формироваться с высоким быстродействием на основе реальных условий процесса. Применение искусственных нейронных сетей (ИНС) может стать приемлемым вариантом для решения таких задач, так как обусловлено способностью нейронных сетей к обучению на основе создания связей между входными и выходными данными. При

должной настройке сети такой подход дает возможность решать трудоемкие задачи с высоким быстродействием без использования сложного математического аппарата.

Разработка и использование ИНС для повышения эффективности процессов механической обработки приобретает все большую популярность среди отечественных и зарубежных ученых [1–10]. Проведем краткий обзор имеющихся разработок в данной области.

В своей работе [2] Шатагин Д.А. предложил автоматизированную систему на основе подходов искусственного интеллекта, позволяющую управлять динамической устойчивостью процесса резания в зависимости от условий обработки с использованием высокопроизводительных вычислений nVidia CUDA и облачных технологий. Показал возможность повышения эффективности механической обработки, за счет определения оптимальных условий резания на основе нейросетевого моделирования. Алтунин К.А. и Соколов М.В. [3] исследовали возможность прогнозирования шероховатости и износа инструмента при различных видах обработки с помощью ИНС, провели сравнительный анализ моделей ИНС и регресса. Модели ИНС обеспечивают лучшие возможности прогнозирования, что связано с возможностью ИНС моделировать более сложную нелинейность и взаимодействия,

чем линейные и показательные модели регресса. Хоанг В.Ч. в своей работе [4] предложил усовершенствованную ИНС вида многослойного персептрона для моделирования температуры резания, описал алгоритм ее обучения с оптимизацией весов скрытого и выходного слоев, сократив время обучения и величину ошибки.

J.F. Briceno, H. El-Mounayri, S. Mukhopadhyay [5] доказали преимущество применения радиально-базисной нейронной сети (RBF) при исследовании силовых характеристик фрезерования, используя в качестве входных данных подачу, частоту вращения шпинделя и глубину резания, получая на выходе – максимальное, среднее и минимальное значение силы резания. Yang H., Ni J. установили зависимость между режимами резания и параметрами процесса резания при высокоскоростной обработке [6]. На вход сети подаются значения скорости резания, машинного времени, величины подачи и давления СОЖ, на выходе формируются тангенциальная и осевая силы, шероховатость обработанной поверхности, фактическая потребляемая мощность электродвигателя станка, средний и максимальный износ по задней поверхности, износ по вершине режущей кромки. H-Y Kim и J-H Ahn решали задачу диагностики процессов механической обработки, а именно мониторинг процесса стружкоудаления при сверлении, оперируя данными фактической потребляемой мощности электродвигателя станка [7]. Kwak J.S., Ha M.K. применили нейросетевой подход для диагностики процесса шлифования и выявления температурных перенапряжений, зависящих от фактической потребляемой мощности электродвигателя и сигналов акустической эмиссии [8]. Bernandos P.G., Mosialos S., Vosniakos G.C. занимались вопросом прогнозирования величины

упругих отжиганий заготовки при точении [9]. Cus F., Zuperl U. использовали ИНС для оптимизации режимов резания при различных видах обработки [10].

Целью настоящей работы являлась разработка методики проектирования ИНС для возможности прогнозирования шероховатости обрабатываемой поверхности при различных видах точения.

Основная часть. В качестве основных математических выражений для определения шероховатости при чистовом и получистовом точении использованы известные эмпирические формулы степенного вида:

$$Ra = 0,85 \frac{t^{0,31} s^{0,58} \phi^{0,4} \phi_1^{0,4}}{v^{0,06} r^{0,65} HB^{0,05}}, \quad (1)$$

$$Ra = k_0 \frac{s^{k_1} (90^\circ + \gamma)^{k_2}}{r^{k_3} v^{k_4}}, \quad (2)$$

где v – скорость резания, м/мин, s – продольная подача, мм/об, t – глубина резания, мм, r – радиус при вершине резца, мм, ϕ , ϕ_1 и γ – величины главного, вспомогательного углов в плане и переднего угла, град, HB – твердость, k_0 , k_1 , k_2 , k_3 , k_4 – показатели степени для определения шероховатости поверхности.

В решении задач аппроксимации хорошо себя зарекомендовали ИНС с обратным распространением ошибки [11], поэтому была принята архитектура сети, представленная на рис. 1. Сеть состоит из входного, скрытого и выходного слоев, имеет сигмоидальную функцию активации для скрытого слоя и линейную – для выходного.

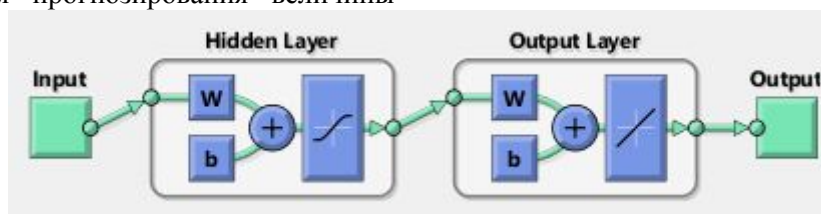


Рис. 1. Схема ИНС с обратным распространением ошибки

В соответствии с принятой архитектурой были разработаны следующие ИНС прогнозирования шероховатости обрабатываемой поверхности: для чистового точения согласно выражению (1), для получистового точения согласно выражению (2), а также комбинированная сеть, учитывающая условия как чистового, так и получистового точения. Архитектура сетей представлена на рис. 2, 3.

Нейронная сеть для условий чистового точения имеет семь нейронов на входном слое, один

скрытый слой с двадцатью восемью нейронами и один нейрон в выходном слое. Для получистового точения ИНС имеет пять нейронов на входном слое, один скрытый слой с двадцатью тремя нейронами и один нейрон в выходном слое. Количество входных нейронов сетей соответствует количеству исходных данных используемых выражений, количество нейронов скрытого слоя выбрано итерационным приближением для обеспечения требуемой точности работы сети.

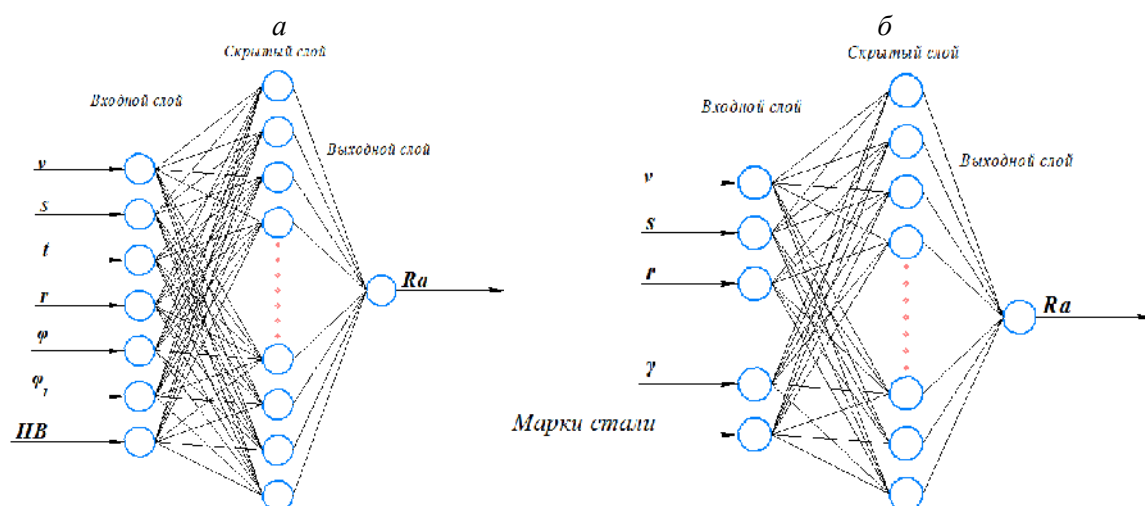


Рис. 2. Архитектура ИНС: а – чистовое точение, б – получистовое точение

Особенностью комбинированной сети, представленной на рис.3, является объединение исходных данных обоих математических выражений при формировании количества нейронов на входном слое. Принято 10 нейронов входного слоя с учетом одного нейрона, определяющего вид обработки, при этом оказалось достаточным 40 нейронов скрытого слоя для требуемой точности сети.

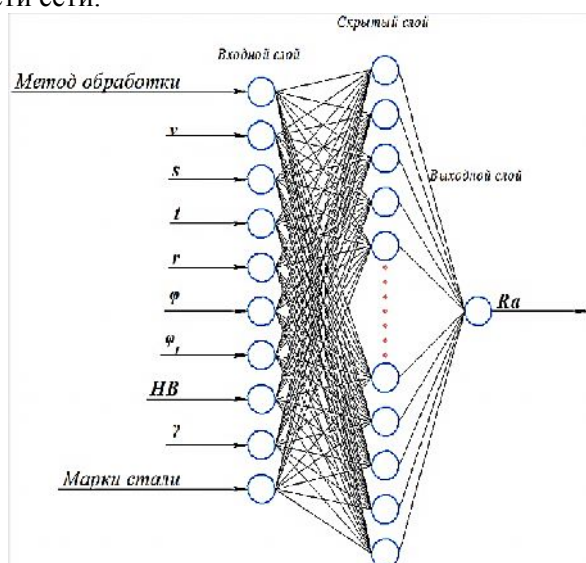


Рис. 3. Архитектура комбинированной сети

Для обучения ИНС применимы следующие методы: алгоритм Левенберга-Марквардта, Байесовская регуляция или метод масштабируемых сопряженных градиентов [11]. Для решения поставленной задачи использован алгоритм Левенберга-Марквардта ввиду быстрой его сходимости. Подготовка обучающей выборки заключалась в создании массивов входных и выходных данных в пределах интервалов варьирования переменных, соответствующих адекватности используемых выражений (табл. 1).

Таблица 1

Диапазоны значений входных данных для чистового и получистового точения

Параметр	Чистовое точение	Получистовое точение
v , м/мин	$50 \div 150$	$71 \div 282$
s , мм/об	$0,08 \div 0,18$	$0,05 \div 0,43$
r , мм	$0,5 \div 2$	$0,5 \div 2$
t , мм	$0,5 \div 1,5$	-
φ , градусы	$45 \div 75$	-
φ_1 , градусы	$25 \div 35$	-
HB	$140 \div 210$	-
γ , градусы	-	$-40 \div 4$
Марки стали	Среднеуглеродистые стали	Ст3, 20, 45, 70

Массив входных данных для чистового и получистового точения формировался из случайных значений переменных в заданном диапазоне, табл. 1. Третья выборка, представляет собой комбинацию «чистой» и «получистой», для ее создания добавлен входной нейрон, характеризующий метод обработки. В зависимости от метода обработки входные и выходные данные формируются согласно заданным диапазонам, а при отсутствии определенного параметра в данном виде обработки, он приравнивается к нулю. Фрагмент комбинированной выборки представлен в табл. 2. Общее количество комбинаций исходных данных для каждой выборки было сгенерировано в количестве 1000 вариантов.

Таблица 2

Фрагмент комбинированной выборки

Метод	v	s	r	t	φ	φ_1	HV	марка	γ	Ra
2	183	0,33	1,4	0	0	0	172	45	-10	0,64839
2	103	0,32	1,1	0	0	0	146	20	2	8,98135
1	89	0,08	1	1,2	54	26	176	0	0	2,22569
2	258	0,05	2	0	0	0	168	3	-22	0,17769
1	131	0,11	0,5	0,8	70	30	175	0	0	4,25357
2	214	0,27	1,3	0	0	0	169	3	-26	0,67384
1	132	0,1	1,6	0,9	58	34	168	0	0	1,91434
2	216	0,31	1,4	0	0	0	166	70	3	4,36725
1	96	0,17	1,4	0,7	51	34	184	0	0	2,53232

Из результатов обучения сетей можно сделать вывод, что для достижения приемлемой среднеквадратической ошибки не более 10^{-2} для различных исходных структур потребовалось 341-999 циклов (эпох) обучения. В процессе обучения сетей варьировалось количество нейронов скрытого слоя в зависимости от получаемой среднеквадратической ошибки с целью ее снижения до заданного уровня. Таким образом, полу-

чены следующие значения среднеквадратической ошибки: для чистового точения – $2,34 \cdot 10^{-4}$ при 28 нейронах скрытого слоя, для получистового точения – $2,46 \cdot 10^{-4}$ при 23 нейронах скрытого слоя и для комбинированной сети – $2,92 \cdot 10^{-4}$ при 40 нейронах скрытого слоя. На рис. 4–6 представлено графическое отображение результатов обучения ИНС прогнозирования шероховатости обрабатываемой поверхности при различных видах обработки.

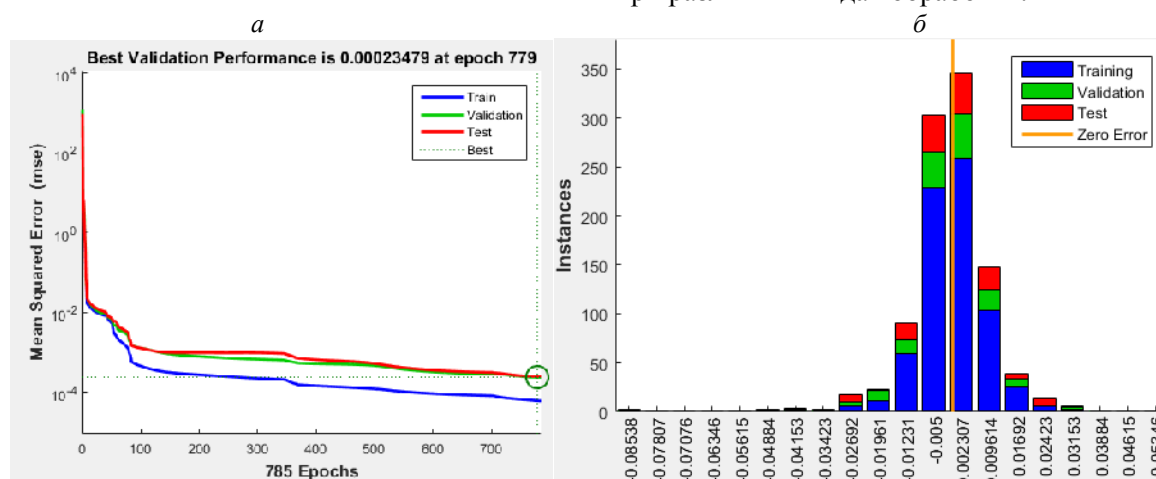


Рис. 4. Результаты работы ИНС для чистового точения: *a* – график обучения сети; *б* – гистограмма ошибки

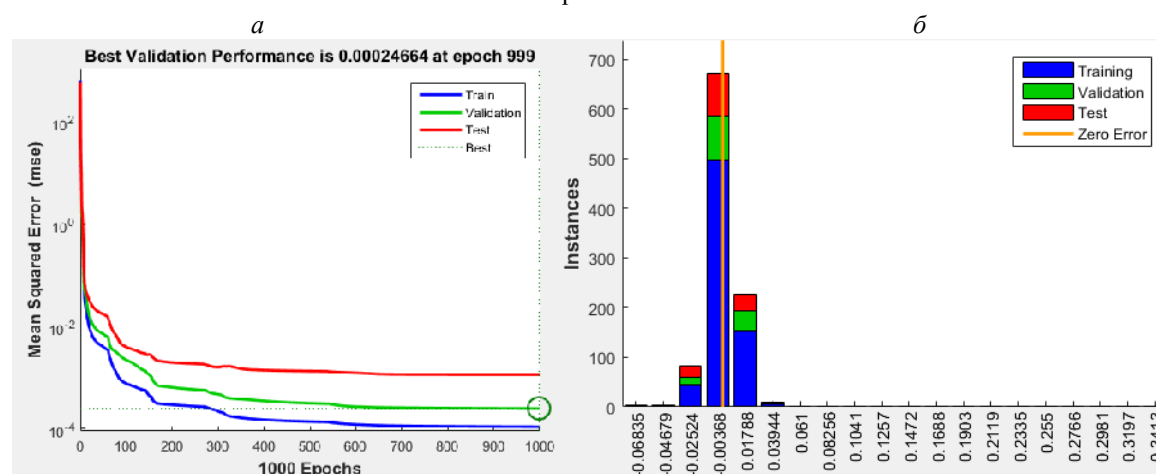


Рис. 5. Результаты работы ИНС для получистового точения: *a* – график обучения сети; *б* – гистограмма ошибки

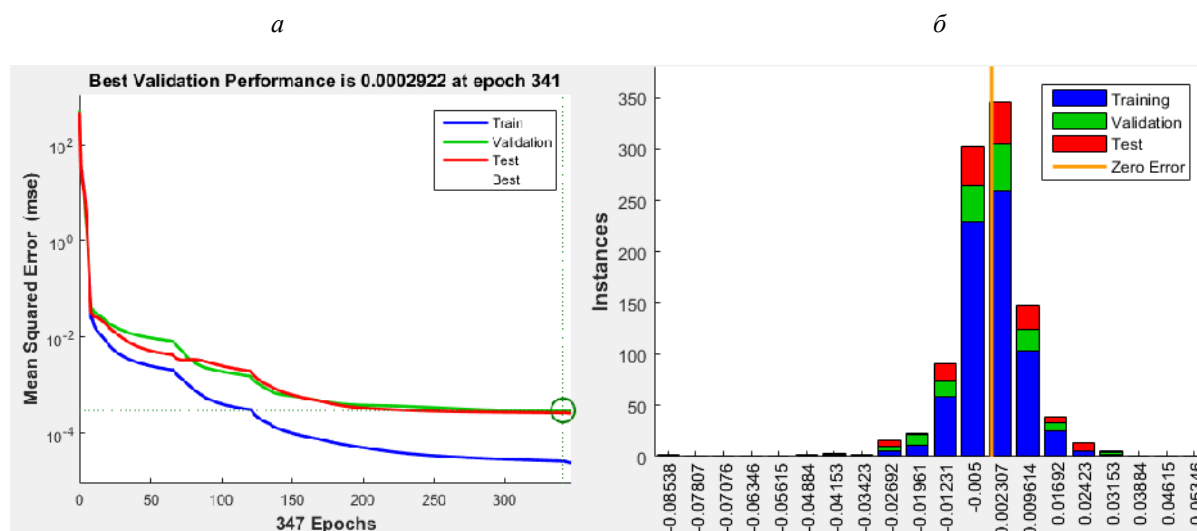


Рис. 6. Результаты работы ИНС для комбинированного точения: *a* – график обучения сети; *б* – гистограмма ошибки

Во всех случаях подавляющее число ошибок находится в непосредственной близости к нулевой линии, а величина ошибки не превышает 0,1 мкм, табл. 3.

Таблица 3

Разброс ошибки при работе ИНС

Сеть для чистового точения			Сеть для получистового точения			Комбинированная сеть для чистового и получистового точения		
Величина ошибки	Кол-во значений	%	Величина ошибки	Кол-во значений	%	Величина ошибки	Кол-во значений	%
$2,3 \cdot 10^{-3}$	346	34,6	$-3,6 \cdot 10^{-3}$	671	67,1	$1,0 \cdot 10^{-3}$	486	48,6
$-5 \cdot 10^{-3}$	303	30,3	$17,8 \cdot 10^{-3}$	226	22,6	$-6,6 \cdot 10^{-3}$	235	23,5
$9,6 \cdot 10^{-3}$	148	14,8	$-25,2 \cdot 10^{-3}$	82	8,2	$8,7 \cdot 10^{-3}$	157	15,7
$-12,3 \cdot 10^{-3}$	91	9,1	$39,4 \cdot 10^{-3}$	10	1,0	$-14,3 \cdot 10^{-3}$	35	3,5
$16,9 \cdot 10^{-3}$	39	3,9	$-46,7 \cdot 10^{-3}$	5	0,5	$16,4 \cdot 10^{-3}$	29	2,9
$-19,6 \cdot 10^{-3}$	23	2,3	$-68,3 \cdot 10^{-3}$	3	0,3	$-22,0 \cdot 10^{-3}$	15	1,5
$-26,9 \cdot 10^{-3}$	17	1,7				$24,0 \cdot 10^{-3}$	14	1,4
$24,2 \cdot 10^{-3}$	14	1,4				$31,7 \cdot 10^{-3}$	8	0,8
$31,5 \cdot 10^{-3}$	6	0,6				$-37,4 \cdot 10^{-3}$	7	0,7
$41,5 \cdot 10^{-3}$	3	0,3				$39,4 \cdot 10^{-3}$	4	0,4
остальные	10	1,0				остальные	10	1,0
Относительная погрешность, %								
0,76			0,94			0,62		

Выводы. Разработанные нейросетевые модели принятой архитектуры показали хороший результат обучения, относительная погрешность вычислений не превышает 1 %. Наиболее высокую точность показала комбинированная сеть прогнозирования шероховатости поверхности при двух видах обработки: чистовом и получистовом, относительная погрешность которой составила 0,62 %. Сеть имеет десять нейронов входного слоя и сорок нейронов скрытого, обучена по алгоритму Левенберга-Марквардта. Предложенные нейросетевые модели могут быть использованы при технологической подготовке производства, а также в системах адаптивного управления процессом резания.

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. P. 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. P. 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. P. 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. P. 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. P. 281–290.

11. Бураков М.В. Нейронные сети и нейроконтролеры: учеб. Пособие. СПб.: ГУАП, 2013. 284 с.

Информация об авторах

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.

Баранов Денис Сергеевич, аспирант кафедры технология машиностроения. E-mail: den-3218@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в апреле 2019 г.

© Баранов Д.С., Дуюн Т.А., 2019

^{1,*}Baranov D.S., ¹Dujun T.A.

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46
E-mail: den-3218@yandex.ru

APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR PREDICTING ROUGHNESS AT CLEANING AND GETTING POINT

Abstract. A technique for the development of artificial neural networks to predict the roughness of the treated surface during finishing and semi-finishing turning is presented. The back-propagation network architecture was adopted, having an input, hidden and output layers, a sigmoidal activation function for the hidden layer and a linear one for the output layer. To form a training sample, empirical expressions in the form of power functions were used, training of networks was carried out according to the Levenberg-Marquardt algorithm, which has fast convergence. Technological modes (cutting speed and depth of cut, tool feed), cutting tool geometrical parameters (main and auxiliary angles in terms of the tool, radius at the tip of the tool, rake angle), physicomechanical properties of the material being processed, each the training sample is formed from thousands of source data combinations. Separate networks have been developed that predict roughness during finishing and semi-turning turning, as well as a combined network that takes into account both types of processing. Analysis of the accuracy of the networks showed good results, the relative error of calculations does not exceed 1 %. The proposed neural network models can be used in technological preparation of production, as well as in systems of adaptive control of the cutting process.

Keywords: artificial neural networks (INS), surface roughness, fine and semi-turning.

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 nechetkih modelей*]. Trudi mezhdunarodnoy konferencii «Sovremennye napravleniya i perspektivy 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 [*Diagnostika vyhodnykh parametrov processa rezaniya v rezhime real'nogo vremeni na osnove fraktal'nogo i vejvletanalizaov s ispol'zovaniem programmno-aparatnykh 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 setey 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 usloviyakh 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 under 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 neurocontrollers [*Nejronnye seti i nejrokontrolery*]: ucheb. Posobie. SPb.: GUAP, 2013, 284 p. (rus)

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.

Baranov, Denis S. Postgraduate student. E-mail: den-3218@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in April 2019

Для цитирования:

Баранов Д.С., Дуюн Т.А. Применение искусственных нейронных сетей для прогнозирования шероховатости при чистовом и получистовом точении // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 7. С. 128–134. DOI: 10.34031/article_5d35d0b62dc823.22670125

For citation:

Baranov D.S., Dujun T.A. Application of artificial neural networks for predicting roughness at cleaning and getting point. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 7. Pp. 128–134. DOI: 10.34031/article_5d35d0b62dc823.22670125

DOI: 10.34031/article_5d35d0b65fa355.43100608

¹Фадин Ю.М., ¹Хахалев П.А., ^{1,*}Трапезникова Е.Г.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

*E-mail: katyfkaja@gmail.com

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ГИДРОЦИКЛОНА ОТ ИЗНОСА

Аннотация. В работе рассмотрен процесс производства портландцемента по мокрому способу производства. Портландцемент – это вяжущее гидравлическое вещество, которое получают помолом цементного клинкера, гипса и добавок. В составе добавок обычно силикаты кальция. Производство портландцемента состоит из множества процессов, таких как: дробление клинкера, гипсового камня, подготовку минеральных добавок (дробление, сушку), помол клинкера с гипсом и минеральными добавками, складирование, упаковку и отправку цемента потребителю. Так как помол осуществляется в замкнутом цикле, необходимо выбрать классифицирующее оборудование. Для этого был проведен анализ, в ходе которого выявлено, что гидроциклон является наиболее универсальным и менее затратным в эксплуатации классифицирующим оборудованием. После изучения конструкции гидроциклона обнаружен существенный недостаток, который оказывает влияние на долговечность и эффективность работы, это повышенный износ рабочих поверхностей гидроциклона. Степень изнашивания поверхностей гидроциклона зависит как от характера воздействия пульпы, так и от механических характеристик материала, из которого изготовлены рабочие поверхности гидроциклона. Данная статья посвящена изучению особенностей наиболее популярных и часто используемых износостойких материалов для защиты рабочих поверхностей от износа.

Ключевые слова: портландцемент, гидроциклон, износ, эффективность работы, долговечность, износостойкие материалы, классификация, каменное литье, эластомеры, высокомарганцовистые стали, износостойкие наплавки и покрытия.

Введение. Важнейшим направлением в развитии ресурсосберегающих технологий является повышение технико-экономических показателей комплексной переработки минерального сырья. Совершенствование существующих производств экономически более целесообразно, чем расширение их [1].

Постановка проблемы. Процесс измельчения это один из самых затратных в производстве портландцемента по мокрому способу [2–5]. Правильный и эффективный процесс классификации в значительной степени определяет работу контура измельчения в связке мельница-классификатор. Среди многообразия различных типов классифицирующего оборудования гидроциклоны наиболее универсальное, простое, компактное и менее затратное в эксплуатации оборудование, конструкция которого представлена на рис. 1 [6–7].

Долговечность и эффективность работы гидроциклонов в значительной мере определяется износостойкостью его прочностных частей. Износ данных частей возникает в следствии воздействия гидроабразивной пульпы на рабочие поверхности патрубков, песковых насадок и сливных патрубков.

Износ основных поверхностей приводит к изменению параметров и зависит как от влияния пульпы, так и от механических характеристик материала [8].

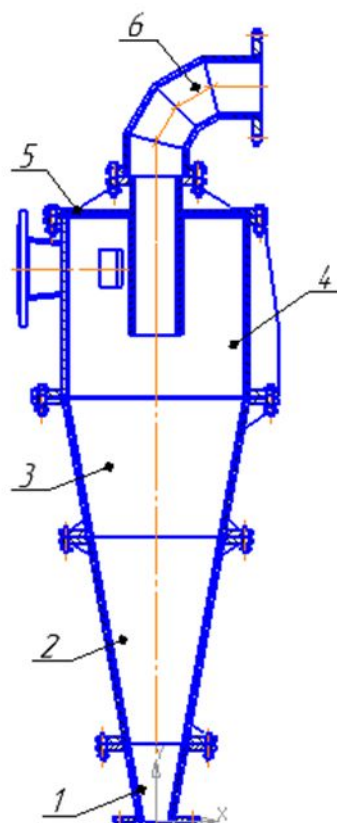


Рис. 1. Гидроциклон: 1 – насадка; 2 – нижний конус; 3 – верхний конус; 4 – раскручиватель; 5 – крышка; 6 – отвод.

Выбор материала, для защиты быстроизнашивающихся деталей, зависит от конструкции, ее назначения, условий эксплуатации, технологии изготовления детали и срока службы.

Результаты исследования. Сейчас для повышения износостойкости рабочих поверхностей и отдельных деталей гидроциклона применяют следующие материалы:

1. *Каменное литье.* Данный материал искусственно получают из диабазов, базальтов, доменных шлаков или шлаков производства ферромарганца. Каменное литье имеет сложное кристаллическое строение, пример изображения представлен на рис. 2.

Как и любой материал, каменное литье обладает преимуществами, такими как высокая сопротивляемость к истиранию и высокая твердость, и рядом существенных недостатков: низкая термостойкость, отсутствует возможность эксплуатировать изделия при температурах выше 150 °С, ограничение размеров готового изделия при отливках, высокая хрупкость.

Основными производителями данного материала в России являются: "Первоуральский завод горного оборудования" которые производят из каменного литья плитки и желоба камнелитые, изделия и трубы, футерованные каменным литьем; "МетЛесПром" – изготавливают вкладыши для футеровки труб большого диаметра, желоба, течи, плиты; "Альтернатива" – изготавливают трубы, отводы, гидроциклоны, футерованные каменным литьем.



Рис. 2. Плитка из каменного литья

2. *Эластомеры.* Для борьбы с абразивным износом используют гуммирование деталей специальными сортами резины. Основными показателями характеризующие резину являются эластичность по отскоку, модуль упругости и относительное удлинение.

Также для гуммирования используют полиуретаны, рисунок 3. Они обладают отличной стойкостью к абразивному износу, низким коэффициентом сцепления и гладкой, непористой поверхностью, а также хорошей эластичностью и стойкостью к ударным нагрузкам. Основные производители: «ВИТУР»; «Производство «Эластопласт»»; «Полиуретан».



Рис. 3. Футеровка металла полиуретаном.

3. *Износостойкие высокомарганцевистые стали.* Данные стали характеризуются высоким содержанием марганца, от 11 до 14 %. Износостойкость этих сталей, определяется механическим упрочнением, чем больше наклепываемость стали, тем выше удельная нагрузка. Высокую прочность стали получают при основательной вязкости. Изделия из данной стали получают высокую износостойкость при больших удельных давлениях и нагрузках.

Взамен высокомарганцевых сталей, за рубежом часто используют, для защиты от износа и налипания, стали типа Hardox с содержанием марганца 1.6 %, при этом сталь является высоколегированной [9]. Основным поставщиком листов Hardox является компания "Hardox Wearparts".

4. *Износостойкие наплавки и покрытия.* Наплавка позволяет возможность создать биметаллические изделия с такими показателями защитного слоя, как высокая твердость и абразивная стойкость, рис. 4.

Наплавку выполняют на сталях углеродистых и низколегированных, а также сталей аустенитных и марганцовистых.

Существуют различные способы нанесения износостойкой наплавки: ручная (электродами); полуавтоматическая и автоматическая (порошковая проволока); газопламенная; напыление порошковыми сплавами; плазменная; наплавка с применением присадочный шнуровых материалов.

Для износостойкой наплавки применяют: сплавы на основе железа (мартенситные, аустенитные и карбидосодержащие); сплавы на основе никеля и кобальта.

Стабильные технологические показатели работы оборудования возможно обеспечить установкой износостойких футеровок, которые позволяют в течение длительного времени поддерживать неизменными геометрические параметры изделия и обеспечивать [10]. Основные компании которые занимаются защитой оборудования используя износостойкие наплавки являются компании «ТЕХНОИНКОМ»; «Винк»; «АЙРИХ».



Рис. 4. Биметаллический лист

Вывод. Важным значением для промышленности является выбор материала наименее подверженного к абразивному износу и разработка методики ее оценки. Поэтому для использования конкретного материала в качестве износостойкого слоя необходим научно обоснованный подход учетом конкретных условий эксплуатации оборудования и отдельных его узлов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Торопов О.А. Совершенствование технологии обогащения магнетитовых кварцитов путем повышения эффективности гидроциклонирования: дис.... канд. тех. наук. М., 2009. 120 с.
2. Сапожников М.Я. Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий. Учебник для вузов. М.: Машгиз, 1962. 522 с.
3. Богданов В.С. Механическое оборудование предприятий промышленности стройматериалов. учеб. пособие. Белгород: БелГТАСМ, 1996. 102 с.
4. Bogdanov V.S., Eltsov M.Yu., Khakhalev P.A., Shirokova L.Yu. Engineering design of mechanical equipment for the production of cement on basis of configurators // ZKG. 2017. №05. Pp. 64–66.
5. Богданов В.С., Фадин Ю.М., Латышев С.С. Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: межвуз. сб. ст. / Под ред. В.С. Богданова. Белгород.2011. Вып. X. С. 10–12.
6. Шестов Р.Н. Гидроциклоны. Л: Машиностроение, 1967. 80 с.
7. Терновский, И.Г. Гидроциклонирование М.: Наука, 1994. 350 с.
8. Шагарова О.Н. Гидроабразивное изнашивание рабочих поверхностей гидроциклона в зависимости от гранулометрического состава и содержания твердой фазы в перерабатываемой пульпе. [Электронный ресурс] Систем. требования: Web-browser (Internet Explorer). URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/gidroabrazivnoe-iznashivanie-rabochih-poverhnostey-gidrotsyklona-v-zavisimosti-ot-granulometricheskogo-sostava-i-soderzhaniya> (дата обращения 03.02.2019)
9. Сидоров К.С. Обзор материалов для защиты рабочих поверхностей горных машин от износа. [Электронный ресурс]. Систем. требования: Web-browser (Internet Explorer). URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/obzor-materialov-ispolzuemyh-dlya-zaschity-rabochih-poverhnostey-gornyh-mashin-ot-iznosa> (дата обращения 03.02.2019)
10. Энциклопедия по машиностроению/Материалы высокой твердости. [Электронный ресурс]. Систем. требования: Web-browser (Internet Explorer). URL: <http://mash-xxl.info/info/115537/> (дата обращения 03.02.2019)

Информация об авторах

Фадин Юрий Михайлович, кандидат технических наук, профессор кафедры технологического оборудования и машиностроения. E-mail: Fadin.y@mail.ru Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Хахалев Павел Анатольевич, кандидат технических наук, кафедры технологического оборудования и машиностроения. E-mail: Pavel.hahalev@gmail.com Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Трапезникова Екатерина Геннадьевна, магистрант кафедры технологического оборудования и машиностроения. E-mail: katyfkaja@gmail.com Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в апреле 2019 г.

© Фадин Ю.М., Хахалев П.А., Трапезникова Е.Г., 2019

¹Fadin Yu.M., ¹Khakhalev P.A., ^{1,*}Trapeznikova E.G.¹Belgorod state technological university of V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukov, 46.

*E-mail: katyfkaja@gmail.com

MODERN TECHNOLOGIES OF MATERIALS FOR PROTECTION THE WORKING SURFACES OF HYDROCLONE AGAINST WEAR

Abstract. The article considers the process of portland cement production by wet process. Portland cement is a hydraulic binder that is produced by cement clinker, gypsum and additives. Calcium silicates are commonly used as additives. Portland cement production consists of following processes: crushing of clinker and gypsum stone; preparation of mineral additives (crushing, drying); grinding of clinker with active mineral additives and gypsum; storage, packaging and shipping the cement to consumer. Since grinding is carried out in a closed cycle, it is necessary to select the classifying equipment. For this purpose, an analysis is made, which reveals that the hydrocyclone is the most multi-purpose and less expensive in operation of classifying equipment. The study of the hydrocyclone design demonstrates a significant drawback in the form of increased wear of the hydrocyclone working surfaces, which has an impact on durability and work efficiency. The degree of wear the hydrocyclone surfaces depends on the nature of the pulp impact and the mechanical characteristics of material of the hydrocyclone working surface. This article is devoted to the study of the most popular and frequently used wear-resistant materials to protect work surfaces from wear.

Keywords: portland cement, hydrocyclone, wear, performance, work efficiency, durability, wear-resistant materials, classification, stone casting, elastomers, high-manganese steel, wear-resistant surfacing and coatings.

REFERENCES

1. Toropov O.A. Improvement of the enrichment technology of magnetite quartzite by means of increasing the efficiency of hydro-cloning [*Sovershenstvovanie tekhnologii obogashcheniya magnetitovykh kvarcitov putem povysheniya effektivnosti gidrociklonirovaniya*]: dis ... cand. those. sci. ences. M., 2009. 120 p. (rus)
2. Sapozhnikov M.Ya. Mechanical equipment for the production of building materials and products. Textbook for technical colleges [*Mekhanicheskoe oborudovanie dlya proizvodstva stroitel'nykh materialov i izdelij*]. M.: Mashgiz, 1962. 522 p. (rus)
3. Bogdanov V.S. Mechanical equipment of enterprises of building materials industry-*alov* [*Mekhanicheskoe oborudovanie predpriyatij promyshlennosti strojmaterialov*]. Studies. Allowance. Belgorod: BelGTASM, 1996. 102 p. (rus)
4. Bogdanov, V.S., Eltsov, M.Yu., Khakhalev, P.A., Shirokova L.Yu. .. Engineering design of a canabis equipment. ZKG. 2017. No. 05. Pp. 64–66.
5. Bogdanov V.S., Fadin Yu.M., Latyshev S.S. Energy-saving technological complexes and equipment for the production of building materials [*Energoberegayushchie tekhnologicheskie komplekсы i oborudovanie dlya proizvodstva stroitel'nykh materialov*]: Interst. Sat Art. Ed. Vs Bogdanov. Belgorod, 2011. Issue X. Pp. 10–12. (rus)
6. Shestov R.N. Hydrocyclones [*Gidrociklony*]. L: Mechanical Engineering, 1967.80 p. (rus)
7. Ternovsky I.G. hydro-cloning [*Gidrociklonirovaniya*]. M.: Science, 1994. 350 p. (rus)
8. Shagarova O.N. Hydroabrasive wear of working surfaces of a hydrocyclone depending on the particle size distribution and the solids content in the processed pulp [*Gidroabrazivnoe iznashivanie rabochnykh poverhnostey gidrociklona v zavisimosti ot granulometricheskogo sostava i soderzhaniya tverdogo fazы v pererabatyvaemoj pul'pe*]. Systems. Requirements: Web-browser (Internet Explorer). URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/gidroabrazivnoe-iznashivanie-rabochnykh-poverhnostey-gidrotsiklona-v-zavisimosti-ot-granulometricheskogo-sostava-i-soderzhaniya> (appeal date 03.02.2019). (rus)
9. Sidorov K.S. Overview of materials to protect the working surfaces of mining machines from the nose [Obzor materialov dlya zashchity rabochnykh poverhnostey gornykh mashin ot iznosa]. Systems Requirements: Web-browser (Internet Explorer). URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/obzor-materialov-ispolzuemykh-dlya-zashchity-rabochnykh-poverhnostey-gornykh-mashin-ot-iznosa> (appeal date 03.02.2019). (rus)
10. Encyclopedia of mechanical engineering / High hardness materials [*Materialy vysokoy tverdosti*]. Systems Requirements: Web-browser (Internet Explorer). URL: <http://mashxxl.info/info/115537/> (address of 03.02.2019). (rus)

Information about the authors

Fadin, Yuri M. PhD, Professor. E-mail: Fadin.y@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Khakhalev, Pavel A. PhD. E-mail: Pavel.hahalev@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Trapeznikova, Ekaterina G. Master student. E-mail: katyfkaja@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in April 2019

Для цитирования:

Фадин Ю.М., Хахалев П.А., Трапезникова Е.Г. Современные технологии материалов для защиты рабочих поверхностей гидроциклона от износа // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 7. С. 135–139. DOI: 10.34031/article_5d35d0b65fa355.43100608

For citation:

Fadin Yu.M., Khakhalev P.A., Trapeznikova E.G. Modern technologies of materials for protection the working surfaces of hydroclone against wear. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 7. Pp. 135–139. DOI: 10.34031/article_5d35d0b65fa355.43100608

DOI: 10.34031/article_5d35d0b6de2bb4.43911446

¹Петручук Е.В., ^{1,*}Иванов Д.Я¹Южный федеральный университет, Таганрог

Россия, 347900, Ростовская область, г. Таганрог, ул. Чехова, д. 2

*E-mail: ser.vladislavovich@yandex.ru

ОРГАНИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА В ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ РОЕВЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ МУЛЬТИРОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ZIGBEE

Аннотация. В статье рассмотрены основные методы управления группами роботов, такие как единоначальный, иерархический, коллективный, стайный, роевой. В экстремальной робототехнике предпочтительней использовать децентрализованный роевой метод управления, так как сеть легко масштабируется, позволяя охватить большую площадь, а также не нуждается в оптимизации коллективного движения, исключая из сети центральное устройство управления, что делает сеть независимой от центра управления и устойчивой к внешним источникам воздействия.

Для реализации данного метода требуется хорошая и устойчивая связь между участниками сети, позволяющая совершать постоянный обмен информацией и постоянную её обработку в режиме реального времени. Для решения поставленной научно-технической задачи хорошо подходит стандарт обмена информацией ZigBee (IEEE 802.15.4), так как его аппаратная реализация и комплектующие являются более выгодными с точки зрения стоимости, диапазоны частот менее загружены, стандарт предполагает низкое энергопотребление, что является еще одним преимуществом для малоразмерных роботов с небольшим запасом энергоресурсов.

При этом необходимо учитывать, что при использовании беспроводной линии связи возникают риски негласного получения информации, несанкционированного доступа и компрометации информации. Для защиты предлагается использовать не аппаратное, а программное шифрование, что позволит снизить вес и цену малоразмерного робота.

Был протестирован алгоритм из семейства DES, который позволил увидеть наглядные преимущества программного шифрования.

Ключевые слова: мультиробототехнический комплекс, децентрализованная роевая система управления, стандарт zigbee, многоцелевой режим, конфиденциальность, программное шифрование, криптостойкость.

Введение. С каждым годом роботы находят всё более широкое применение в различных сферах деятельности человека. Применение группы малоразмерных роботов позволяет выполнять более сложные задачи, повышая эффективность и функциональные возможности таких роботов [1, 2]. Перед малоразмерными автономными роботами открываются огромные возможности, в частности, возможность снизить человеческие потери во время боевых действий, при выполнении воздушно-космических операций. Отсутствие людей на борту беспилотного летательного аппарата (БПЛА) позволяет увеличить диапазон допустимых перегрузок и манёвренность, снизить стоимость единицы подобной техники. Помимо военной сферы такие роботы могут использоваться в гражданских сферах применения, таких как мониторинг [3, 4], радиоэлектронная разведка, радиоэлектронная борьба, выполнения поисковых операций [6], картографирование, наблюдение, слежение, охраны спецобъектов, перемещение габаритных тел [7], работы с радиоактивными отходами [8], телекоммуникация [9] и др.

Для качественного выполнения поставленных задач группой роботов требуется система управления, которая позволит взаимодействовать участникам, а также постоянно будет оценивать обстановку, передавая её оператору.

Анализ методов управления мультиробототехническими комплексами. Анализ литературы позволяет выделить следующие три метода управления [10].

Централизованный. Все роботы, входящие в состав группы, считаются как единое целое, говоря иначе, вся группа представляется как единый объект управления, с чётким разграничением прав и свобод каждого участника (рис. 1). Данный принцип основан на единоначалии с использованием стратегии иерархического управления. В схему входит центральное устройство управления (ЦУУ) и каналы, по которым происходит информационный обмен между всеми участниками. Каждый робот должен постоянно передавать информацию о своих координатах, своём состоянии, условиях окружающей среды в ЦУУ. Примером реализации данного метода можно назвать проект «MARTHA» [14].

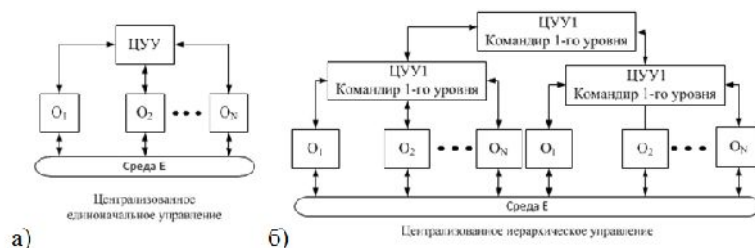


Рис. 1. Централизованная единоначальная (а) и централизованная иерархическая (б) стратегии управления

Децентрализованный. Исключение единого центра, отвечающего за формирование команд по координации для всех участников подобного управления (рис. 2). В рамках децентрализованных стратегий управления каждый робот представляет собой «агента» мультиагентной системы управления. Подобная система управления легко масштабируется до требуемых размеров и не нуждается в коллективной оптимизации коллективного движения, что полностью отличается от централизованного подхода к стратегии управления. В децентрализованной системе можно выделить три метода коллективный, стайный и роевой.

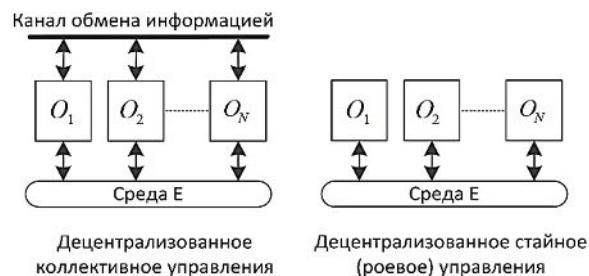


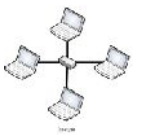
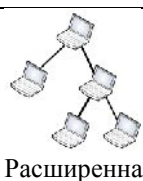
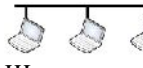
Рис. 2. Децентрализованное управление

Комбинированный. Метод, объединивший основные методы группового управления.

На основе рассмотренных подходов к организации управления мультиробототехническими комплексами проведено сравнение по ряду критериев (табл. 1).

Таблица 1

Подходы к организации управления

	Топология	Простота организации	Живучесть	Сложность задачи для каждого из участников
Централизованный				
Единоначалие	 Звезда	Очень легко организуется	При выводе из строя ЦУУ возможность управления утрачивается	При увеличении количества участников сложность возрастает
Иерархическая	 Расширенная звезда	Очень легко организуется	Достаточно продолжительная	Задачи распределяются согласно иерархии
Децентрализованный				
Коллективная	 Шина	Организация весьма сложная	При выходе из строя канала связи управление утрачивается	Задачи распределяются равномерно, не загружая одного агента всей работой
Стайная Роевая	 Ячеистая	Организация весьма сложная	Наивысшая, работа с такой группой возможна при любом количестве участников. Не зависит от вышедших из строя участников.	Каждый участник группы работает только со своей задачей

Наиболее перспективной веткой развития группового управления является децентрализованная стайная/роевая система управления строя.

Основным элементом, обеспечивающим функционирование системы жизнеобеспечения группового управления (взаимодействия) является телекоммуникационная сеть. По сети происходит обмен информацией с элементами (агентами) группы, которые рассылают и получают широкополосные запросы.

Для реализации каждого из выше перечисленных методов требуется устойчивая связь, соответствующая стандартам безопасности, а также устойчивая к помехам. Каждый из методов группового взаимодействия представляет из себя почти живой организм, в котором все действия, совершаемые одной «клеткой», не должны противоречить всем остальным, а также быть полезными не только для себя, но и для всей группы в целом.

Прежде чем агент передаст информацию находящемуся рядом соседу для стайных/роевых систем управления, он самостоятельно обрабатывает информацию, полученную от датчиков. По завершению обработки он сообщает своим соседям принятое им решение, те, в свою очередь, также сообщают информацию о себе. Приняв информацию от соседей, происходит снова обработка, но теперь обработка происходит с дополнительными данными, которые пришли от соседа. Далее алгоритм действий повторяется.

Задача информационного взаимодействия при групповом управлении. Специфика группового управления создаёт необходимость обмена информацией между участниками группы и четкой идентификацией изменений.

При создании информационного обмена в группах малоразмерных роботов возникает необходимость решения следующих научно-технических задач:

- управление потоками информации и маршрутизация пакетов в сети;
- определение многоцелевого режима сопровождения;
- создание алгоритмов, отвечающих за адаптивную аналого-дискретную фильтрацию;
- создание алгоритма оптимизированного оценивания поступающей информации и всех координат, которые используются в законах управления;
- создание безопасного канала (устойчивого, скрытого) информационного обмена между оператором и группой;
- создание алгоритма, позволяющего агентам обучаться;

– создание алгоритма оптимального оценивания инвариантно ко времени поступления измерений.

Каждому участнику требуется постоянная осведомлённость как о своих «соседях», так и о поставленных целях – для решения данной задачи используется многоцелевой режим сопровождения (МЦС). Проблема МЦС заключается в достаточно большом интервале времени между поступающими сигналами измерений от одной цели, тогда как сигналы управления должны формироваться непрерывно. Следует учесть, что способ обработки поступающих сигналов на стандартных алгоритмах оптимального оценивания при одновременной обработке является нерентабельным, т.к. время обработки сигналов каждым датчиком различно, и кроме того расположение в пространстве участников влияет на время поступления сигнала. Поэтому возможности такой сети определяются возможностями используемого оборудования. Для расширения области применения алгоритма, следует применять технологии беспроводной связи.

Из этого можно сделать вывод, что система группового взаимодействия представляет собой объект информатизации, который будет подвержен информационным угрозам. Безопасность будет зависеть от применяемых технологий, которые будут использоваться в системе, заложенных алгоритмов, а также от информационных потоков, обрабатываемых агентами. Исходя из этого, реализация системы группового управления роевым строем, в зависимости от конфигурации, имеет ряд угроз информационной безопасности.

а) Нарушение конфиденциальности информации – информация, которая предназначалась одному агенту, была перехвачена «злоумышленниками», которые не имеют санкционированного доступа к этой информации.

б) Нарушение целостности информации – переданная информация, была подвержена изменениям извне, тем самым компрометируя источник; т. к. информация потеряла достоверность и отличается от оригинала, это может привести к дестабилизации системы и непредсказуемым результатам.

в) Нарушение доступности информации – чем больше алгоритмов шифрования аппаратных или программных будет использовано, тем скорость обработки информации доверенными агентами будет ниже, что приведёт к устареванию и неактуальности информации.

Поскольку использование системы группового роевого управления требует постоянного обмена информацией между соседями по телекоммуникационной сети, то основная угроза информационной безопасности,

проявляется в уязвимости сетевой инфраструктуры. Для этого необходимо защитить информацию, передаваемую между участниками информационного обмена.

Сравнение протоколов, регламентированных стандартами IEEE. Для роевой системы управления взаимодействия необходима

самоорганизующаяся сеть с ячеистой топологией (Mesh-сети): Wi-Fi (802.11b) [12, 13], Bluetooth v. 3.0 (802.15.1) [14, 15], ZigBee (802.15.4) [16]. Сравнение характеристик указанных стандартов (табл. 2).

Таблица 2

Сравнение стандартов беспроводной связи

Технология	Wi-Fi	Bluetooth v. 3.0	ZigBee
Стандарт	802.11b	802.15.1	802.15.4
Пропускная способность	11 Мбит/с	1 Мбит/с	250 Кбит/с
Радиус действия	100 м	10 метров класса 3; 100 метров класс 1.	10 – 100 м
Частоты	2,4 ГГц	2,4 ГГц	868 МГц; 915 МГц; 2,4 ГГц
Преимущества	Высокая скорость передачи, гибкая сеть	Цена, малое потребление электроэнергии, передача голосовых сообщений	Цена, малое потребление электроэнергии, менее загруженные диапазоны частот, масштабы сети

По совокупности характеристик наиболее целесообразным является использование технологии ZigBee для управления мультиробототехническими комплексами. Главным плюсом является низкое энергопотребление, что важно для малоразмерных роботов, у которых небольшой бортовой запас энергоресурсов.

Описание технологии ZigBee. Стандарты беспроводной передачи информации Wi-Fi, Bluetooth широко известны и используются. Технология ZigBee создана в 2003 году, является технологией беспроводной передачи данных, позволяющей передавать маленькие объёмы информации на небольшие расстояния с малыми затратами электроэнергии. Примерами, где используется технология ZigBee, служат сенсорные беспроводные сети, умные дома, оборудование для

медицины, техника для быта и т. п. Данная технология является весьма перспективной, на которой возможна реализация полноценной математической модели – распределённой искусственной нейронной сети (ИНС).

Обеспечение информационной безопасности в каналах управления группой роботов.

Подход к защите каналов обмена информацией стандартом IEEE 802.15.4. ZigBee.

Для защищённого информационного обмена между агентами будет использоваться стандарт IEEE 802.15.4. ZigBee (IEEE 802.15.4) – спецификация сетевых протоколов верхнего уровня — уровня приложений Application Support sub-layer (APS) и сетевого уровня NWK таблица 3.

Таблица 3

Уровни модели OSI сети ZigBee

Типы данных	OSI	TCP/IP	ZigBee/IEEE 802.15.4
Данные	Прикладной	Доступ к сетевым службам	Передача сообщений, обнаружение устройств, определение роли устройств
	Представлений	Представление и кодирование данных	
	Сеансовый	Управление сеансом связи	
Сегменты	Транспортный	Прямая связь между конечными пунктами и надёжность	Безопасность, маршрутизация (NWK ZigBee)
Пакеты	Сетевой	Определение маршрутов и их адресации	
Кадры	Канальный	Физическая адресация	CSMA/CA, передача маячков, синхронизация
Биты	Физический	Работа со средой передачи и двоичными данными	Радиоканал 2,4 ГГц

Уровень NWK использует методы, обеспечивающие:

- Регистрацию в сети нового устройства и исключение его из сети;
- Обеспечение безопасности при передаче фреймов;
- Указание маршрута фрейма к месту назначения;
- Прокладку маршрутов между устройствами в сети;
- Обнаружение в сети ближайших соседей;
- Запоминание необходимой информации о соседних узлах.

Отличительной чертой сетей ZigBee является гарантированная, устойчивая к помехам многоручевоу затуханию, различным сбоям и отказам передача данных. Так как модель не предусматривает межсетевого экрана (МСЭ) обмен данными производится только между доверяемыми сторонами. Этот подход пронизывает всю иерархию обмена данными.

Данный стандарт разделяет устройства на три типа.

– Координатор ZigBee (ZC) – формирует структуру дерева сети, может создать связь с другими рядом лежащими сетями. Существование сети без координатора невозможно. Координатор хранит в своей памяти ключи безопасности, информацию по устройствам, находящимся в сети, также он инициализирует сеть. Координатор может работать в режимах: источник, приемник, ретранслятор сообщений.

– Маршрутизатор ZigBee (ZR) – выполняет роль связующего устройства (промежуточного) для передачи информации от других узлов. Создает путь, по которому будет доставлено сообщение адресату. Также маршрутизатор может оптимизировать маршрут для доступа к определенному участку сети, сохранять координаты узлов и точек сети для ускорения будущего обращения к ним. Маршрутизатор работает в режимах: источник, приёмник, ретранслятор. Может осуществлять обслуживание одновременно до 32 устройств (ZR, ZED).

– Конечное устройство ZigBee (ZED) – взаимодействует с координатором или маршрутизатором, обмениваясь информацией. Управление другими устройствами невозможно. Основное время работы устройство находится в режиме сна, экономя заряд батареи. Требования к памяти минимальные, именно благодаря этому цена на производство устройства резко сокращается. Сетью не управляет, ретрансляция сообщений невозможна. Выполняемая роль: источник или приёмник сообщений.

Одним из основных преимуществ стандарта ZigBee является поддержание сложных топологий, варианты топологий представлены на рис. 3. Основной недостаток – малая дистанция работы между двух точек, которая может компенсироваться масштабированием зоны покрытия (до 65 тысяч устройств может входить в сеть).

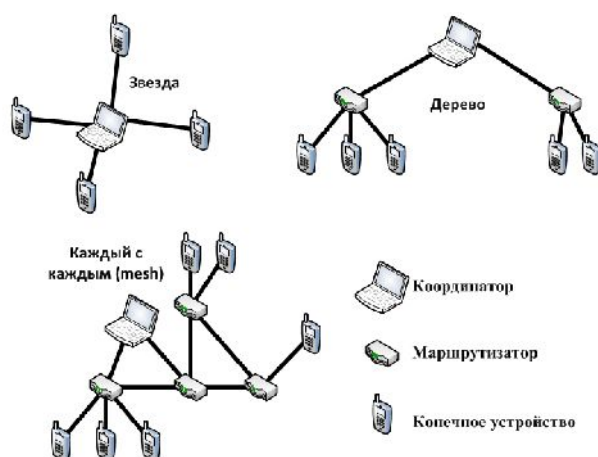


Рис. 3. Топологии сетей ZigBee

Алгоритмы, на которых реализован стандарт ZigBee, NeuRFon и AODV [14] (беспроводная децентрализованная сеть с возможностью самоорганизации -ad-hoc сетей (MANET), также служит и для других беспроводных сетей). Каждый из алгоритмов создан для создания ad-hoc сетей (сеть, образованная любым случайным абонентом, сеть

является децентрализованной, беспроводной динамической, самоорганизующейся сетью) или узлов.

Отметим основные плюсы и минусы ZigBee. Плюсы:

- наличие криптографической защиты передаваемых данных;
- гибкость политики безопасности;

- поддержка сложных топологий;
- наименьшая затрата энергоресурсов (срок работы от батарейки типа ааа или аа от трёх до десяти лет);

- гарантированная доставка пакетов при выводе из строя участка цепи, возможность самовосстанавливаться;

- самоорганизация, простота развёртывания;

- возможность масштабировать сеть, добавляя новых участников сети;

- дешевизна устройства.

Минусы:

- отсутствие определённой программно-аппаратной платформы для разработки по, низкий уровень стандартизации;

- слабая скорость передачи информации. Основу трафика составляет передача пакетов 220 кбит/с, полезная нагрузка 30 кбит/с.

Архитектура безопасности

- Подуровень MAC (канальный уровень) – устанавливает связь с соседями. В основном использует уровень безопасности, установленный верхними уровнями.

- Сетевой уровень – отвечает за маршрутизацию данных, также совершает обработку полученных сообщений и направляет пакеты дальше. Исходящие данные используют ключ для соответствующего канала связи, исходя из маршрутизации. При отсутствии такового будет задействован сетевой ключ.

- Уровень приложений (прикладной, представлений, сеансовый) – настраивает ключи, отвечает за транспортировку пакетов так и приложениям (уровни выше). Распределяет сообщения о свойствах и изменениях внутри сети (от объектов или ЦУБ), обновляет сетевые ключи от ЦУБ, относящиеся ко всем устройствам, находящимся в сети.

Согласно спецификации технология ZigBee основана на 128-битном AES алгоритме.

Типы ключей в ЦУБ

- Главный ключ – (не применяется в шифровании), код разделяется на две части устройствами, используется для генерации ключа канала связи – ключ ЦУБ.

- Сетевые ключи – обеспечение безопасности сетевого уровня. Ключ находится в наличии у каждого агента в сети. Ключи должны передаваться в зашифрованном виде, хотя имеется возможность нешифрованной передачи.

- Ключи каналов связи – позволяют осуществлять безопасную передачу данных в одностороннем порядке между двумя устройствами, работают на уровне приложений.

Режимы безопасности

- Стандартная безопасность:

Все ключи могут храниться помимо ЦУБ ещё в каждом устройстве, находящемся в сети. ЦУБ управляет политикой приёма в сеть, а также главный ключ. Данный режим является менее требовательным к ресурсам.

- Повышенная безопасность:

ЦУБ хранит информацию обо всех объектах, входящих в его сеть, а также обо всех ключах. Увеличение потребления ресурсов ЦУБ растёт пропорционально увеличению числу устройств, входящих в сеть.

Уязвимости ZigBee

- Подключение по MAC ассоциации

Согласно стандарту 802.11 для аутентификации абонента по MAC-адресу требуется отправка абонентом и AP (точка доступа) MAC-адреса в незашифрованном виде. Злоумышленник может подменить свой MAC-адрес на «белый». Для определения «белого» MAC-адреса нужно проанализировать трафик.

- Использование «По умолчанию» ключей

Большинство производителей для повышения совместимости, дешевизны, простоты использования применяют дефолтные link keys (стандартные ключи ссылки), ставя при этом под угрозу всю сеть.

- Уровень стандартизации ZigBee

ZigBee имеет низкий уровень стандартизации. Передача зашифрованных ключей безопасности и безопасная инициализация сильно уязвимы. Используя простой «sniffing» (прослушивание трафика), злоумышленник может перехватить обмен ключами и подключиться к сети, воспользовавшись стандартным ключом. Стандарт уязвим для атаки «человек посередине» (с английского man-in-the-middle), что позволяет атакующему, подключившемуся к сети, видеть все подключённые устройства, активный сеансовый ключ и любые коммутации в сети. Анализ протоколов, на которых работает стандарт ZigBee, говорит о том, что только при первичном соединении двух узлов происходит смена ключа, более она не происходит. У атакующего появляется возможность перехватывать и повторно использовать ключ. Также атакующий может записать последовательность команд, которые передаются, и впоследствии ими воспользоваться.

Эксперимент. Для исследования особенностей организации информационного обмена в группах малоразмерных роботов с использованием технологии ZigBee был создан лабораторный стенд на базе Arduino UNO R3 (рис. 3), характеристики представлены в (таблица 4).

В качестве модуля передатчика задействован модуль RFbee (рис. 5), характеристики (табл. 5).



Рис. 4. Arduino UNO R3

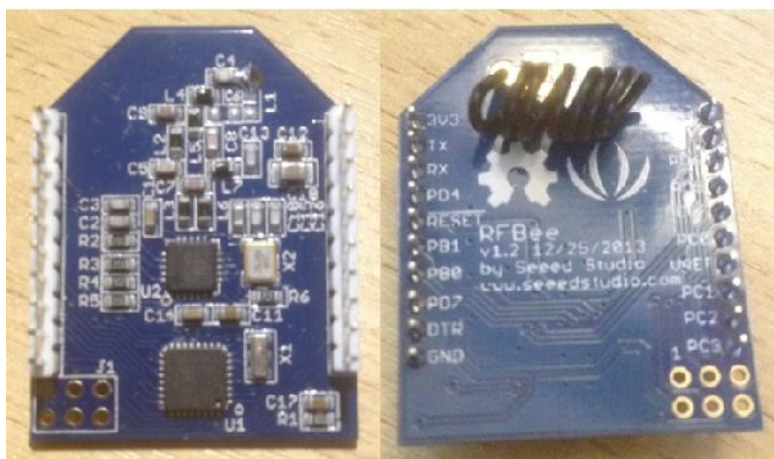


Рис. 5. Характеристики RFbee V1.2

Таблица 4

Характеристики Arduino UNO R3

	Характеристики
Микроконтроллер	ATmega328
Рабочее напряжение	5В
Напряжение питания (рекомендуемое)	7-12В
Напряжение питания (предельное)	6-20В
Цифровые входы/выходы	14 (из них 6 могут использоваться в качестве ШИМ-выходов)
Аналоговые входы	6
Максимальный ток одного вывода	40 мА
Максимальный выходной ток вывода 3.3V	50 мА
Flash-память	32 КБ (ATmega328), из которых 0.5 КБ используются загрузчиком
SRAM	2 КБ (ATmega328)
EEPROM	1 КБ (ATmega328)
Тактовая частота	16 МГц
Цена	2 270 руб.

Таблица 5

Характеристики RFbee V1.2

	Характеристики
Чувствительность приемника	95 дБм
Скорость передачи данных RF	4 800 бит/с; 76.800 бит/с
Рабочая частота	868 МГц и 915 МГц
Тип связи	Точка-точка или точка-многоточка
Микропроцессор	ATmega168
Беспроводной протокол	Zigbee2007
Протокол связи	UART (TTL)
Размер модуля	24.38×32.94×15 мм
Цена	1610 руб.

Структурная схема и принцип работы устройства с дополнительным шифрованием. Лабораторный стенд состоит из RFbee V1.2 и Arduino UNO R3, рис. 6. Модуль RFbee V1.2 включает радиочастотный модем (трансивер), работающий по стандарту 802.15.4, который будет выполнять роль передатчика и приёмника. Обмен данными будет осуществляться по шине SPI

(Serial Peripheral Interface – последовательный периферийный интерфейс, шина SPI) – синхронный, последовательный протокол передачи информации, работающий в полнодуплексном режиме. Используется при условии обеспечения простой и недорогой высокоскоростной связи микроконтроллеров и периферийных устройств). Обработкой данных занимается Arduino UNO R3.

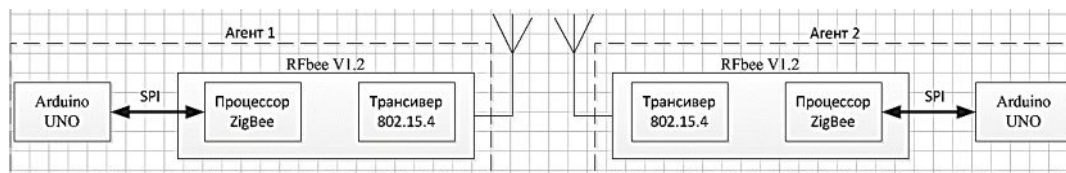


Рис. 6. Структурная схема двух устройств, построенных по технологии Zigbee

Для поддержания многоцелевого режима требуется постоянная готовность оборудования обрабатывать полученные запросы, а также передавать их в постоянном режиме. Для проверки целостности в зашифрованное сообщение добавлена Hash-sum. Если сообщение было передано не полностью или оно было скомпрометировано, то сообщение отбрасывается и не рассматривается вовсе. Принцип работы представлен в виде блок-схемы на рис. 7.

Длина сообщения составляет 64 бита, 56 бит сообщение, 16 бит hash. В сообщении содержится семь подверженных шифрованию элементов (роль, индекс, количество соседей, координаты (x, y, z)). Каждый элемент содержит (27) бит (диапазон от минус 126 до 126). Числа 127 и минус 127 намеренно не включены, чтобы иметь возможность сообщить о какой-либо ошибке на одном из элементов, не сбрасывая пакет, что позволит локализовать проблемный элемент (исполняющее устройство).

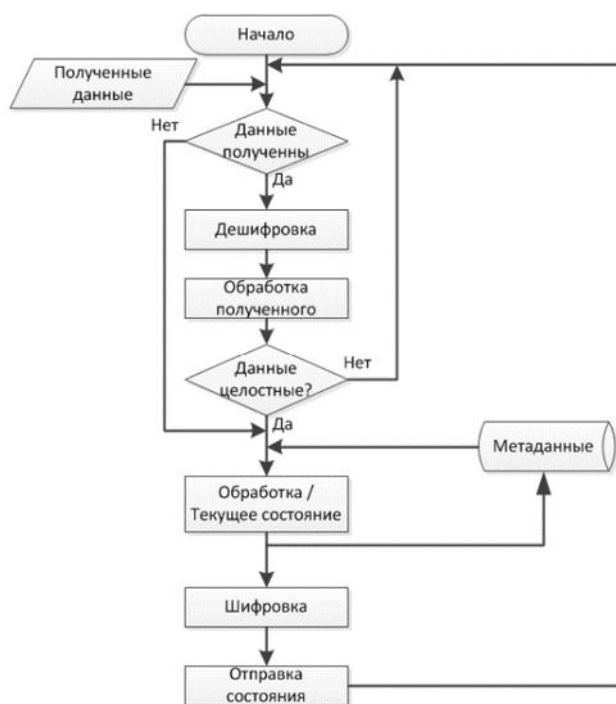


Рис. 7. Принцип работы защищённой работы устройства

Имеется возможность расширения диапазона элемента до (232–2) (диапазон от минус 2147483647 до 2147483647) при использовании 64 битного ключа, 8 бит из которых проверочные. Также можно увеличить и до 264, но это может негативно сказаться на скорости обработки.

Бортовое вычислительное устройство с модулем связи малоразмерного робототехнического устройства, собранные на базе Arduino UNO R3 и RFbee V1.2, представлены на рис. 8. Стенд из двух малоразмерных робототехнических устройств с модулем связи в момент обмена информацией, представлен на рис. 9.



Рис. 8. Бортовое вычислительное устройство с модулем связи малоразмерного робототехнического устройства

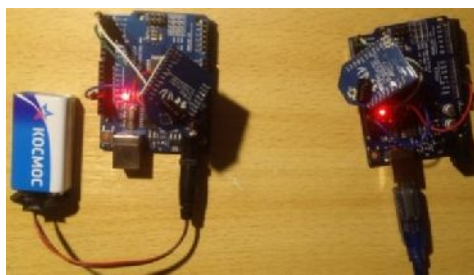


Рис. 9. Стенд из двух малоразмерных робототехнических устройств с модулем связи в процессе информационного обмена

Шифрование и дешифрование. Согласно стандарту ZigBee (IEEE 802.15.4) обеспечивает двустороннюю полудуплексную передачу данных, используя алгоритм шифрования AES 128bit.

AES – симметричный, блочный алгоритм шифрования, является стандартом в США с 2002 года. В AES блок соответствует 128 битам, ключ может быть 128/192/256 бит.

Алгоритм AES отвечает всем требованиям безопасности, но как говорилось выше сам стандарт является уязвимым для «sniffing» или атаки «Man in the middle» (человек посередине), что даёт возможность атакующему подключиться к сети, узнать сеансовый ключ, подключённые устройства и любые действия, совершаемые в сети.

Шифрование AES происходит непосредственно на модуле RfBee. Чтобы обеспечить большую защищённость передаваемых данных и усложнить жизнь злоумышленнику, создадим программное шифрование на Arduino UNO R3. Скорость обработки и приёма изменится незначительно, так как оба шифрования будут проходить на разных процессорах параллельно, не создавая проблем друг другу.

Для шифрования данных, передаваемых с процессора Arduino UNO R3, было решено использовать DES образный алгоритм.

DES (Data Encryption Standard) [21] – алгоритм шифрования, в 1977 был принят в США как стандарт. Алгоритм реализован на схеме Фейстеля, имеет шестнадцать раундов шифрования,

размер блока 64 бита, ключ, длина которого составляет 56 бит (плюс 8 бит проверочных). При шифровании используются нелинейные S-блоки (блоки замены) и линейные E (расширение), P (перестановка).

Криптостойкость алгоритма DES.

Алгоритм DES [22] использует нелинейность только в S-блоках. Угроза возникает, если используются слабые S-блоки. Для стойкости необходимо соблюдать определённые условия:

- каждая строка каждого блока должна быть перестановкой множества $\{0, 1, 2, \dots, 15\}$;
- S-блоки не должны являться линейной или аффинной функцией своих аргументов;
- изменение одного бита на входе S-блока должно приводить к изменению, по крайней мере, двух битов на выходе;
- для каждого S-блока и любого аргумента X значение S(X) и должны различаться, по крайней мере, двумя битами.

Количество ключей является ограниченным до 2^{56} . Данный факт позволяет простым «bruteforce» (метод «грубой силы») подобрать ключ. Electronic Frontier Foundation (USA) в 1998 году удалось взломать алгоритм за три дня при использовании специального компьютера DES-Cracker [23].

Одна из уязвимостей, которая позволит взломать алгоритм DES без использования DES-Cracker, это использование слабых ключей, на данный момент известно четыре слабых ключа. Это происходит потому, что в каждом из ниже приведённых ключей имеется 2^{32} неподвижные точки.

- 0101-0101-0101-0101;
- FEFE-FEFE-FEFE-FEFE;
- 1F1F-1F1F-0E0E-0E0E;
- E0E0-E0E0-F1F1-F1F1.

Известные методы атаки представлены в таблице 5.

Метод полного перебора требует одну «известную» пару шифрованного и расшифрованного текста, незначительный объём памяти. Его выполнение требует около 2^{55} шагов.

Таблица 5

Известные атаки на DES

Методы атаки	Известные открытые текста	Выбранные открытые текста	Объём памяти	Количество операций
Полный поиск	1		Незначительный	2^{55}
Линейный Криптоанализ	2^{43} (85 %)		Для текста	2^{43}
Линейный Криптоанализ	2^{10} (10 %)		Для текста	2^{50}
Дифференциальный Криптоанализ		2^{47}	Для текста	2^{47}
Дифференциальный Криптоанализ	2^{55}		Для текста	2^{55}

Дифференциальный криптоанализ – первую такую атаку на DES заявили Бихам и Шамир. Эта атака требует шифрования 2^{47} открытых текстов, выбранных нападающим, и для её выполнения нужны примерно 2^{47} шагов. Теоретически являясь точкой разрыва, эта атака непрактична из-за чрезмерных требований к подбору данных и сложности организации атаки по выбранному открытому тексту. Сами авторы этой атаки Бихам и Шамир заявили, что считают DES защищённым для такой атаки.

Линейный криптоанализ разработан Матсуи. Этот метод позволяет восстановить ключ DES с помощью анализа 2^{43} известных открытых текстов, при этом требуется примерно 2^{43} шагов для выполнения. Первый экспериментальный криптоанализ DES, основанный на открытии Матсуи, был успешно выполнен в течение 50 дней на автоматизированных рабочих местах 12 HP 9735.

Реализация линейного и дифференциального криптоанализа требует достаточно большого объёма памяти для сохранения выбранных (известных) открытых текстов до начала атаки.

Для наглядности процесса и оценки возможностей дальнейшего развития программного шифрования алгоритмом DES был выбран Simple-DES.

Simple-DES – является учебным алгоритмом шифрования, построен он по схеме Фейстеля, обладает ключом 12 бит. В нём сокращено количество раундов до трёх, отсутствуют первая и последняя перестановки [24], поскольку фактически криптографическую стойкость они не увеличивают, но для большей приближённости к оригинальному алгоритму DES перестановки были добавлены. Общий вид учебного алгоритма приведён на рис. 10.

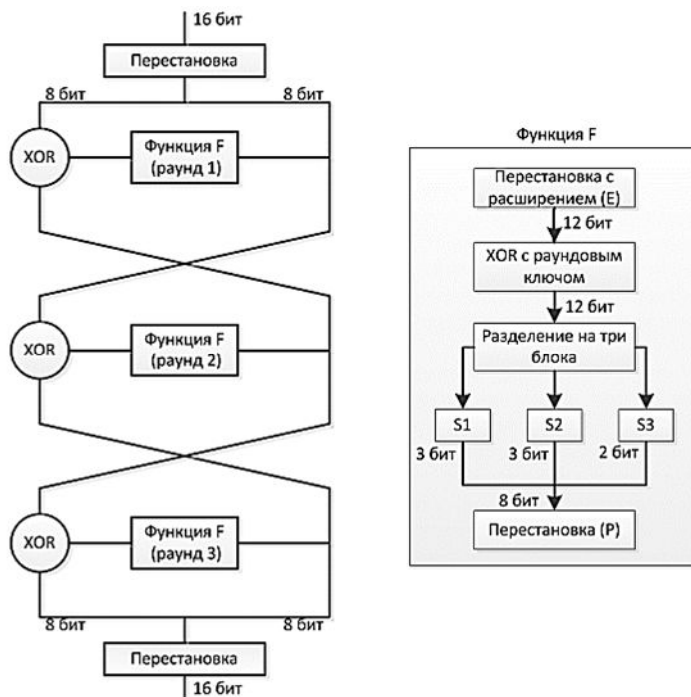


Рис. 10 Общий вид Simple-DES

Результат преобразования из десятичной системы счисления в двоичную представлен на рис. 11, первый бит преобразованного числа указывает на знак числа (1 – положительное, 0 – отрицательное).

Следующими действиями идёт перестановка 16 бит, три раунда шифрования согласно таблицам истинности и последняя перестановка 16 бит (перестановка – таблицы 6,7, перестановка с расширением в F-функции – таблица 8, перестановка в F-функции – таблица 9, ключи – таблица 10, блок замены – таблицы 11-13).

```

17:23:42.069 -> -----Default data-----
17:23:42.069 -> myIndex: 5;
17:23:42.069 -> role: 31;
17:23:42.102 -> quantityNeighborsB: -50;
17:23:42.149 -> x: -12;
17:23:42.149 -> y: 13;
17:23:42.149 -> z: 126;
17:23:42.149 ->
17:23:42.196 -> -----Treatment-----
17:23:42.243 -> myIndex: 10000101;
17:23:42.243 -> role: 10011111;
17:23:42.243 -> quantityNeighborsB: 00110010;
17:23:42.290 -> x: 00001100;
17:23:42.336 -> y: 10001101;
17:23:42.336 -> z: 11111110;

```

Рис. 11. Преобразование

Таблица 6

Перестановка

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Перестановка	14	3	2	5	7	4	6	1	9	8	13	11	12	15	0	10

Таблица 7

Перестановка 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Перестановка	14	7	2	1	5	3	6	4	9	8	15	11	12	10	0	13

Таблица 8

Перестановка с расширением в F-функции

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Перестановка	2	3	0	1	5	7	4	6	2	7	1	3

Таблица 9

Перестановка в F-функции

	1	2	3	4	5	6	7	8
Перестановка	2	4	3	1	6	5	7	0

Таблица 10

Ключи

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Раунд 1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1
Раунд 2	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0
Раунд 3	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1

Таблица 11

Блок замены S1

a1	a2,a3,a4							
	000	001	010	011	100	101	110	111
0	4	6	1	3	5	7	2	0
1	5	7	2	0	4	6	1	3

Таблица 12

Блок замены S2

a1	a2,a3,a4							
	000	001	010	011	100	101	110	111
0	3	5	7	0	2	4	6	1
1	2	4	6	1	3	5	7	0

Таблица 13

Блок замены S3

a1,a4	a2,a3			
	00	01	10	11
00	1	3	2	0
01	3	2	1	0
10	3	1	0	2
11	1	0	3	2

Для проверки целостности сообщения добавляется Hash-сумма (16 бит) всего сообщения. Для этого считаем XOR первой и второй частей

сообщения, полученный результат XOR с третьей частью. Получившееся сообщение после трёх раундов шифрования приведено на рис. 12.

```

17:23:42.336 -> -----Encryption-----
17:23:42.383 -> myIndexE + roleB
17:23:42.430 -> 10000101.10011111 Before
17:23:42.430 -> 10011000.01111110 Permutation-1
17:23:42.477 -> 10110010.10111011 Encryption
17:23:42.477 -> 10100110.01111110 Permutation-2
17:23:42.524 -> quantityNeighborsB + xB
17:23:42.570 -> 10000101.10011111 Before
17:23:42.617 -> 01100010.00101000 Permutation-1
17:23:42.617 -> 01000011.01001001 Encryption
17:23:42.664 -> 01010010.10101000 Permutation-2
17:23:42.711 -> yB + zB
17:23:42.711 -> 10000101.10011111 Before
17:23:42.711 -> 10011000.11111011 Permutation-1
17:23:42.758 -> 11100000.01110001 Encryption
17:23:42.804 -> 00110000.10110110 Permutation-2
17:23:42.851 -> 1100010001100000 Hash
17:23:42.851 -> 1010011001111100101010100000110000101101100010001100000 Message

```

Рис. 12 Зашифрованное сообщение

Чтобы предотвратить лишнюю нагрузку на процессор Arduino агента, который будет заниматься дешифровкой, проверим Hash-сумму, если всё выполнено верно, то запускается процесс дешифровки, представленный на рис. 13.

```

17:23:42.945 -> -----Decryption-----
17:23:42.992 -> Xen1
17:23:43.038 -> 10100110.01111110 Before
17:23:43.038 -> 10110010.10111011 Permutation-1
17:23:43.085 -> 10011000.01111110 Decryption
17:23:43.005 -> 10000101.10011111 Permutation-2
17:23:43.118 -> myIndexDE: 10000101
17:23:43.118 -> roleDE: 10011111
17:23:43.165 ->
17:23:43.165 -> Xen2
17:23:43.165 -> 01010010.10101000 Before
17:23:43.212 -> 01000011.01001001 Permutation-1
17:23:43.212 -> 01100010.00101000 Decryption
17:23:43.259 -> 00110010.00001100 Permutation-2
17:23:43.306 -> NeighborsDE: 00110010
17:23:43.352 -> xDE: 00001100
17:23:43.352 ->
17:23:43.352 -> Xen3
17:23:43.352 -> 00110000.10110110 Before
17:23:43.352 -> 11100000.01110001 Permutation-1
17:23:43.399 -> 10011000.11111011 Decryption
17:23:43.446 -> 10001101.11111110 Permutation-2
17:23:43.493 -> yDE: 10001101
17:23:43.493 -> zDE: 11111110

```

Рис. 13 Дешифровка сообщения

Так как всё было сделано правильно, мы получили верный результат, рис. 14.

```

17:23:43.586 -> myIndexGet: 5;
17:23:43.586 -> roleGet: 31;
17:23:43.586 -> quantityNeighborsGet: -50;
17:23:43.633 -> xGet: -12;
17:23:43.680 -> yGet: 13;
17:23:43.680 -> zGet: 126;
17:23:43.680 -> All data valible

```

Рис. 14. Результат дешифровки переданного сообщения

Затраты по времени на преобразования сообщения в двоичный код и шифрование его алгоритмом Simple-DES занимает не более 100 мс, рис. 15.

```

19:11:28.635 -> 0100011010100010100000010111001001100011001101101010010011100110
19:11:28.682 -> 0100011010100010100000010111001001100011001101101010010011100110
19:11:28.776 -> 0100011010100010100000010111001001100011001101101010010011100110
19:11:28.823 -> 0100011010100010100000010111001001100011001101101010010011100110
19:11:28.916 -> 0100011010100010100000010111001001100011001101101010010011100110

```

Рис. 15. Скорость создания сообщения и его отправка

Скорость обработки полученного сообщения составляет 221 мс, рис. 16.

```

19:17:07.346 -> Get MSG
19:17:07.346 -> -----Invers-----
19:17:07.393 -> 0100011010100010100000010111001001100011001101101010010011100110 - XEN
19:17:07.473 -> myIndexGet: 126;
19:17:07.520 -> roleGet: -126;
19:17:07.520 -> NeighborsGet: 100;
19:17:07.520 -> xGet: -100;
19:17:07.567 -> yGet: 50;
19:17:07.567 -> zGet: 50;
19:17:07.567 -> All data valible!
19:17:07.605 -> -----The end-----

```

Рис. 16 Скорость обработки сообщения

Как было сказано Simple-DES не является криптографически стойким, если сравнивать с его старшим братом DES. Но благодаря ему мы смогли наглядно просмотреть все этапы, совершаемые на каждом из блоков. Для повышения

уровня защиты предлагается использовать следующие поколения разновидности DES, такие как double DES (2DES), triple DES (3DES), DESX, G-DES.

Выводы. Рассмотрев разные способы управления мультиробототехническими комплексами,

одной из наиболее перспективных веток развития является децентрализованная роевая система. Для её развития выгодно применять стандарт ZigBee (IEEE 802.15.4), отличающийся сравнительно дешёвым оборудованием с малым потреблением электроэнергии, менее загруженными диапазонами используемых частот, а также простотой масштабирования сети.

Обладая всеми изложенными плюсами, стандарт является слабо стандартизированным, создавая в сети «Back-door», что негативно сказывается на популяризации данного протокола. Для создания устойчивой, безопасной сети на стандарте 802.15.4 следует отключить MAC-ассоциацию, стандартизировать стек протоколов ZigBee, запретить использовать ключи «По умолчанию», использовать постоянно обновляющиеся ключи при подключении, своевременно обновлять прошивки компонентов (узлов) находящихся в сети, а также применять программное или аппаратное шифрование.

Использование программного или аппаратного шифрования не отразится сильно на скорости обработки, но ощутимо повысит уровень защищённости сети. Даже если злоумышленник сможет реализовать атаку «sniffing» (просканировать/прослушать) трафик и перехватить сеансовые ключи или пакеты, то он не сможет увидеть передаваемую информацию по каналам связи. А по прошествии времени, требуемого для расшифровки сообщения, теряется его актуальность. Проведённый эксперимент подтверждает выше изложенные тезисы.

Источник финансирования. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ проект №17-29-07054.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванов Д. Я. Применение больших групп роботов, как одно из перспективных направлений развития робототехники / Application of large robots groups of as one of the promising directions of robotics development // Робототехника. Взгляд в будущее // Труды международного научнотехнического семинара. Санкт-Петербург: Изд-во «Политехника-сервис». 2010. С. 72–74.
2. Иванов Д.Я. Перспективы применения больших групп роботов в экстремальной робототехнике // Материалы Пятой Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления» и второй молодежной школы-семинара «Управление и обработка информации в технических системах». Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. Р. 215–220.

3. Иванов Д. Формирование строя группой беспилотных летательных аппаратов при решении задач мониторинга // Известия ЮФУ. Технические науки. 2012. (4). С. 219–224.

4. Кремлев А.С., Колюбин С.А., Вражевский С.А. Автономная мультиагентная система для решения задач мониторинга местности // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2013. № 4 (56). С. 61–65.

5. Лопота А.В., Николаев А.Б. Современные тенденции развития робототехнических комплексов. Наземные робототехнические комплексы военного и специального назначения. СПб.: РТК, 2013. 30 с.

6. Будаев Д.С. [и др.]. Разработка прототипа согласованного управления группой беспилотных аппаратов с применением мультиагентных технологий // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. (10). С. 18–28.

7. Каляев И.А., Капустян С.Г., Гайдук А.Р. Самоорганизующиеся распределенные системы управления группами интеллектуальных роботов, построенные на основе сетевой модели // Управление большими системами: сборник трудов. 2010. № 30–1. С. 605–639.

8. Bogue R. Robots in the nuclear industry: a review of technologies and applications // Industrial Robot: An International Journal. 2011. № 2 (38). Р. 113–118.

9. Ермолов И.Л., Подураев Ю.В., Собольников С.А. Система планирования действий в группе мобильных роботов при создании подвижной коммуникационной сети // Труды международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника». 2012.

10. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Методы и модели коллективного управления в группах роботов. М.: Физматлит. 2009. 280 с.

11. Верба В.С., Поливанов С.С. Организация информационного обмена в сетевых операциях // Радиотехника. 2009. № 8. С. 57–62.

12. O'hara B., Petrick A. IEEE 802.11 handbook: a designer's companion. IEEE Standards Association, 2005.

13. Ott J., Kutscher D. Drive-thru Internet: IEEE 802.11 b for "automobile" users // INFOCOM 2004. Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. IEEE, 2004. Т. 1.

14. Lee J.S., Su Y.W., Shen C.C. A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi // Industrial Electronics Society, 2007. IECON 2007. 33rd Annual Conference of the IEEE. – IEEE, 2007. С. 46–51.

15. IEEE 802.15 // Wikipedia URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15 (дата обращения: 05.05.2018 10:00).

16. ZigBee [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ZigBee>, свободный. – Загл. с экрана.

17. Заборовский В.С., Мулюха В.А., Подгурский Ю.Е. Сети ЭВМ и Телекоммуникации. Моделирование и анализ компьютерных сетей: Телематический подход: Учебное пособие. Санкт-Петербург, издательство СПбГПУ./ Зав. каф. РВКС, проф., д.т.н. Ю.Г. Карпов. Зам. директора по научной работе СПИИРАН, заслуженный деятель науки, проф., д.т.н. А.В. Смирнов.

18. Москвин П.В. Азбука Tsl. Изд-во Горячая Линия Телеком, 2003. 215 с.

19. Петровский А.И. Командный язык программирования Tsl(Tool Command Language). М. Майор, 2001.

20. Кулябов Д.С., Королькова А.В. Архитектура и принципы построения современных сетей

и систем телекоммуникаций телекоммуникаций: Учеб. пособие. М.: РУДН, 2008. 281 с.

21. Алферов А.П., Зубов А.Ю., Кузьмин А.С., Черемушкин А.В. Основы криптографии 2-е изд. Москва: Гелиос АРВ, 2002. 480 с.

22. Menezes A.J., van Oorschot P.C., S.A. Vanstone. Handbook of Applied Cryptography. CRC Press, 1996. 795с.

23. DES [Электронный ресурс] / Wikipedia. Электрон. текстовые дан. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/DES#Криптостой-](https://ru.wikipedia.org/wiki/DES#Криптостойкость_алгоритма_DES)
[кость_алгоритма_DES](https://ru.wikipedia.org/wiki/DES#Криптостойкость_алгоритма_DES), свободный

24. Бабенко Л.К., Ищукова Е.А. Криптографические методы и средства обеспечения информационной безопасности. Таганрог: Технологический институт Южного Федерального университета, 2011. 146 с.

Информация об авторах

Петручук Евгений Владиславович, студент. E-mail: ser.vladislavovich@yandex.ru. НИИ многопроцессорных вычислительных систем им. академика А.В. Каляева Южного федерального университета. Россия, 347928, г. Таганрог, Ростовская область, ул. Чехова, 2, ГСП-284.

Иванов Донат Яковлевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник НИИ Многопроцессорных вычислительных систем им. академика А.В. E-mail: donat.ivanov@gmail.com. НИИ многопроцессорных вычислительных систем им. академика А.В. Каляева Южного федерального университета. Россия, 347928, г. Таганрог, Ростовская область, ул. Чехова, 2, ГСП-284.

Поступила в мае 2019 г.

© Петручук Е.В., Иванов Д.Я., 2019

¹*Petruchuk E.V., ^{1,*}Ivanov D.Ya.*

¹*Southern Federal University, Taganrog*

Russia, 347900, Rostov region, Taganrog, Chekhov str., 2

ORGANIZATION OF INFORMATION EXCHANGE IN DECENTRALIZED SWARM CONTROL SYSTEMS OF MULTI-ROBOTIC COMPLEXES USING ZIGBEE

Abstract. *The article considers the single-minded, hierarchical, collective, flock and swarm-based methods of managing groups of robots. In extreme robotics, it is preferable to use a decentralized swarm control method, since the network is easily scalable, allowing to cover a large area. There is no need in optimization of collective movement, excluding the Central control device from the network, which makes the network independent of the control center and resistant to external sources of influence.*

The implementation of this method requires a good and stable communication between the network participants, which allows making a constant exchange and processing of information in real time.

The ZigBee information exchange standard (IEEE 802.15.4) is suitable for solving this scientific and technical problem. It's hardware implementation and components are more cost-effective, frequency ranges are less loaded, the standard involves low power consumption, which is another advantage for small-sized robots with a small supply of energy. In spite of this, using a wireless communication line there are risks of covert receipt of information, unauthorized access and discredit of information.

For protection, it is proposed to use the software encryption instead of the hardware, which reduces the weight and price of a small-sized robot. The algorithm of the DES family is presented. It allows to see the visual advantages of software encryption.

Keywords: *multi-robotic complex, decentralized swarm management system, zigbee standard, multi-purpose mode, privacy, software encryption, cryptographic security.*

REFERENCES

1. Ivanov D.Ya. Application of large robots groups of asone of the promising directions of robotics development [*Primenenie bol'shih grupp robotov, kak odno iz perspektivnyh napravlenij razvitiya robototekhniki*]. Saint-Petersburg: Publishing «Politehnika-servis», 2010. 72–74 p. (rus)
2. Ivanov D.Ya. Prospects for the use of large groups of robots in extreme robotics [*Perspektivy primeneniya bol'shih grupp robotov v ekstremal'noj robototekhnike*]. Materialy Pyatoy Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Perspektivnye sistemy i zadachi upravleniya» i vtoroj molodezhnoj shkoly-seminara «Upravlenie i obrabotka informacii v tekhnicheskikh sistemah». Taganrog: Publishing TTI SRI, 2010. Pp. 215–220. (rus)
3. Ivanov D.Ya. Formation of building a group of unmanned aerial vehicles for monitoring tasks [*Formirovanie stroya gruppov bespilotnyh letatel'nyh apparatov pri reshenii zadach monitoringa*]. News SRI. Technical science. 2012. No. 4. Pp. 219–224. (rus)
4. Kremlev A.S., Kolyubin S.A. Vrazhevski S.A. Autonomous multi-agent system for solving problems of monitoring of the area [*Avtonomnaya mul'tiagentnaya sistema dlya resheniya zadach monitoringa mestnosti*]. News of higher educational institutions. Instrument making. 2013. No. 4 (56). Pp. 61–65. (rus)
5. Lopota A.V., Nikolaev A.B. Modern trends in the development of robotic systems. Ground robotic systems for military and special purposes [*Sovremennye tendencii razvitiya robototekhnicheskikh kompleksov. Nazemnye robototekhnicheskie komplekсы voennogo i special'nogo naznacheniya*]. Lopota A.V. and other. Saint-Petersburg : RTK, 2013. 30 p. (rus)
6. Budaev D.S. and other. Development of a prototype of coordinated control of a group of unmanned vehicles using multi-agent technologies [*Razrabotka prototipa soglasovannogo upravleniya gruppov bespilotnyh apparatov s primeneniem mul'tiagentnyh tekhnologij*]. News SRI. Technical science. 2015. No. 10. Pp. 18–28. (rus)
7. Kalyaev I.A., Kapustyan S.G., Gaiduk A.R. Self-organizing distributed control systems for groups of intelligent robots based on the network model [*Samoorganizuyushchiesya raspredelennye sistemy upravleniya gruppami intellektual'nyh robotov, postroennye na osnove setevoy modeli*]. Large-Scale Systems Control. 2010. No. 30–1. Pp. 605–639. (rus)
8. Bogue R. Robots in the nuclear industry: a review of technologies and applications. Industrial Robot: An International Journal. 2011. Vol. 2 (38). Pp. 113–175.
9. Ermolov I.L., Poduraev Yu.V., Sobolnikov S.A. Action planning system in the group of mobile robots in the creation of a mobile communication network [*Sistema planirovaniya dejstvij v gruppe mobil'nyh robotov pri sozdanii podvizhnoj kommunikacionnoj seti*]. Proceedings of the international scientific and technical conference "Extreme robotics". 2012. (rus)
10. Kalyaev I.A., Kapustyan S.G., Gaiduk A.R. Methods and models of collective management in robot groups [*Metody i modeli kollektivnogo upravleniya v gruppah robotov*]. M.: Fizmatlit. 2009. 280 p. (rus)
11. Verba V.S., Polivanov S.S. Organization of information exchange in network-centric combat operations [*Organizaciya informacionnogo obmena v setecentricheskikh boevykh operacijah*]. Radio engineering. 2009. No. 8. Pp. 57–62. (rus)
12. O'hara B., Petrick A. IEEE 802.11 handbook: a designer's companion. IEEE Standards Association, 2005.
13. Ott J., Kutscher D. Drive-thru Internet: IEEE 802.11 b for "automobile" users. INFOCOM 2004. Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. IEEE, 2004. T. 1.
14. Lee J.S., Su Y.W., Shen C.C. A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi. IECON 2007. 33rd Annual Conference of the IEEE. IEEE, 2007. Pp. 46–51.
15. IEEE 802.15 [Electronic resource]. Wikipedia URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15 (date of application: 05.05.2018 10:00).
16. ZigBee [Electronic resource]. Access mode: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ZigBee>, (date of application: 05.05.2018 12:00).
17. Zaborovski V.S., Mulyuha V.A., Podgurski Yu.E. Computer networks and telecommunications. Modeling and analysis of computer networks: Telematics approach: Tutorial [*Seti EVM i Telekomunikacii. Modelirovanie i analiz komp'yuternyh setej: Telematicheskij podhod: Uchebnoe posobie*]. St. Petersburg, publishing house SPbGPU. Head of department RVKS, proff., associate Professor of technical Sciences Karpov Yu.G.. Deputy Director for scientific work spiran, honored worker of science, Associate professor of technical Sciences. Smirnov A.V. (rus)
18. Moskvina P.V. Tcl Alphabet. Hot Line-Telecom [*Azbuka Tcl., Goryachaya Liniya Telekom*]. 2003. 215 p. (rus)
19. Petrovski A.I., Command programming language Tcl (Tool Command Language) [*Komandnyj yazyk programmirovaniya Tcl (Tool Command Language)*]. M. Mayor, 2001. (rus)
20. Kulyabov D.S. Architecture and principles of construction of modern telecommunications networks and systems: Textbook [*Arhitektura i principy postroeniya sovremennyh setej i sistem telekommunikacij telekommunikacij: Ucheb. posobie*]. D.S.

Kulyabov, A.V. Korolkova. M.: RUDN. 2008. 281 p. (rus)

21. Alferov A.P., Zubov A.Yu., Kuzmin A.S., Cheremushkin A.V. Fundamentals of cryptography [*Osnovy kriptografii*]. Moscow: Helios ARV. 2002. 480 p. (rus)

22. Menezes A.J. van Oorschot P.C., S.A. CRC Handbook of Applied Cryptography. Vanstone. 1996. 795p.

23. DES [Electronic resource]. Wikipedia. Electronic text data. Access mode: <https://ru.wikipedia.org/wiki/DES>, (date of application: 05.05.2018 11:00).

24. Babenko L.K., Isakova E.A. Cryptographic methods and means of information security [*Kriptograficheskie metody i sredstva obespecheniya informacionnoj bezopasnosti*]. Taganrog: Institute of Technology of the southern Federal University, 2011. 146 p. (rus)

Information about the authors

Petruchuk Evgenii V. Student. E-mail: ser.vladislavovich@yandex.ru. Southern Federal University. Russia, 347928, Taganrog, Chehova st, 2, GSP-284.

Ivanov, Donat Ya. PhD, Senior Researcher. E-mail: donat.ivanov@gmail.com. Southern Federal University. Russia, 347928, Taganrog, Chehova st, 2, GSP-284.

Received in May 2019

Для цитирования:

Петручук Е.В., Иванов Д.Я. Организация информационного обмена в децентрализованных роевых системах управления мультиробототехническими комплексами с использованием технологии ZIGBEE // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 7. С. 140–155. DOI: 10.34031/article_5d35d0b6de2bb4.43911446

For citation:

Lavrov R.V., Klikin E.G., Novikov L.B. Organization of information exchange in decentralized swarm control systems of multi-robotic complexes using ZIGBEE. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 7. Pp. 140–155. DOI: 10.34031/article_5d35d0b6de2bb4.43911446

Научное издание
«Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова»
№ 7, 2019 г.

Научно-теоретический журнал

Координатор журнала
Алфимова Наталия Ивановна

Редактор журнала
Агеева Марина Сергеевна

Компьютерная верстка
Яшкина Светлана Юрьевна

Перевод на английский язык
Колесник Оксана Юрьевна

Учредитель журнала – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

Журнал зарегистрирован Министерством РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовой информации ПИ №ФС77-26533

Сдано в набор 9.06.19. Подписано в печать 26.07.19. Формат 60×84/8

Усл. печ. л. 18,02. Уч.-изд. л. 19,38

Тираж 40 экз. Заказ 115. 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

