

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**

№ 6, 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, произ

водства 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. Ставрополь).

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

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

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

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 академии 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 хозяйств Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

- Сорокин В.В., Шарапов О.Н., Шунькин Н.М., Кирюшина Н.Ю.**
НОВЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ, НАПОЛНЕННОЙ ТЕХНОГЕННЫМИ ОТХОДАМИ 8
- Полоз М.А., Шевченко А.В., Ерижокова Е.С.**
РАСЧЕТ ИЗГИБАЕМЫХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ВАРИАЦИОННОГО МЕТОДА ВЛАСОВА-МИЛЕЙКОВСКОГО С УЧЕТОМ ПОДАТЛИВОСТИ КОНТАКТНОГО ШВА 14
- Малахов А.В., Косинов В.В.**
К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА 22
- Карпов Д.Ф.**
ТЕПЛОВИЗИОННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТНЫХ ПОЛЕЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ 28
- Суслов Д.Ю., Темников Д.О., Алифанова А.И.**
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА РАСЧЕТА ГАЗОПРОВОДОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА И БИОГАЗА 34
- Абакумов Р.Г., Авилова И.П., Абакумова М.М., Пермькова А.А.**
ЭМПИРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРСОНИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ ОБРАЗОВАНИЯ КАК ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ 41
- Прядко И.П.**
СОЗДАНИЕ БЕЗБАРЬЕРНОГО АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНОГО ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ МАЛОМОБИЛЬНЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ И ПРОБЛЕМА ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В СФЕРЕ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ 49
- Ильвицкая С.В., Конева Е.Ю., Петрова Л.В.**
ВОССОЗДАНИЕ ХУДОЖЕСТВЕННО-ИСТОРИЧЕСКОГО ОБРАЗА ИНТЕРЬЕРОВ «КРАСНОЙ ЗОНЫ» МАЛОГО ТЕАТРА 58
- Хомякова Ю.Р., Вовженяк П.Ю.**
ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СВЕТОДИЗАЙНЕ 63
- Дмитрийчук Н.М., Денисова Ю.В.**
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРОДСКИХ ПАРКОВЫХ КОМПЛЕКСОВ 70
- Точина В.П., Попов А.Д., Танкова Н.А.**
ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ РЕНОВАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В МИРОВОЙ ПРАКТИКЕ 78
- Николаева А.С.**
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННО-ЭСТЕТИЧЕСКОГО ОБЛИКА ТУРИСТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА БАЙКАЛЕ 83

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

- Кочергин Ю.С., Золотарева В.В., Шатохина Д.С.**
РЕГУЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНЫХ ПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ДИФЕНИЛОЛМЕТАНА С ПОМОЩЬЮ МОДИФИКАТОРОВ 90
- Кудярова Н.П., Ожерельева А.Ю.**
ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ГИПСА НА КАЧЕСТВО КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ ЯЧЕЙСТОЙ СТРУКТУРЫ 96

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

- Поляков А.Н., Додоров А.И.**
МЕТОДИКА ВЫБОРА ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ НЕСУЩИХ СИСТЕМ СТАНКОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИХ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА 102
- Жадановский Б.В., Синенко С.А., Пахомова Л.А., Мухин А.В.**
МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫБОРА САМОХОДНЫХ КРАНОВ 117
- Серебрянный В.В., Бошляков А.А., Огородник А.И.**
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ ЗАХВАТНЫХ УСТРОЙСТВ РОБОТОВ 123
- Сазанович В.В., Муравьев К.А.**
СОВМЕСТНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РАДАРНОГО МЕТОДА И МЕТОДА ОСНОВАННОГО НА ПЕРЕПАДЕ ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ В РЕЗЕРВУАРАХ ХРАНЕНИЯ СЖИЖЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ И ЛЕГКОВОСПЛАМЕНЯЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ 136
- Фархадов З.И., Рагимов Ш.Р., Абдуллаев С.А., Осадчая М.С.**
УПРАВЛЕНИЕ КОМПЕНСАЦИЕЙ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ 144

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

| | |
|---|----|
| Sorokin V.V., Sharapov O.N., Shunkin N.M., Kiryushina N.Yu. NEW POLYMERIC COMPOSITES BASED ON EPOXY RESIN WITH TECHOGENIC WASTES | 8 |
| Poloz M.A., Shevchenko A.V., Erizhokova E.S. CALCULATION OF BENDABLE PRESTRESSED PRECAST-CAST-IN-PLACE STRUCTURES ON THE BASIS OF THE VLASOV-MILEYKOV VARIATIONAL METHOD TAKING INTO ACCOUNT THE JOINTS DEFORMABILITY | 14 |
| Malakhov A.V., Kosinov V.V. DETERMINATION OF TECHNICAL CONDITION OF BUILDING CONSTRUCTIONS BASED ON COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF BUILDING PRODUCTION | 22 |
| Karpov D.F. THERMOVISION METHOD OF DETERMING THE MOISTURE FIELDS OF BUILDING SURFACES OF CONSTRUCTION STRUCTURES OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS | 28 |
| Suslov D.Y., Temnikov D.O., Alifanova A.I. DEVELOPMENT OF SOWTWARE FOR CALCULATION OF NATURAL GAS AND BIOGAS PIPELINES | 34 |
| Abakumov R.G., Avilova I.P., Abakumova M.M., Permyakova A.A. EMPIRICAL ASPECTS OF PERSONIFICATION THE OBJECTS OF EDUCATION AS A PUBLIC SPACES | 41 |
| Pryadko I.P. CREATING A BARRIER-FREE ARCHITECTURAL AND PLANNING SPACES FOR PEOPLE WITH LIMITED MOBILITY AND THE TRAINING OF SPECIALISTS IN THE FIELD OF CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE | 49 |
| Ilvitskaya S.V., Koneva E.Y., Petrova L.V. RECREATING ART-HISTORICAL IMAGE OF THE «RED ZONE» INTERIOR IN THE MALY THEATRE | 58 |
| Khomyakova Y.R., Vovzhenyak P.Y. OPPORTUNITIES OF MODERN TECHNOLOGIES IN LIGHTING DESIGN | 63 |
| Dmitriyчук N.M., Denisova J.V. THE DESIGN OF URBAN PARK SYSTEMS | 70 |
| Tochina V.P., Popov A.D., Tankova N.A. PRINCIPLES AND METHODS OF RENOVATION OF INDUSTRIAL FACILITIES IN THE WORLD PRACTICE | 78 |
| Nikolaeva A.S. FEATURES OF FORMATION THE COMPOSITION AND AESTHETIC IMAGE OF THE TOURIST COMPLEX ON BAIKAL | 83 |

CHEMICAL TECHNOLOGY

| | |
|---|----|
| Kochergin Y.S., Zolotareva V.V., Shatohina D.S. REGULATION OF PROPERTIES OF EPOXY POLYMERS BASED ON DIPHENYLMETHANE USING MODIFIERS | 90 |
| Kudeyarova N.P., Ozhereleva A.Y. EFFECT OF GYPSUM ADDITIVE ON QUALITY OF COMPOSITIONAL BINDING FOR PRODUCTS OF CELLULAR STRUCTURE | 96 |

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

| | |
|---|-----|
| Polyakov A.N., Dodorov A.I. THE METHOD OF SELECTION THE SOLID FINITE ELEMENT MODELS OF LOAD-BEARING SYSTEMS OF MACHINE TOOLS WHEN PERFORMING ENGINEERING ANALYSIS | 102 |
| Zhadanovskiy B.V., Sinenko S.A., Pahomova L.A., Mukhin A.V. METHODICAL BASES OF SELECTION THE MOBILE CRANES | 117 |
| Serebrennyj V.V., Boshlyakov A.A., Ogorodnik A.I. DRIVE UNIT MATHEMATICAL MODEL OF ROBOT GRIPPING DEVICES | 123 |
| Sazanovich V.V., Muravyov K.A. THE COMBINED USE OF THE RADAR METHOD AND THE METHOD BASED ON THE DIFFERENTIAL PRESSURE FOR LEVEL MEASUREMENT IN STORAGE TANKS OF LIQUEFIED HYDROCARBON GASES AND HIGHLY FLAMMABLE LIQUIDS UNDER PRESSURE | 136 |
| Farhadov Z.I., Rahimov Sh.R., Abdullayev S.A., Osadchaya M.S. COMPENSATION CONTROL OF REACTIVE POWER OF THE INDUCTION FURNACE BASED ON FUZZY LOGIC | 144 |

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/article_5cfe59014559c5.13817036

¹Сорокин В.В., ^{1,*}Шарапов О.Н., ¹Шунькин Н.М., ¹Кирюшина Н.Ю.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

*E-mail: Y31rus@yandex.ru

НОВЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ, НАПОЛНЕННОЙ ТЕХНОГЕННЫМИ ОТХОДАМИ

Аннотация. В работе исследована микроструктура газосиликатных отходов. Установлено, что различия в характере распределения частиц по размерам влияют на реологию, абразивность и устойчивость к истиранию, прочность материала. Исследована кинетика полимеризации эпоксидных связующих в исходном и наполненном образцах: частицы наполнителя препятствуют сшиванию молекул полимера, нарушая объемную структуру полимерной матрицы. В результате исследований показана возможность направленного регулирования физико-механических свойств эпоксидных композитов за счет введения дисперсных наполнителей с приданием связующим комплекса более высоких физико-механических свойств, что расширяет области их применения в большинстве отраслей промышленности. Теоретическое обоснование состоит в том, что теплотехнические параметры наполнителя гораздо ниже параметров основного сырья, и в то же время пористость материала-наполнителя за счет собственных пор и образовавшихся при смешивании разнородных материалов дало эффект поглощения тепловой энергии, что в конечном итоге и приводит к увеличению термического сопротивления образцов, и незначительному уменьшению коэффициента теплопроводности.

Ключевые слова: эпоксидные компаунды, наполнение, газобетон, полимеризация.

Введение. В настоящее время эпоксидные смолы находят все более широкое применение во многих областях строительной индустрии в качестве клеевых составов, связующего вещества, гидроизоляционных и декоративных покрытий, химически и физически стойких покрытий. Этому способствует целый комплекс полезных свойств эпоксидных компаундов: простота отверждения, высокие механические и электроизоляционные свойства, высокая химическая стойкость, универсальность применения [6–8, 10]. Решение задачи разработки эпоксидных клеев и покрытий, сочетающих высокие показатели механической прочности, жесткости, теплопроводности, диэлектрических и других свойств с простотой технологии переработки и низкой стоимостью практически невозможно без применения наполнителей.

В качестве наполнителей, как правило, применяют твердые тонкодисперсные вещества с зернистой или пластинчатой структурой. Привлекательными для использования в качестве наполнителей являются техногенные отходы, преимущество которых заключается в низкой стоимости, низкой плотности, хороших прочностных характеристиках. Так, в работе Ерофеевой А.А. наполнителями служили бой стекла и кирпича [1]. В работе [2] предложен состав эпоксидно-древесной композиции, включающий пенополистирольную крошку и сосновые опилки; данная композиция применяется в качестве конструкционно-теплоизоляционного материала.

Введение в компаунд резиновой крошки и асбофрикционных отходов повышает деформационную работоспособность композита [3]. В работах [4, 5] на основе эпоксидной смолы и крупнотоннажного отхода – гидролизованного лигнина получены негорючие композиционные материалы. Одним из накопленных техногенных отходов в Белгородской области являются отходы газосиликатного бетона, образующиеся при торцевании массива блока. Частично часть их возвращают в производство, но объем образующихся отходов превышает переработку. Перспективным представляется использование данного отхода в качестве дисперсного наполнителя производства эпоксидных композитов.

Объекты и методы исследования. В качестве полимерных матриц были исследованы составы холодного отверждения на основе промышленных эпоксидиановых смол ЭД-20, их смесей с полиэтиленполиамином и частицами аэробела. Эпоксидно-диановая смола ЭД-20 (ГОСТ 10587-84), представляет собой олигомер основе диглицидилового эфира дифенилолпропана. Отверждение проводили с помощью отвердителя полиэтиленполиамины ПЭПА (ТУ 2413-214-00203312-2002). В качестве дисперсного наполнителя использовались дроблённые газобетонные блоки марки D 500 с фракцией 0,2–0,8 мм.

Исследование образца газобетона методом оптической микроскопии показало, что неравно-

мерные частицы аэробела существуют в виде пористых частиц выделявшегося в автоклаве водорода. Поры Микрофотографии демонстрируют замкнутые поры округлой формы и тупиковые открытые поры, а также неровную поверхность

наполнителя. Данные различия в характере распределения частиц влияют на реологию, абразивность, теплоизоляционные свойства, прочность материала (рис. 1).

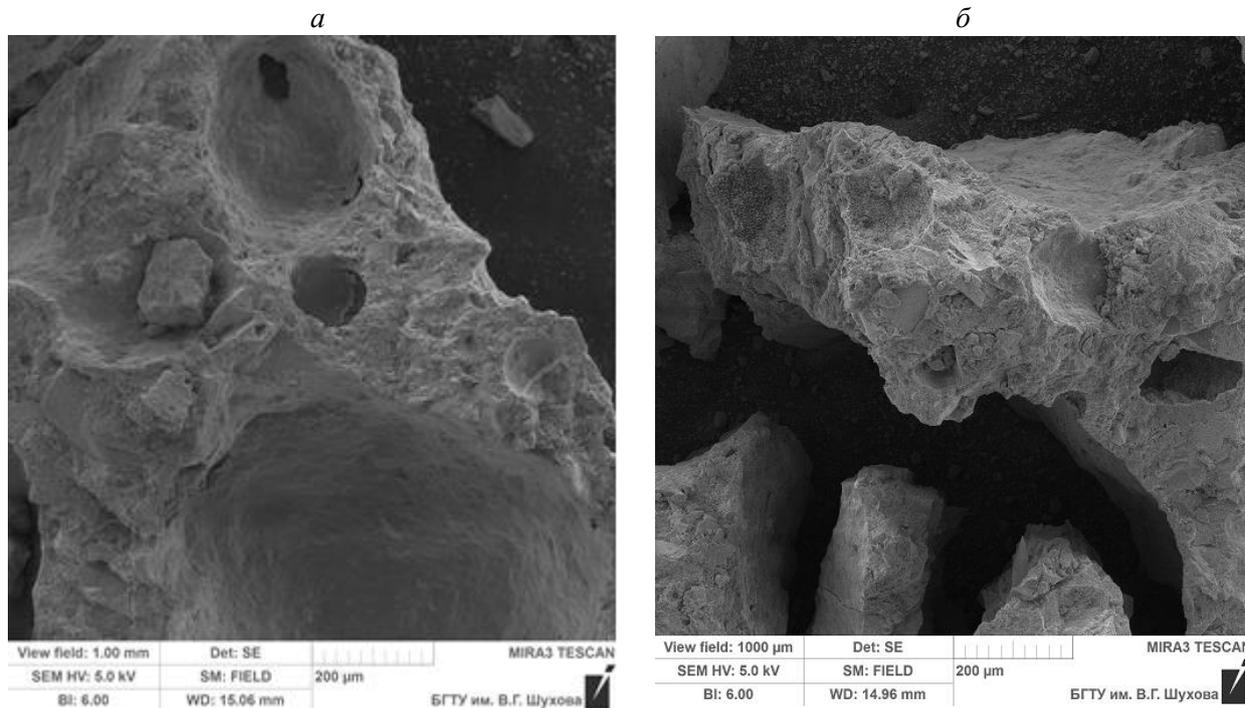


Рис. 1. Микроструктура газобетона с увеличением 1 мм (а), 1000 нм (б)

Образцы эпоксиполимеров, наполненных аэробелом, готовили путем одновременного добавления наполнителя и отвердителя в эпоксидную смолу при перемешивании. Эпоксидные связующие заливались в формы в виде прямоугольного параллелепипеда размером 25×25 см и равномерно распределялись по всей поверхности форм. Заливка происходила при комнатной температуре 22 °С, с последующим наблюдением за протеканием реакции, в ходе которой наблюдалось повышение температуры эпоксидиановой смолы и отвердителя. Показателем завершения реакции полимеризации являлось прекращение нагрева композиционной смеси. Жизнеспособность и степень отверждения композитных смесей представлены на рис. 2. Установлено, что при введении в качестве наполнителя частицы газобетона в количестве 50 масс. ч., процесс гелеобразования материала сопровождается сокращением времени с 80 мин до 65 минут и снижением температуры отверждения с 55 до 36 °С. Таким образом, частицы газобетона препятствуют сшиванию молекул полимера, нарушая объемную структуру матрицы, переводя ее в пленочное состояние.

Экспериментальные исследования композиционно отверждаемых эпоксидных смол проводились по ГОСТ 7076-99 [12].

Пузырьки воздуха, образовавшиеся в результате перемешивания композитных смесей, после их заливки в формы, под действием повышенной температуры, в ходе реакции полимеризации, поднимались к поверхности залитой формы и улетучивались. Тем самым оставляя форму с минимальным количеством воздушных пор и пустот [9,11].

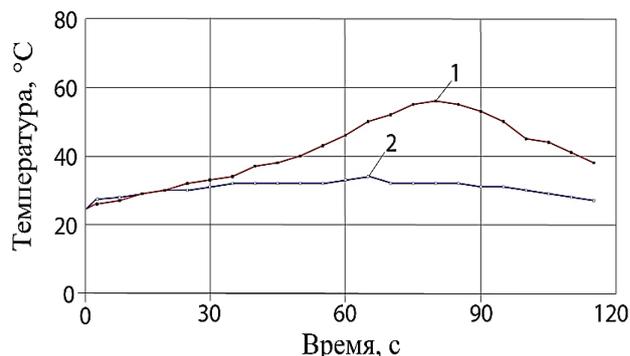


Рис. 2. Кинетика отверждения эпоксидных композиций состава, масс. ч.:
1 – 90 ЭД-20 + 10 ПЭПА;
2 – 90 ЭД-20 + 10 ПЭПА + 50 Аэробел

После полного отверждения композитных смесей с изготовленными образцами проводились испытания на определение теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме, на предварительно

градуированном приборе (согласно порядку и периодичности градуировки приведённых в приложении Б ГОСТ) ИТП-МГ4.

Предварительно грани образцов, контактирующих с рабочими поверхностями плит прибора, были отшлифованы до плоского и ровного состояния. Отклонение лицевых граней образцов от параллельности составляло не более 0,5 мм. Также образцы были высушены до постоянной массы, в ходе высушивания потери по массе в течение 0,5 ч не превышали 0,1 %.

Подлежащие испытанию образцы поочередно помещали в измерительный прибор. Длительность испытания одного образца составляла 5400 с. Температура холодильника и нагревателя составляла $T_x = 10$ °С, $T_n = 25$ °С. Температуры подбирались в соответствии с паспортными данными измерительного прибора в зависимости от толщины образцов.

Благодаря тому, что измерительное устройство обладает микропроцессором – обеспечивалось измерение сигналов датчиков стационарной установкой без прямого участия оператора. В результате чего, после завершения испытания образцов прибор приводил уже готовые вычисления физических значений. Вычисление теплопроводности Λ (эффективной теплопроводности)

и теплового сопротивления R (при стационарном тепловом режиме), производилось вычислительным устройством по формулам:

$$\Lambda = \frac{H \cdot q}{T_n - T_x} \quad (1)$$

$$R = \frac{T_n - T_x}{q} - 2R_k \quad (2)$$

где Λ – эффективная теплопроводность, R – тепловое сопротивление, R_k – тепловое сопротивление между лицевой гранью образца и рабочей поверхностью плиты прибора, H – толщина измерительного образца, q – плотность стационарного теплового потока, проходящего через измеряемый образец, T_n – температура горячей грани измеряемого образца, T_x – температура холодной грани измеряемого образца [12].

Определение показателей теплоёмкости и термического сопротивления исследуемых композиционно отверждаемых эпоксидных смол проводилось в соответствии с требованиями действующей нормативно-технической документации.

Основная часть. Результаты испытаний эпоксидных связующих представлены в табл. 1.

Таблица 1

Таблица сводных данных по результатам испытания

| Состав композита, масс. ч. | Тепловое сопротивление, R , м ² К/Вт | Эффективная теплопроводность, Λ , Вт/мК | S , см ² | H , мм | m , кг | T_x , °С | T_n , °С | T_{Δ} , °С |
|---------------------------------|---|---|-----------------------|----------|----------|------------|------------|-------------------|
| 90 ЭД-20 + 10 ПЭПА | 0,22 | 0,034 | 625 | 7,5 | 0,52 | 10 | 25 | 15 |
| 90 ЭД-20 + 10 ПЭПА + 50 Аэробел | 0,187 | 0,036 | 625 | 6 | 0,45 | 10 | 25 | 15 |

На основании результатов испытаний, приведённых в табл. 1, можно сделать вывод о том, что наполненный газобетоном композитный компаунд, обладает на 15 % менее высоким термическим сопротивлением в сравнении с ненаполненным образцом, что составляет $R_{\Delta} = 0,034$ м²·К/Вт. Теплопроводность наполненного полимера на 5,88 % больше теплопроводности исходного образца и составляет $\Lambda = 0,036$ Вт/мК.

Данные результаты связаны с физическими свойствами газобетона. При марке прочности D500 блок из газобетона имеет теплопроводность равную 0,112 Вт/м·К, при влажности 0 %, и 0,147 Вт/м·К при влажности 5 %, что на 0,078 Вт/м·К и 0,113 Вт/м·К соответственно больше коэффициента теплопроводности композита №1 состоящего исключительно из стандартной эпоксидно-диановой не отверждённой смолы ЭД-20 и полиэтиленполиамин в виде отвердителя ПЭПА. Так же немаловажен тот аспект, что

в результате дробления газоблока до фракции 0,8–0,2 мм был уменьшен объём ячеек воздуха, содержащийся в порах и пустотах исходного образца.

Выводы. В ходе проведения исследований выявлен характер влияния композитной добавки в виде дроблёного газобетона на свойство теплопроводности и термического сопротивления композиционно-отверждаемых эпоксидных смол [10, 12, 13].

Испытания показали, что применение данного наполнителя в соотношении 1/2 от массы образца, приводит к незначительным изменениям теплотехнических характеристик образца. Установлено, что композитная добавка приводит к увеличению значения теплопроводности от $\Lambda = 0,034$ Вт/м·К. (без наполнителя), до $\Lambda = 0,036$ Вт/м·К. (с наполнителем). А также к уменьшению термического сопротивления от $R = 0,220$ м²·К/Вт (без наполнителя), до

$R = 0,187 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$. (с наполнителем). Теоретическое обоснование данного результата состоит в том, что теплотехнические параметры наполнителя гораздо ниже параметров основного сырья, и в то же время пористость материала-наполнителя за счет собственных пор и образовавшихся при смешивании разнородных материалов дало эффект поглощения тепловой энергии, что в конечном итоге и привело к результатам эксперимента. На основании чего можем сделать вывод, что применение дроблёного газобетона в композициях эпоксидных смол приводит к увеличению термического сопротивления образцов, и незначительному уменьшению коэффициента теплопроводности.

Таким образом, приведенные в статье результаты исследования дают возможность установить различия в характере распределения частиц по размерам влияют на теплотехнические свойства материала. Результат исследований показал возможность направленного регулирования физико-механических и теплотехнических параметров эпоксидных композитов за счет введения дисперсных наполнителей с приданием связующим комплекса более высоких физико-механических и теплотехнических свойств, что расширяет области их применения в большинстве отраслей промышленности [8, 9, 14].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ерофеева А.А. Эпоксидные композиты с применением местных заполнителей, модифицированные карбамидными смолами и амидополиаминами: автореф. дис... канд. техн. наук / А.А. Ерофеева. Пенза. 2006. 20 с.
2. Пат. 2326912 Российская Федерация, МПК С09D163/02, В27N3/02, С04В111/27. Эпоксидно-древесная композиция с отходами производства пенополистирола / Ярцев В.П., Киселева О.А., Лотц Н.С.; патентообладатель ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет». № 2007101043/04; заявл. 09.01.2007; опубл. 20.06.2008. Электрон. версия печ. публ. Режим доступа: <http://www.fips.ru/>
3. Хорохордин А.М., Хорохордина Е.А., Рудаков О.Б. Эпоксидные композиции в строительстве // Вестник воронежского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. №1. С. 7–18.
4. Абрамова А.Г., Иванова Т.Г., Иванов С.В. Новые негорючие композиционные материалы на основе эпоксидной смолы и лигнина // Известия вузов. Северо-кавказский регион. Технические науки. 2014. № 5. С. 73–76.
5. Алалыкин А.А., Веснин Р.Л., Козулин Д.А. Получение модифицированного гидролизованного лигнина и его использование для наполнения и снижения горючести эпоксидных композиций // Журнал прикладной химии. 2011. Т. 84. № 9. С. 1567–1574.
6. Agrawal A., Satapathy A. Mathematical model for evaluating effective thermal conductivity of polymer composites with hybrid fillers // Intern. J. of Thermal Sciences. 2015. №89. Pp. 203–209.
7. Gao B.Z., Xua J.Z., Pengc J.J., Kanga F.Y., Dua H.D., Lia J., Chianga S.W., Xua C.J., Hua N., Ninga X.S. Experimental and theoretical studies of effective thermal conductivity of composites made of silicone rubber and Al_2O_3 particles // Thermochimica Acta. 2015. № 20. Pp. 1–8.
8. Kasen M.B., Schramm R.E. Current status of standardized nonmetallic cryogenic laminates // Advances in Cryogenic Engineering. 1981. №28. Pp. 171–177.
9. Xua J., Gaoa B., Dua H., Kanga F. A statistical model for effective thermal conductivity of composite materials // Intern. J. of Thermal Sciences. 2016. № 104. Pp. 348–356.
10. Билалов Я.М., Вольных Д.Н., Байрамов В.В., Алиева С.Ф., Мамедов И.С. Модификация эпоксидной смолы ЭД-16 глицидил-уретановым олигомером // Пластические массы. 2011. №7. С. 5-8.
11. Богатеев Д.Г., Богатеев Г.Г., Михайлов А.С., Абдуллин И.А., Михайлов В.А., Моисеева Н.А. Исследование характеристик теплозащитных покрытий // Вестник казанского технологического университета. 2010. №7. С. 350–356.
12. ГОСТ 7076-99 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме». МНТКС. Москва 2000. 23 с.
13. Старокадомский Д. Длинный век эпоксидки // Наука и жизнь. 2018. № 1. С. 66–69.
14. Кудряков А.И., Турнаева Е.А., Хафизова Э.Н. Декоративные покрытия на основе эпоксидных смол для производства фасадных плит // Вестник томского государственного архитектурно-строительного университета. 2010. №1. С. 136–142.
15. Рябов Д.Д., Наумкин Н.С., Шестаков А.Б., Иваненко А.А., Шестаков Н.П. Исследование эпоксидного полимера, полученного в результате полимеризации на границе раздела эпоксидная смола – отвердитель // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2012. №8. С. 133–134.

Информация об авторах

Сорокин Владимир Васильевич, студент кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: Y31rus@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Шарапов Олег Николаевич, старший преподаватель кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: Y31rus@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Шуныкин Никита Максимович, студент кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: Y31rus@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Кирюшина Наталья Юрьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной экологии. E-mail: nataeco@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в марте 2019 г.

© Сорокин В.В., Шарапов О.Н., Шуныкин Н.М., Кирюшина Н.Ю., 2019

¹*Sorokin V.V., ^{1,*}Sharapov O.N., ¹Shunkin N.M., ¹Kiryushina N.Yu.*

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

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

**E-mail: Y31rus@yandex.ru*

NEW POLYMERIC COMPOSITES BASED ON EPOXY RESIN WITH TECHNOGENIC WASTES

Abstract. *The microstructure of gas silicate wastes is investigated. It is established, differences in particle size distribution affect rheology, abrasivity, abrasion resistance and material strength. The kinetics of polymerization of epoxy binders in the initial and filled samples is investigated: filler particles prevent the crosslinking of polymer molecules, breaking the bulk structure of the polymer matrix. As a result of research, the possibility of directional regulation of the physicomechanical properties of epoxy composites due to the introduction of dispersed fillers is shown, giving the binder complexes higher physicomechanical properties, which expands the areas of their application in most industries. The theoretical justification is that the thermal parameters of the filler are much lower than the parameters of the main raw material. At the same time, the porosity of the filler material due to its own pores and heterogeneous materials formed during mixing gives the effect of thermal energy absorption, which ultimately leads to an increase in the thermal resistance of the samples and a slight decrease in the thermal conductivity coefficient.*

Keywords: *epoxide compounds, filling, aerated concrete, polymerization.*

REFERENCES

1. Erofeeva A.A. Epoxy composites with the use of local fillers, modified with carbamide resins and amid-polyamines: synopsis of thesis of a candidate of technology [*Epoksidnye kompozity s primeneniem mestnyh zapolnitelej, modificirovannye karbamidnymi smolami i amidopoliaminami*]. Penza. 2006. 20 p. (rus)

2. Yartsev V.P., Kiseleva O.A., Lotz N.S. Patent 2326912 Russian Federation, IPC C09D163/02, B27N3/02, C04B111/27. Epoxy-wooden composite with polystyrene production waste [*Epoksidno-drevesnaya kompoziciya s othodami proizvodstva penopolistirola*]; № 2007101043/04; publ. 20.06.2008. On-line version of printed publication. Access mode: <http://www.fips.ru/> (rus)

3. Khorokhordin A.M., Khorokhordina E.A., Rudakov O.B. Epoxy compositions in construction

[*Epoksidnye kompozicii v stroitel'stve*]. Bulletin in Voronezh State Architecture and Construction University. 2017. No. 1. Pp. 7–18. (rus)

4. Abramova A.G., Ivanova T.G., Ivanov S.V. New incombustible composite materials based on epoxy resin and lignin. News of Higher Educational Institutions. North Caucasian region. Technical sciences. 2014. No. 5. Pp. 73–76.

5. Alalykin A.A., Vesnin R.L., Kozulin D.A. Obtaining modified hydrolized lignin and its application for filling epoxy composites and reducing their flammability [*Poluchenie modificirovannogo gidroliznogo lignina i ego ispol'zovanie dlya napolneniya i snizheniya goryuchesti epoksidnyh kompozicij*]. Journal of Applied Chemistry. 2011. V. 84. No. 9. Pp. 1567–1574. (rus)

6. Agrawal A., Satapathy A. Mathematical model for evaluating effective thermal conductivity

of polymer composites with hybrid fillers. Intern. J. of Thermal Sciences. 2015. No. 89. Pp. 203–209.

7. Gao B.Z., Xua J.Z., Peng J.J., Kanga F.Y., Dua H.D., Lia J., Chianga S.W., Xua C.J., Hua N., Ninga X.S. Experimental and theoretical studies of effective thermal conductivity of composites made of silicone rubber and Al₂O₃ particles. Thermo-chimicaActa. 2015. No. 20. Pp. 1–8.

8. Kasen M.B., Schramm R.E. Current status of standardized nonmetallic cryogenic laminates. Advances in Cryogenic Engineering. 1981. №28. Pp. 171–177.

9. Xua J., Gao B., Dua H., Kanga F. A statistical model for effective thermal conductivity of composite materials. Intern. J. Of Thermal Sciences. 2016. No. 104. Pp. 348–356.

10. Bilalov Ya.M., Volnykh D.N., Bayramov V.V., Alieva S.F., Mamedov I.S. Modification of epoxy resin ED-16 glycidyl-urethane oligomer [Modifikatsiya epoksidnoj smoly ED-16 glicidil-uretanovym oligomerom]. Plastic masses. 2011. №7. Pp. 5–8. (rus)

11. Bogateev D.G., Bogateev G.G., Mikhailov A.S., Abdullin I.A., Mikhailov V.A., Moiseeva N.A. Research of the properties of heat-insulating coatings [Issledovanie harakteristik teplozashchitnyh pokrytij]. Bulletin of Kazan Technological University. 2010. No. 7. Pp. 350–356. (rus)

12. GOST 7076-99 «Building materials and products. Method of determining heat conductivity and heat transfer resistance at steady temperature conditions» [Materialy i izdeliya stroitel'nye. Metod opredeleniya teploprovodnosti i termicheskogo so-protivleniya pri stacionarnom teplovom rezhime]. MNTKS. Moscow 2000. 23 p. (rus)

13. Starokadomsky D. Long life of epoxy resin [Dlinnyj vek epoksidki]. Science and life. 2018. No. 1. Pp. 66–69. (rus)

14. Kudyakov A.I., Turnaeva E.A., Khafizova E.N. Decorative coatings on the basis of epoxy resins for facade boards production [Dekorativnye pokrytiya na osnove epoksidnyh smol dlya proizvodstva fasadnyh plit]. Bulletin of Tomsk State Architecture and Construction University. 2010. No. 1. Pp. 136–142. (rus)

15. Ryabov D.D., Naumkin N.S., Shestakov A.B., Ivanenko A.A., Shestakov N.P. Research of an epoxy polymer, obtained as a result of polymerization at the interface epoxy resin – hardener [Issledovanie epoksidnogo polimera, poluchennogo v rezul'tate polimerizatsii na granice razdela epoksidnaya smola – otverditel]. Topical issues of air transport and space technology. 2012. No. 8. Pp. 133–134. (rus)

Information about the authors

Sorokin, Vladimir V. Student. E-mail: Y31rus@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, St. Kostyukova, 46.

Sharapov, Oleg N. Senior. E-mail: Y31rus@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, St. Kostyukova, 46.

Shunkin, Nikita M. Student. E-mail: Y31rus@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova str., 46.

Kiryushina, Natalia Yr. PhD, Associate Professor. E-mail: nataeco@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, St. Kostyukova, 46.

Received in March 2019

Для цитирования:

Сорокин В.В., Шараров О.Н., Шунькин Н.М., Кирюшина Н.Ю. Новые полимерные композиты на основе эпоксидной смолы, наполненной техногенными отходами // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 6. С. 8–13. DOI: 10.34031/article_5cfe59014559c5.13817036

For citation:

Sorokin V.V., Sharapov O.N., Shunkin N.M., Kiryushina N.Yu. New polymeric composites based on epoxy resin with techogenic wastes. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 6. Pp. 8–13. DOI: 10.34031/article_5cfe59014559c5.13817036

DOI: 10.34031/article_5d077fc7221d70.62441039

^{1,*}Полоз М.А., ¹Шевченко А.В., ²Ерижокова Е.С.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26

*E-mail: max.poloz@inbox.ru

РАСЧЕТ ИЗГИБАЕМЫХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ВАРИАЦИОННОГО МЕТОДА ВЛАСОВА-МИЛЕЙКОВСКОГО С УЧЕТОМ ПОДАТЛИВОСТИ КОНТАКТНОГО ШВА

Аннотация. Сборно-монолитные железобетонные конструкции с и без предварительного напряжения арматуры используются как вновь проектируемые самостоятельные, так и являются результатом проведения работ по усилению существующих конструкций наращиванием сечения. В обоих случаях поперечное сечение таких элементов рассматривается как двухслойное, а получающийся составной элемент работает под нагрузкой в условиях распределенных между слоями внутренних усилий, механизм и фактическая величина распределения которых зависит от физико-механических характеристик, расчетной схемы и параметров контактного взаимодействия слоев. При расчете и конструировании предварительно напряженных железобетонных сборно-монолитных элементов податливость шва сдвига обычно не учитывается, что осложняет анализ действительного напряженно-деформированного состояния конструкции и содержит определенный нераскрытый потенциал ее рационального проектирования. Одним из возможных направлений в решении задачи, учитывающей сдвиг контактного шва, является использование вариационных принципов строительной механики при расчете таких конструкций, как стержней составного сечения. В рамках данной работы рассматриваются вопросы практической применимости при структурном анализе составного железобетонного сборно-монолитного стержня вариационных принципов строительной механики на основе метода В.З. Власова – И.Е. Милейковского в форме перемещений. Приведены результаты численных расчетов по предложенной методике, что позволяет учитывать специфику работы связей сдвига сборного и монолитного слоя, осуществлять практический учет податливости шва и осуществлять рациональное проектирование сборно-монолитных конструкций.

Ключевые слова: вариационный метод Власова-Милейковского, напряженно-деформированное состояние, составной стержень, сборно-монолитный железобетон, предварительное напряжение арматуры.

Сборно-монолитные железобетонные конструкции с и без предварительного напряжения арматуры используются как вновь проектируемые самостоятельные, так и являются результатом проведения работ по усилению существующих конструкций наращиванием сечения [8, 7, 10]. В обоих случаях поперечное сечение таких элементов рассматривается как двухслойное, а получающийся составной элемент работает под нагрузкой в условиях распределенных между слоями внутренних усилий, механизм и фактическая величина распределения которых зависит от физико-механических характеристик, расчетной схемы и параметров контактного взаимодействия слоев, что делает детальный учет последнего обстоятельства важным фактором обеспечения достоверности расчетных параметров напряженно-деформированного состояния конструкций, а используемый при этом аналитический аппарат строительной механики – инструментом существенного повышения рациональности проектирования конструкций [11–15].

В качестве предлагаемого расчетного аппарата для деформационного расчета стержневых сборно-монолитных конструкций принят вариационный метод В.З. Власова в форме метода перемещений [2, 3, 8]. Для построения аналитических зависимостей используются общие гипотезы смешанного метода Власова в сочетании с дополнительными гипотезами, касающимися особенностей работы составного сечения и специфики деформирования железобетона с учетом критерия предельной растяжимости бетона и режима нагружения конструкции. Предпосылки для расчета следующие:

– для составного элемента в целом, а также для отдельных его составляющих брусьев справедлива гипотеза Бернулли (гипотеза плоских сечений);

– в работе на сдвиг по шву между элементами учитывается работа материала шва, прилегающего к шву элемента контактной зоны бетонов соединяемых брусьев и поперечных стержней-нагелей (при их наличии).

– учет предварительного напряжения арматуры моделируется эквивалентным из условий прочности и жесткости выбором единичных функций, распределенных по высоте поперечного сечения элемента.

Расчет сборно-монолитной стержневой конструкции представляется как расчет составного стержня, состоящего из двух брусков, с применением вариационного полуаналитического метода в форме перемещений [1]. В данном случае необходимо раскрыть статическую неопределенность составного стержня, для чего по аналогии расчета оболочек из трансверсально-изотропного материала оставим две группы интегральных уравнений, представленных в табл. 1. Согласно принятым гипотезам изменение деформаций по высоте сечения можно считать линейными. При этом составляющие вектора перемещений представлены в следующем виде:

$$U(x, z) = \sum_{i=1}^{\Omega_1} U_0(x) \xi_0(z) - \sum_{i=0}^{\Omega_0} \bar{U}_i(x) \bar{\xi}_i(z), \quad (1)$$

$$V_0(x, z) = \sum_{i=0}^{\Omega_0} V_i(x) \xi_i(z), \quad (2)$$

$$U_i(x) = -V_i'(x), \quad (3)$$

где $\bar{U}_i(x)$, $V_i(x)$ – искомые функции обобщенных перемещений; $\bar{\xi}_i(z)$, $\xi_0(z)$ – единичные функции, зависящие от координаты z по сечению сборно-монолитного стержня; Ω_0 , Ω_1 – число степеней свободы поперечной полоски шириной dx .

По аналогии с выводом формул для оболочек будем рассматривать поперечное сечение стержня как шарнирно-стержневой полигон [8, 10]. При предложенном линейном распределении единичных функций по ширине грани полигона число степеней свободы Ω_1 поперечной полоски шириной dx будет равно числу узлов полигона.

Число степеней свободы Ω_1 определяется количеством единичных функций $\bar{\xi}_i(z)$ и соответствующим им искомым обобщенным функциям $\bar{U}_i(x)$, в данном случае $\Omega_1 = 2$. Для учета связей сдвига добавляется число степеней свободы Ω_0 . Этим числом описываются единичные функции $\xi_0(z)$ и соответствующие им искомые обобщенные функции продольных перемещений $U_0(x)$, для данного случая $\Omega_0 = 1$.

В табл. 1 приняты следующие обозначения: D^n – оператор дифференцирования функций $\bar{U}_i(x), V_i(x)$ по переменной x n раз. Свободные

члены \bar{p}_d, p'_j, q_j приняты как интегралы внешней нагрузки, умноженные на соответствующие единичные функции, взятые по поперечному сечению составного стержня. q_j – внешняя равномерно распределенная нагрузка, приложенная к составному стержню. p'_j – функция обобщенных поперечных усилий в составном стержне. \bar{p}_d – преднапряжение составного стержня. Таким образом, для определения трех независимых групп обобщенных перемещений $\bar{U}_i(x), V_i(x)$ вводится «основная система» метода перемещений, для чего узлы элементарной полоски шириной dx закрепляются фиктивными связями, количество которых равно числу степеней свободы. Для стержневых конструкций в качестве применения данной методики целесообразнее использовать так называемые фиктивные связи (полисвязи), т.е. закрепление сечения на множестве точек, являющееся в целом единой связью для элементарной полоски [9, 10].

Таблица 1

Система уравнений метода перемещений для расчета сборно-монолитного составного стержня

| Группы уравнений | Функции | | Свободные члены |
|------------------|--------------------------------|------------------------|-----------------|
| | $\bar{U}_c(x)$ | $V_i(x)$ | |
| I | $\sum_c (J_{dc} D^2 - b_{dc})$ | $-\sum_i J_{di}^* D^3$ | \bar{p}_d |
| II | • | $\sum_i J_{ji} D^4$ | $-(p'_j + q_j)$ |

Вычисление коэффициентов уравнений табл. 1 производится интегрированием соответствующих функций единичных перемещений по следующим формулам:

$$\left\{ \begin{aligned} J_{dc} &= \int_h A_1 \bar{\xi}_d(z) \bar{\xi}_c(z) dz; \\ J_{di}^* &= \int_h A_1 \bar{\xi}_d(z) \xi_i(z) dz; \\ J_{ji} &= \int_h A_1 \xi_j(z) \xi_i(z) dz; \\ b_{dc} &= G_d [\bar{\xi}_d^h(z) - \bar{\xi}_d^g(z)] \cdot [\bar{\xi}_c^h(z) - \bar{\xi}_c^g(z)]; \\ \bar{p}_d &= \int_h q_x \bar{\xi}_d(z) dz; \\ q_j &= \int_h q_z \xi_j'(z) dz; \\ p_j' &= \int_h \frac{\partial q_x}{\partial x} \xi_j(z) dz. \end{aligned} \right. \quad (4)$$

Для составления канонических уравнений метода перемещений приравниваются нулю реакции в фиктивных связях и внешние нагрузки

[4]. В результате получаем совместную систему из двух групп уравнений равновесия.

В каждой точке сборно-монолитной конструкции при нагружении равномерно распределенной нагрузкой (рис. 1) разложим компоненты вектора перемещений в следующем виде:

$$V(x, z) = V_0(x) \frac{\partial \xi_0(z)}{\partial z}, \quad (5)$$

$$U(x, z) = -V_0'(x)\xi_0(z) + \bar{U}_1(x)\bar{\xi}_1(z) + \bar{U}_2(x)\bar{\xi}_2(z). \quad (6)$$

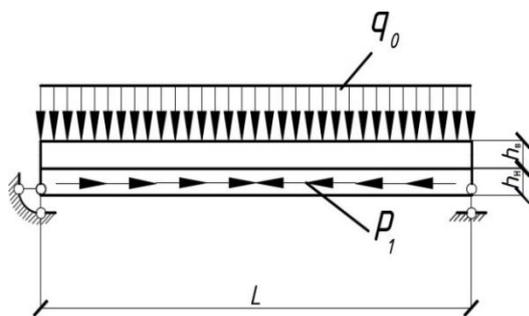


Рис. 1. Расчетная схема преднапрягаемого сборно-монолитного железобетонного элемента при равномерно распределенном нагружении

Единичные функции $\xi_0(z), \bar{\xi}_1(z), \bar{\xi}_2(z)$ описывают перемещения стержня от изгиба, сдвига и растяжения (сжатия) соответственно (рис. 2). Искомые обобщенные функции $V_0(x), \bar{U}_1(x), \bar{U}_2(x)$ характеризуют изгиб, сдвиг и растяжение (сжатие) соответственно [1].

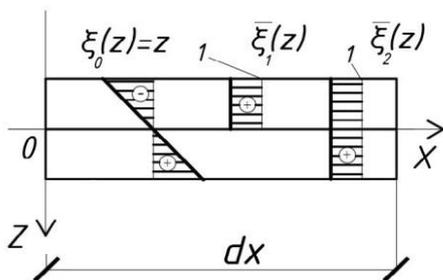


Рис. 2. Распределение единичных функций перемещений по высоте сечения сборно-монолитного железобетонного элемента

Система расчетных уравнений принимает следующий вид:

$$\begin{cases} \bar{J}_{11}\bar{U}_1''(x) - b_{11}\bar{U}_1'(x) - J_{10}^*V_0'''(x) + J_{12}^*\bar{U}_2''(x) + \bar{p}_1 = 0; \\ \bar{J}_{21}\bar{U}_1''(x) + \bar{J}_{22}\bar{U}_2''(x) = 0; \\ -J_{10}^*\bar{U}_1'''(x) + J_{00}V_0^{IV}(x) - J_{20}^*\bar{U}_2'''(x) - q_0 = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Интегрируя третье уравнение системы уравнений (6), учитывая, что $J_{20}^*U_2'''(x) = 0$, получим:

$$\begin{cases} \bar{J}_{11}\bar{U}_1''(x) - b_{11}\bar{U}_1'(x) - J_{10}^*V_0'''(x) + J_{12}^*\bar{U}_2''(x) + \bar{p}_1 = 0; \\ \bar{J}_{21}\bar{U}_1''(x) + \bar{J}_{22}\bar{U}_2''(x) = 0; \\ -J_{10}^*\bar{U}_1'''(x) + J_{00}V_0'''(x) - q_0x + C = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Выразим из системы (7) обобщенную функцию изгиба $V_0'''(x)$:

$$V_0'''(x) = \frac{J_{10}^*\bar{U}_1''(x) + q_0x - C}{J_{00}}. \quad (9)$$

Искомое дифференциальное уравнение, приводящее к решению данной задачи, имеет вид [1]:

$$U_1''(x) - \lambda^2 U_1(x) - Aq_0x + \bar{C} = 0, \quad (10)$$

где, коэффициенты уравнения (10) находятся по формулам:

$$\lambda^2 = \frac{b_{11}}{\bar{J}_{11} - \frac{(J_{10}^*)^2}{J_{00}} - \frac{(J_{12}^*)^2}{\bar{J}_{22}}}, \quad (11)$$

$$A = \frac{\frac{\bar{J}_{12}}{J_{00}}}{\bar{J}_{11} - \frac{(J_{10}^*)^2}{J_{00}} - \frac{(J_{12}^*)^2}{\bar{J}_{22}}}, \quad (12)$$

$$\bar{C} = \frac{1}{\bar{J}_{11} - \frac{(J_{10}^*)^2}{J_{00}} - \frac{(J_{12}^*)^2}{\bar{J}_{22}}}. \quad (13)$$

Граничные условия могут задаваться или относительно кинематических факторов, которые формулируются относительно функций обобщенных перемещений $U_c(x), U_i(x), V_i(x)$ или относительно статических моментов $M(x), N(x), T_c(x)$, которые определяются из выражений:

$$T_c(x) = \int_A \sigma \bar{\xi}_c(z) dA; \quad (14)$$

$$M(x) = \int_A \sigma \xi_0(z) dA; \quad (15)$$

$$N(x) = \int_A \sigma \bar{\xi}_1(z) dA. \quad (16)$$

Так, в случае, если конец составного стержня жестко зашпелен, то функции обобщенных перемещений примут следующие значения:

$$U_c(x) = 0, V_0(x) = 0, V_0'(x) = 0. \quad (17)$$

Если на торце стержня отсутствует препятствия сдвигу, то граничные условия примут следующий вид:

$$T_c = 0, T_c'' = 0, V_0' = \varphi, \quad (18)$$

где φ – угол поворота составного стержня.

Таким образом, общее решение системы уравнений (8) принимает вид:

$$U_1(x) = C_1 \operatorname{sh}(\lambda x) + C_2 \operatorname{ch}(\lambda x) + \left(-\frac{Aq_0}{\lambda^2}\right)x + C_3, \quad (19)$$

$$V_0(x) = \frac{C_1 J_{10}^*}{J_{00} \lambda} \operatorname{ch}(\lambda x) + \frac{B J_{10}^*}{2 J_{00}} x^2 + \frac{q_0}{24 J_{00}} x^4 + \frac{C_4}{6} x^3 + \frac{C_5}{2} x^2 + C_6 x + C_7, \quad (20)$$

где C_1, C_4, C_5, C_6, C_7 – постоянные интегрирования, а $B = -\frac{Aq_0}{\lambda^2}$.

Решение системы уравнений (8) имеет вид:

$$U_1(x) = C_1 \operatorname{sh}(\lambda x) - \frac{Aq_0 x}{\lambda^2}, \quad (22)$$

$$U_2(x) = \left(-\frac{J_{21}}{J_{22}}\right) \left[C_1 \operatorname{sh}(\lambda x) - \frac{Aq_0 x}{\lambda^2} \right] + C_2 x, \quad (23)$$

$$V_0(x) = \left(\frac{J_{10}^*}{J_{00}}\right) \left[\frac{C_1 \operatorname{ch}(\lambda x)}{\lambda} - \frac{Aq_0 x^2}{2\lambda^2} \right] + \frac{q_0 x^4}{24 J_{00}} + C_3 x^2 + C_4. \quad (24)$$

В качестве численной реализации методики рассмотрим расчет составного сборно-монолитного стержня из двух брусьев, в котором нижняя сборная часть представлена преднапрягаемым ячеистым пенобетоном, а верхняя – монолитным бетоном (рис. 3).

Расчетная схема представляет собой изгибаемый, предварительно напряженный железобетонный сборно-монолитный стержень длиной 1800 мм, нагруженный равномерно распределенной нагрузкой $q_0 = 7,8$ кН/м.

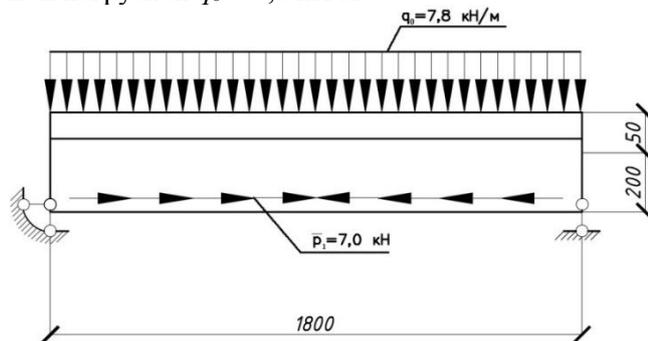


Рис. 3. Расчетная схема составного стержня (пример расчета)

Величина усилия предварительного напряжения арматуры в нижнем брус $\bar{P}_1 = 7,0$ кН.

Геометрические характеристики сечений брусьев, составляющих стержень:

– для нижнего бруса из ячеистого пенобетона автоклавного твердения класса В3,5: ширина $b_1 = 250$ мм, высота $h_1 = 200$ мм, начальный модуль упругости бетона $E_b = 2100$ МПа.

Т.к. $C_2 \operatorname{ch}(\lambda x) = 0$, найдем из (18) вертикальные перемещения V_0 :

$$U(x) = U_2(x) \bar{\xi}_2(z) + U_1(x) \bar{\xi}_1(z) - V_0'(x) \xi_0(z), \quad (21)$$

Решение (26) для симметрично нагруженных расчетных схем:

– для верхнего бруса из тяжелого бетона класса В25: ширина $b_2 = 250$ мм, высота $h_2 = 50$ мм, начальный модуль упругости бетона $E_b = 30000$ МПа.

Модуль сдвига $G_0 = 400$ МПа.

Коэффициенты системы уравнений (8):

$$J_{11} = \int_h A_{beam} \bar{\xi}_1^2(z) dz = 1,05 \cdot 10^8,$$

$$J_{22} = \int_h A_{beam} \bar{\xi}_2^2(z) dz = 4,80 \cdot 10^8,$$

$$J_{12} = J_{21} = \int_h A_{beam} \bar{\xi}_1 \bar{\xi}_2(z) dz = 1,05 \cdot 10^8,$$

$$J_{00} = \int_h A_{beam} \xi_0^2(z) dz = 1,71 \cdot 10^{12},$$

$$J_{01}^* = \int_h A_1 \xi_0(z) \bar{\xi}_1(z) dz = 1,025 \cdot 10^{10},$$

$$b_{11} = G_0 = 400 \text{ МПа},$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{b_{11}}{\bar{J}_{11} - \frac{J_{01}^{*2}}{J_{00}} - \frac{J_{21}^2}{J_{22}}}} = 0,0044,$$

$$B = \frac{\frac{J_{01}^*}{J_{00}}}{\bar{J}_{11} - \frac{J_{01}^{*2}}{J_{00}} - \frac{J_{21}^2}{J_{22}}} = 2,92 \cdot 10^{-10}.$$

Общее решение будет иметь вид:

$$\begin{cases} \bar{U}_1(x) = C_1 \operatorname{sh}(0,0044x) + C_2 \operatorname{ch}(0,001x) - 0,000132x, \\ \bar{U}_2(x) = -0,219C_1 \operatorname{sh}(0,0044x) + 0,0000289x + C_2x, \\ V_0(x) = 1,359C_1 \operatorname{ch}(0,0044x) - 3,956 \cdot 10^{-7}x^2 + 2,144 \cdot 10^{-13}x^4 + C_3x^2 + C_4. \end{cases}$$

Граничные условия:

$$V_0(x) = 0, \text{ при } x = \pm \frac{L}{2}, \quad N(x) = \bar{p}_1, \text{ при } x = 0,$$

$$M(x) = \frac{q_0 l^2}{8} + \bar{p}_1 e, \text{ при } x = \pm \frac{L}{2},$$

$$T(x) = 0, \text{ при } x = \pm \frac{L}{2}.$$

где e – эксцентриситет от усилия предварительного натяжения арматуры.

Решая систему уравнений, получим значения неизвестных констант:

$$\begin{aligned} C_1 &= 5,57 \cdot 10^{-4}, \quad C_2 = -0,146 \cdot 10^{-4}, \\ C_3 &= -8,423 \cdot 10^{-7}, \quad C_4 = 0,842. \end{aligned}$$

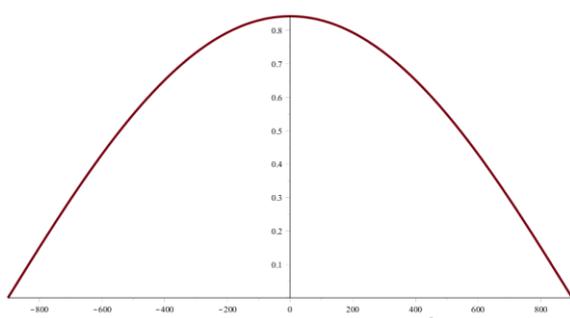


Рис. 4. Распределение перемещений $V_0(x)$ по длине составного стержня, мм

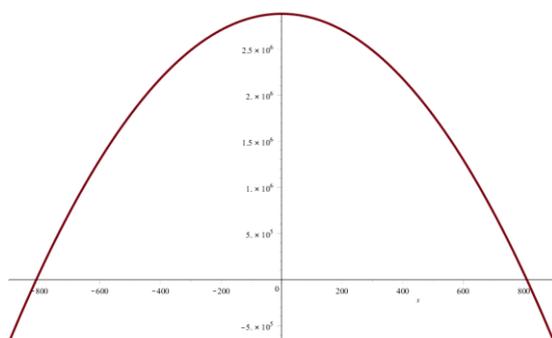


Рис. 6. Распределение изгибающего момента $M(x)$ по длине составного стержня, Нмм

Максимальные значения расчетных параметров НДС конструкции составили: прогиб сборно-монолитного элемента $V_0 = 8,5$ мм (рис. 4), сдвигающая сила в центре пролета стержня $T = 20,1$ кН (рис. 5), сдвигающие напряжения на

Далее находятся значения $N(x)$, $M(x)$, $T(x)$, $\tau(x)$:

$$N(x) = -3,343 \cdot 10^{-9} \operatorname{ch}(0,0044x) - 7000;$$

$$M(x) = -0,959 \cdot 10^{-5} \operatorname{ch}(0,0044x) - 4,4x^2 + 2,88 \cdot 10^6;$$

$$T(x) = 50,50 \operatorname{ch}(0,0044x) - 0,0264x^2 + 20032,5;$$

$$\tau(x) = T'(x) = 0,22 \operatorname{sh}(0,0044x) - 0,053x.$$

Результаты расчета: прогибы $V_0(x)$, сдвигающие усилия $T(x)$, изгибающие моменты $M(x)$, а также сдвигающие напряжения $\tau(x)$ представлены на рис. 4–7.

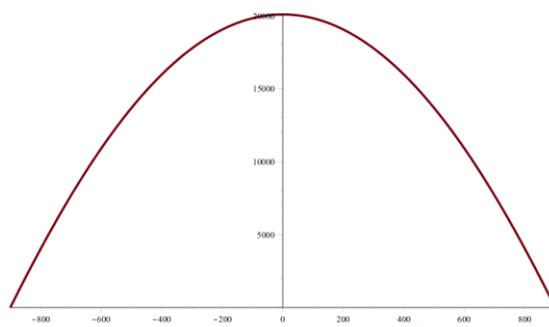


Рис. 5. Распределение сдвигающей силы $T(x)$ по длине составного стержня, Н

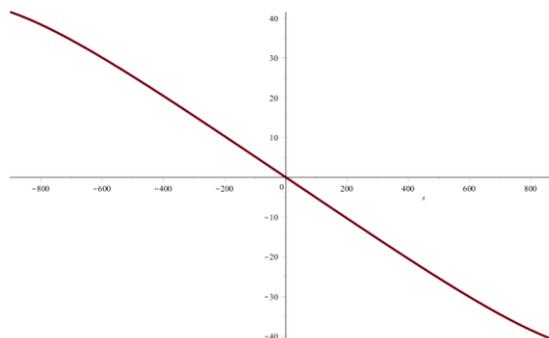


Рис. 7. Распределение сдвигающих напряжений $\tau(x)$ по длине составного стержня, Н/мм

торцах стержня $\tau = \pm 41,6$ кН/м, изгибающий момент в центре пролета стержня $M = 2,88$ кНм (рис. 6).

Представленная в работе методика определения параметров напряженно-деформированного состояния НДС при структурном анализе

составного железобетонного сборно-монолитного стержня с использованием вариационных принципов на основе метода Власова-Милейковского в форме перемещений, позволяет усовершенствовать принятый в строительной механике расчетно-аналитический аппарат инструментом практического учета податливости шва сдвига сборного и монолитного слоя, учитывать фактическую податливость контактного шва сдвига при расчете сборно-монолитных конструкций и осуществлять их рациональное проектирование.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Милейковский И.Е., Трушин С.И. Расчет тонкостенных конструкций. М.: Стройиздат, 1989. 200 с.
2. Колчунов В.И., Панченко Л.И. Расчет составных тонкостенных конструкций. М.: Изд-во АСВ, 1999. 281 с.
3. Байдин О.В., Шевченко А.В., Шаповалов С.М. Экспериментальное исследование трещиностойкости стержневых сборно-монолитных конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2. 2009. С. 78–83.
4. Байдин О.В., Шевченко А.В., Шаповалов С.М. Расчет сборно-монолитных конструкций с применением вариационного метода и интегрального модуля деформации // Строительная механика и расчет сооружений. 2009. №4. С. 9–13.
5. Байдин О.В., Шевченко А.В., Шаповалов С.М. Учет температурных деформаций при расчете замкнутых цилиндрических оболочек вариационным методом // Строительная механика и расчет сооружений. 2009. №5. С. 6–9.
6. Юрьев А.Г., Панченко Л.А., Серых И.Р., Рубанов В.Г. Тонкостенные конструкции тоннелей мелкого заложения // Промышленное и гражданское строительство. 2014. №8. С. 27–29.
7. Никулин А.И. К уточнению величин предельных относительных деформаций бетона в сжатой зоне изгибаемых железобетонных элементов // Промышленное и гражданское строительство. 2014. №8. С. 12–15.
8. Колчунов В.И., Скобелева Е.А., Коржавых А.И. К расчету деформативности железобетонных рам с элементами составного сечения // Academia. Архитектура и строительство. 2009. №4. С.74–78.
9. Меркулов Д.С. Прочность составных железобетонных элементов при сложном напряженном состоянии // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: строительство и транспорт. 2007. №4-16. С. 48–51.
10. Колчунов В.И., Скобелева Е.А., Горностаев С.И. Экспериментальные исследования деформирования и трещиностойкости составных конструкций // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: строительство и транспорт. 2006. №1-2. С. 12–16.
11. Koyankin A.A., Mitasov V.M. Stress-strain state of precast and cast-in place buildings. Magazine of Civil Engineering. 2017. № 6. Pp. 175–184.
12. Ribeiro R.R.J., Diogenes H.J.F., Nobrega M.V., Debs A.L.H. C. El. A survey of the mechanical properties of concrete for structural purposes prepared on construction sites. Rev. IBRACON Estrut. Mater. [online]. 2016, Vol. 9. №5. Pp. 722–744.
13. Abdulsamee H. Study the Behavior of Reinforced Concrete Beam Using Finite Element Analysis. Proceedings of the 3rd World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering (CSEE'18) Budapest, Hungary – April 8-10, 2018.
14. Sneideris A., Marciukaitis G. Strain-stress analysis of reinforced concrete beams strengthened without unloading by exterior reinforcement // Application of Codes, Design and Regulations. January 2005, Pp. 685–692.
15. Wellison J. Reliability analysis of reinforced concrete beams using finite element models. Proceedings of the XXXVIII Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering P.O. Faria, R.H. Lopez, L.F.F. Miguel, W.J.S. Gomes, M. Noronha (Editores), ABMEC, Florianópolis, SC, Brazil, November 5-8, 2017.

Информация об авторах

Полоз Максим Александрович, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: max.poloz@inbox.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Шевченко Андрей Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: andsheff@rambler.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Ерижокова Елена Сергеевна, студент. E-mail: sockolowa.le@yandex.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Московская область, г. Москва, Ярославское шоссе, 26.

Поступила в апреле 2019 г.

© Полоз М.А., Шевченко А.В., Ерижкова Е.С., 2019

^{1,*}Poloz M.A., ¹Shevchenko A.V., ²Erizhokova E.S.

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

²Moscow State University of Civil Engineering (National Research)
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe sh., 26

*E-mail: max.poloz@inbox.ru

CALCULATION OF BENDABLE PRESTRESSED PRECAST-CAST-IN-PLACE STRUCTURES ON THE BASIS OF THE VLASOV-MILEYKOV VARIATIONAL METHOD TAKING INTO ACCOUNT THE JOINTS DEFORMABILITY

Abstract. Precast-cast-in-place concrete structures with and without prestressing are used both as newly designed ones and are the result of strengthening the existing structures by increasing the section area. In both cases, the cross section of such elements is considered as a two-layered, and the resulting composite element is internally loaded under conditions of stresses-strains distribution through the layers by the joints, the actual arrangement of which depends on the physicomechanical characteristics, the design scheme and the parameters of the layers' contact interaction. Calculating and designing of prestressed precast-cast-in-place concrete structures basically uses no joints deformability estimation. It complicates the analysis of the actual stress-strain state of the structure and contains a certain undiscovered potential of its rational design. Taking into account the joints deformability, the use of variational principles of structural mechanics in the calculation of the structures as composite section's elements is one of the possible solutions of the problem. In the paper, the questions of practical applicability in the structural analysis of a composite section's precast-cast-in-place concrete rod of the variational principles of structural mechanics based on the method of V.Z. Vlasov - I.E. Mileykovsky in the form of movements are figured out. The results of numerical calculations according to the proposed method are given, which allows to consider the joints deformability and to carry out a rational design of precast-cast-in-place concrete structures.

Keywords: Vlasov-Mileikovsky variational method, stress-strain state, composite rod, precast-cast-in-place concrete, prestressed concrete.

REFERENCES

1. Milejkovskij I.E., Trushin S.I. The calculation of thin-walled structures [*Raschet tonkostennykh konstrukcij*]. M.: Strojizdat, 1989. 200 p. (rus)
2. Kolchunov V.I., Panchenko L.I. Calculation of composite thin-walled structures [*Raschet sostavnykh tonkostennykh konstrukcij*]. M.: ASV, 1999. 281 p. (rus)
3. Bajdin O.V., Shevchenko A.V., Shapovalov S.M. Experimental study of the fracture toughness of the core precast-monolithic structures [*Ehksperimentalnoe issledovanie treshchinostojkosti sterzhnevnykh sborno monolitnykh konstrukcij*]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. No. 2. 2009. Pp. 78–83. (rus)
4. Bajdin O.V., Shevchenko A.V., Shapovalov S.M. Calculation of precast-monolithic structures using variational method and the integral of the modulus of deformation [*Raschet sborno-monolitnykh konstrukcij s primeneniem variacionnogo metoda i integralnogo modulya deformacii*]. Structural Mechanics and Analysis of Constructions. 2009. No. 4. Pp. 9-13. (rus)
5. Bajdin O.V., Shevchenko A.V., Shapovalov S.M. Considering temperature deformations in the calculation of closed cylindrical shells by variational method [*Uchet temperaturnykh deformacij pri raschete zamknutykh cilindricheskih obolochek variacionnym metodom*]. Structural Mechanics and Analysis of Constructions. 2009. No. 5. Pp. 6–9. (rus)
6. Yurev A.G., Panchenko L.A., Seryh I.R., Rubanov V.G. Thin-walled construction of shallow tunnels [*Tonkostennye konstrukcii tonnelej melkogo zalozheniya*]. Industrial and civil engineering. 2014. No. 8. Pp. 27–29. (rus)
7. Nikulin A.I. The specification of limit values of relative deformations of concrete in compression zone of the bending of reinforced concrete elements [*K utochneniyu velichin predelnykh otnositelnykh deformacij betona v szhatoj zone izgibaemykh zhelezobetonnykh ehlementov*]. Industrial and civil engineering. 2014. No. 8. Pp. 12–15. (rus)
8. Kolchunov V.I., Skobeleva E.A., Korzhavyh A.I. To calculate the deformation of reinforced concrete frames with elements of the composite section [*K raschetu deformativnosti zhelezobetonnykh ram s*

ehlementami sostavnogo secheniya]. Academia. Architecture and construction. 2009. No. 4. Pp. 74–78. (rus)

9. Merkulov D.S. The strength of composite concrete elements with complex stress state [*Prochnost sostavnyh zhelezobetonnyh ehlementov pri slozhnom napryazhennom sostoyanii*]. Izvestiya Orlovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: stroitelstvo i transport. 2007. No. 4-16. Pp. 48–51. (rus)

10. Kolchunov V.I., Skobeleva E.A., Gornostaev S.I. Experimental studies of the deformation and fracture of composite structures [*Ehksperimentalnye issledovaniya deformirovaniya i treshchinostojkosti sostavnyh konstrukcij*]. Izvestiya Orlovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: stroitelstvo i transport. 2006. No. 1-2. Pp. 12–16. (rus)

11. Koyankin A.A., Mitasov V.M. Stress-strain state of precast and cast-in place buildings. Magazine of Civil Engineering. 2017. No. 6. Pp. 175–184.

12. Ribeiro R.R.J., Diogenes H.J.F., Nobrega M.V. and Debs, A. L. H. C. El. A survey of the mechanical properties of concrete for structural purposes prepared on construction sites. Rev. IBRACON Estrut. Mater. 2016. Vol.9. No.5. Pp. 722–744.

13. Abdulsamee H. Study the Behavior of Reinforced Concrete Beam Using Finite Element Analysis. Proceedings of the 3rd World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering (CSEE'18) Budapest, Hungary – April 8-10, 2018.

14. Sneideris A., Marciukaitis G. Strain-stress analysis of reinforced concrete beams strengthened without unloading by exterior reinforcement. Application of Codes, Design and Regulations. January 2005, Pp. 685–692.

15. Wellison J. Reliability analysis of reinforced concrete beams using finite element models. Proceedings of the XXXVIII Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering P.O. Faria, R.H. Lopez, L.F.F. Miguel, W.J.S. Gomes, M. Noronha (Editores), ABMEC, Florianópolis, SC, Brazil, November 5-8, 2017.

Information about the authors

Poloz, Maksim A. Postgraduate student. E-mail: max.poloz@inbox.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Shevchenko, Andrei V. PhD, Assistant professor. E-mail: andsheff@rambler.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Erizhokova, Elena S. Bachelor student. E-mail: sockolowa.le@yandex.ru. Moscow State University of Civil Engineering (National Research). Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe highway, 26.

Received in Desember 2019

Для цитирования:

Полоз М.А., Шевченко А.В., Ерижкокова Е.С. Расчет изгибаемых предварительно напряженных сборно-монолитных элементов на основе вариационного метода Власова-Милейковского с учетом податливости контактного шва // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 6. С. 14–21. DOI: 10.34031/article_5d077fc7221d70.62441039

For citation:

Poloz M.A., Shevchenko A.V., Erizhokova E.S. Calculation of bendable prestressed precast-cast-in-place structures on the basis of the vlasov-mileykov variational method taking into account the joints deformability. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 6. Pp. 14–21. DOI: 10.34031/article_5d077fc7221d70.62441039

DOI:10.34031/article_5d08be4f6b0547.30270984

^{1,*}Малахов А.В., ²Косинов В.В.¹Юго-Западный государственный университет
Россия, 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94²Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
Россия, 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95

E-mail: 4ega@inbox.ru

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы, связанные с оценкой технического состояния конструктивных элементов, учитывающие этапы инженерных изысканий, проектирования и монтажа. Важность рассматриваемой тематики обусловлена достаточно большим количеством аварий, на объектах как гражданского, так и промышленного назначения, происходящих до исчерпания несущей способности. Анализ рассматриваемого объекта (металлический каркас промышленного здания) проводился на основании представленной проектной документации, данных полученных с помощью натурного обследования, включающего визуальный и инструментальный контроль, а также численных методов исследования. В результате рассмотрения представлены качественные и количественные параметры объекта капитального строительства, необходимые для оценки технического состояния, включающие: расчетные схемы конструкций каркаса; материалы, их характеристики; дефекты, их параметры. Проведенное исследование показало важность комплексной оценки объектов капитального строительства с точки зрения конструктивной безопасности, поскольку определение недочетов и ошибок на каждом из этапов строительного производства позволяет предотвратить аварийные ситуации, ведущие к частичному или полному разрушению несущей системы, а также разработать меры с целью установления возможности (невозможности) проведения ремонта или реконструкции.

Ключевые слова: обследование, живучесть, конструктивная безопасность, инженерные изыскания, проектирование, монтажные работы.

Аварии на объектах капитального строительства могут возникнуть неожиданно, без проявления дефектов, указывающих на возможность развития подобной ситуации [2, 9, 15]. Этот процесс связан с множеством факторов, как на этапе проектирования, так и этапе возведения зданий и сооружений [1, 4]. Часть факторов обусловлена деятельностью человека (ошибки вследствие низкой компетенции работников, низкого качества организации труда и т.д.), часть имеют естественную природу (топографическое и геологическое строение местности; природные явления, характерные для региона строительства и т.п.).

При этом каждая аварийная ситуация, связанная с объектами капитального строительства, уникальна и не имеет типовых решений. Нередко, авария обусловлена комплексом причин, взаимно влияющих друг на друга.

Анализ сложившихся аварийных условий является сложной задачей для экспертов, поскольку ошибки могут быть допущены не на одном этапе, а сразу на нескольких. Таким образом, требуется рассмотреть несколько групп факторов для полной оценки динамики работы и аварии конструктивной системы.

Группы факторов представлены в соответствии с этапами строительного производства:

изыскательские работы, проектировочные работы, строительно-монтажные работы. Качественная оценка каждой из групп позволяет оценить принятое решение и насколько правильно выполнены работы.

Анализ осуществляется на примере одноэтажного каркасного здания из металлоконструкций. Сооружение имеет Г-образную форму с размерами в осях (А-У)–(1-32) 180,75×96,0 м. В осях (А-Р)–(1-25) размеры составляют 144,0×78,0 м, размеры в осях (А-У)–(26-32) – 36,0×96,0 м. Отметка верха стропильных конструкций – 15,1 м. На рис. 1, 2 представлены план и разрез здания.

Пространственная жесткость сооружения обеспечивается жестким стыком колон с фундаментом, связями по колоннам, связями по фермам и прогонами покрытия.

1. Изыскательские работы. Проведенные исследования позволили установить геологическое строение территории, создать топографическую основу для выполнения планировочных работ. Основной сложностью стало расположение площадки строительства в пойменной части реки. В качестве основания под фундаменты был принят насыпной песчаный грунт.

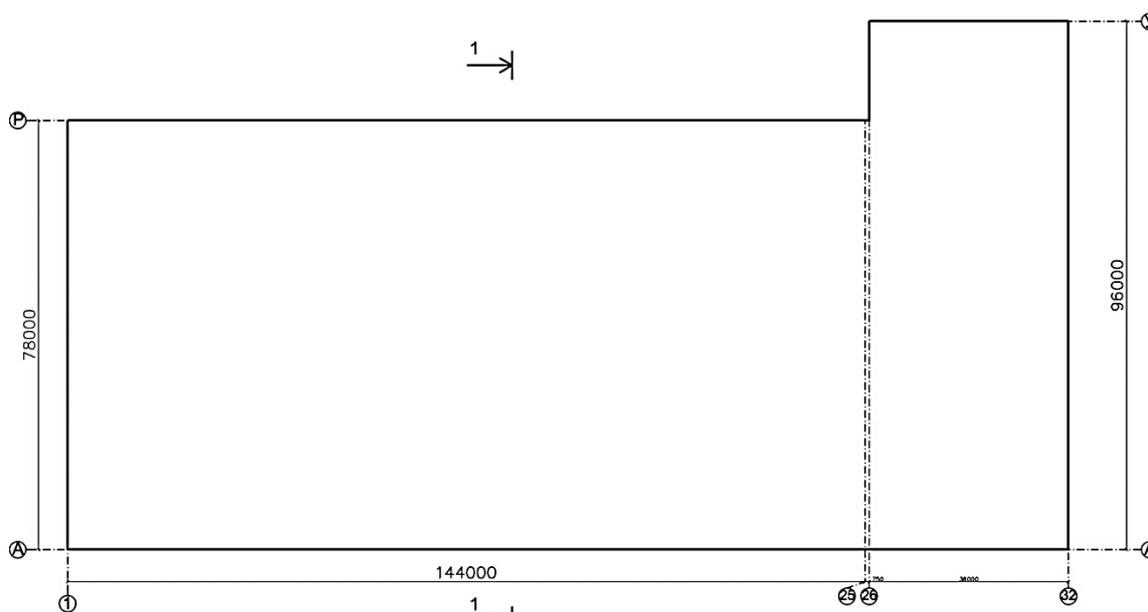


Рис. 1. Компонировочный план здания

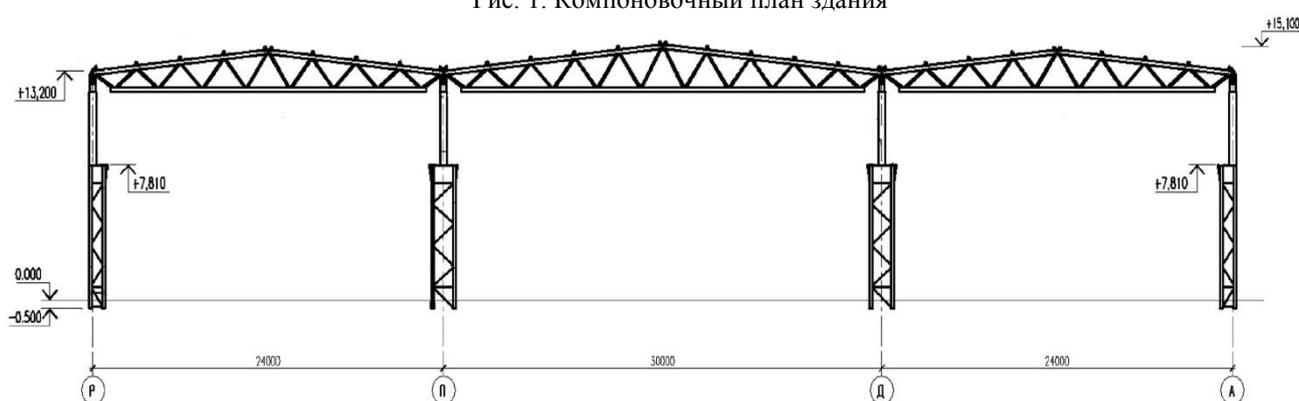


Рис. 2. Разрез 1-1

Близость реки предопределяет высокий уровень грунтовых вод, а сезонное изменение уровня воды в реке приводит к его постоянному изменению. Следствием колебаний УГВ может являться систематическое вымывание насыпного грунта и развитие его неравномерных деформаций. Анализ исполнительной съемки фундаментов в различные моменты времени (сразу после монтажа и по прошествии полугода) дает возможность говорить о разнонаправленных деформациях. Величина отклонения отметок опорных поверхностей колонн от проектных значений составляет до 11 мм, при максимально допустимом значении 5 мм [13]. Особое внимание стоит обратить на то, что, отдельные фундаменты поднялись относительно проектного положения. Т.к. подъем произошёл еще до начала периода промерзания грунта, причиной данного явления не может являться морозное пучение. Таким образом, был выявлен первый значительный дефект в работе конструктивной системы, поскольку подобное изменение пространственного положения конструкций не закладывается при проектировании (в естественных условиях здание дает осадку).

Помимо этого, обнаружено сверхнормативное отклонение оголовков колонн, в горизонтальной и вертикальной плоскостях, от проектного положения, вследствие перекоса фундаментов, что приводит к работе колонны на изгиб. Учитывая вышеизложенное, можно отметить, что уже на первом этапе были опущены ошибки, связанные с неверной оценкой топографо-геологических условий площадки, что является одной из причин аварии.

2. Проектные работы.

Анализ конструктивных решений, примененных в рассматриваемой системе (колонн, ферм, подкрановых балок, а также узлов опирания конструкций и крепления подкрановых рельс), показал, что они выполнены в соответствии с принятыми в практике проектирования стальных каркасов одноэтажных зданий решениями. Материалы соответствуют принятым конструктивным решениям [11, 14].

По результатам статического и конструктивного расчетов подстропильной фермы пролетом 12 м следует отметить:

- все элементы фермы удовлетворяют требованиям первой и второй групп предельных состояний;

- прогиб фермы находится в пределах допустимого.

На рис. 3 представлена модель подстропильной фермы длиной 12 метров. По результатам статического и конструктивного расчетов стропильных ферм пролетом 24 м и 30 м следует отметить:

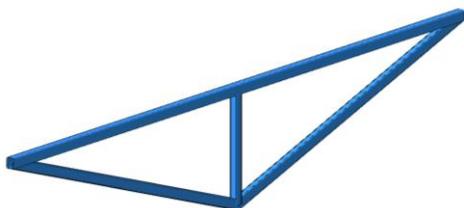


Рис. 3. Модель подстропильной фермы длиной 12 метров

- все элементы ферм за исключением элементов нижнего пояса удовлетворяют требованиям первой и второй групп предельных состояний ;

- элементы нижнего пояса фермы не удовлетворяют требованиям второй группы предельных состояний;

- прогиб фермы находится в пределах допустимого.

На рис. 4 и 5 представлены модели стропильных ферм длиной 24 и 30 метров.

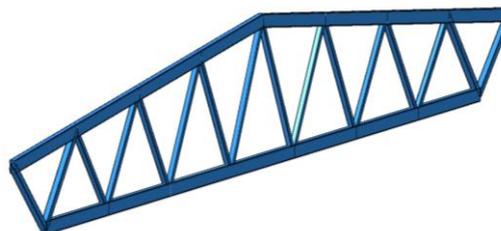


Рис. 4. Модель стропильной фермы длиной 24 метров

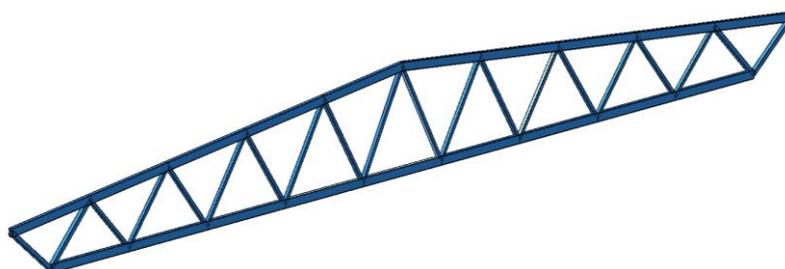


Рис. 5. Модель стропильной фермы длиной 30 метров

Таким образом, при общем соответствии конструктивных решений, принятых в проекте, строительным нормам, было допущено использование элементов частично не удовлетворяющих допускам по второй группе предельных состояний (прогиб нижнего пояса стропильных ферм), что, безусловно, является грубым нарушением.

3. Монтаж конструкций объекта. Анализ исполнительной съемки, визуальный контроль и контроль качества возведения объекта показал, что в ходе работ были допущены множественные ошибки, связанные с точностью монтажа, как в отношении высотных, так и плановых отметок [6, 7, 12]. Отклонения были выявлены по следующим параметрам:

- смещение осей колонн и опор относительно разбивочных осей в опорном сечении (до 18 мм);

- отклонение осей колонн от вертикали в верхнем сечении (до 41 мм);

- значения отклонения контрольных точек подстропильных и стропильных ферм цеха от проектных значений в плане (до 23 мм);

- значения отклонения контрольных точек подстропильных и стропильных ферм цеха от проектных значений по высоте (до 14 мм);

- значения отклонения подстропильных и стропильных ферм цеха из рабочей плоскости (до 12 мм);

Вследствие этого были изменены узлы крепления конструкций, разработанные в проекте (рис. 6). Были добавлены металлические пластины между конструкцией и опорной поверхностью. При этом площадь установленных пластин, в большинстве случаев, была меньше контактных площадей конструкций и опор (рис. 7). Включение в работу этих элементов, не учтенных в проекте, привело к снижению общей жесткости конструктивной системы. В отдельных узлах стропильные и подстропильные фермы не опираются на опорные пластины (или опираются не по всей ширине). Также обнаружено увеличение диаметров отверстий на опорных пластинах колонн для установки стропильных и подстропильных ферм (рис. 8). С учетом указанных недостатков монтажа, изменяются условия работы болтов креплений конструкций.

2018), Санкт-Петербург: Издательство политехнического университета, 2018. С. 13–21.

4. Бойко М.Д. Диагностика повреждений и методы восстановления эксплуатационных качеств зданий. Л.: Стройиздат, 1995. 334 с.

5. Добромыслов А.Н. Оценка надежности зданий и сооружений по внешним признакам. Москва: АСВ, 2008. 72 с.

6. ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. М.: Стандартинформ, 2010. 60 с.

7. ГОСТ Р 54257-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования. М.: Стандартинформ, 2015. 13 с.

8. Колчунов В.И. Живучесть зданий и сооружений при запроектных воздействиях. М.: АСВ, 2014. 208 с.

9. Малахов А.В., Косинов В.В. Мониторинг динамики развития дефектов при обследовании кирпичных зданий и сооружений / Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их реше-

ния. Материалы VIII научно-практической конференции // Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Санкт-Петербург, 13 октября 2017), Санкт-Петербург: Издательство политехнического университета, 2017. С. 136–140.

10. Обследование и испытание зданий и сооружений. М.: Высшая школа, 2004. 447 с.

11. Рекомендации по оценке состояния и усилению строительных конструкций промышленных зданий и сооружений. М.: Стройиздат, 1989. 105 с.

12. СП 16.13330.2011 "Стальные конструкции".

13. СП 70.13330.2011 "Несущие и ограждающие конструкции".

14. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers. Reston. Virginia. 2010.

15. Travush V., Emelianov S., Kolchunov V., Bulgakov A. Procedia engineering. 2016. Vol. 164. 416 p.

Информация об авторах

Малахов Александр Валерьевич, аспирант кафедры уникальных зданий и сооружений. E-mail: 4ega@inbox.ru. Юго-Западный государственный университет. Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94.

Косинов Виктор Васильевич, старший преподаватель кафедры городского хозяйства и строительства автомобильных дорог. E-mail: t.e.k.i.l.a.87@mail.ru. Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева. Россия, 302026, Орел, ул. Комсомольская, д. 95.

Поступила в январе 2019 г.

© Малахов А.В., Косинов В.В., 2019

^{1,*}Malakhov A.V., ²Kosinov V.V.

¹Southwest State University

Russia, 305040, Kursk, st. 50 let Oktyabrya, 94

²Orel State University named after I.S. Turgenev

Russia, 302026, Orel, st. Komsomolskaya, 95

*E-mail: 4ega@inbox.ru

DETERMINATION OF TECHNICAL CONDITION OF BUILDING CONSTRUCTIONS BASED ON COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF BUILDING PRODUCTION

Abstract. The article deals with the issues related to the assessment of the technical condition of structural elements, taking into account the stages of engineering research, design and installation. The importance of the topic under consideration is due to a large number of accidents at civil and industrial facilities that occur before the exhaustion of the bearing capacity. The analysis of the object (the metal frame of industrial buildings) is carried out on the basis of project documentation, data obtained by a full-scale survey, visual and instrumental control, numerical methods of research. The qualitative and quantitative parameters of the capital construction object necessary for assessing the technical condition are presented. They include design schemes of frame structures, materials, their characteristics, defects and parameters. The study shows the importance of comprehensive assessment of capital construction facilities in terms of constructive safety. Identification of errors at each stage of construction allows to prevent emergencies that lead to the destruction of the load-bearing system and to develop measures to establish the possibility (impossibility) of repair or reconstruction.

Keywords: inspection, survivability, constructive safety, engineering surveys, design, installation work.

REFERENCES

1. Almazov V.V. Dynamik of the progressing destruction of monolithic multystoried frameworks [*Dinamika progressiruyushchego razrusheniya monolitnykh mnogoetazhnykh karkasov*]. M.: ASV, 2013. 128 p. (rus)
2. Augustin I. Accidents of steel structures [*Avarii stal'nykh konstrukcij*]. M.: Stroyizdat, 1978. 175 p. (rus)
3. Bardin A.V., Ulybin A.V. Influence of defects and damages on dynamic parameters buildings [*Vliyanie defektov i povrezhdenij na dinamicheskie parametry zdaniy*]. Obsledovanie zdaniy i sooruzhenij: problemy i puti ih resheniya. Materialy IX nauchno-prakticheskoy konferencii. Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (St. Petersburg, on October 11-12, 2018). St. Petersburg: Publishing house of the polytechnical university. 2018. Pp. 13–21. (rus)
4. Boiko M.D. Diagnostics of damages and methods of restoration of operational qualities of buildings [*Diagnostika povrezhdenij i metody vostanovleniya ekspluatacionnykh kachestv zdaniy*]. L.: Stroyizdat, 1995. 334 p. (rus)
5. Dobromyslov A.N. Assessment of reliability of buildings and constructions on external signs [*Ocenka nadezhnosti zdaniy i sooruzhenij po vneshnim priznakam*]. Moscow: ASV, 2008. 72 p. (rus)
6. State standard specification 31937-2011 of the Building and construction. Rules of inspection and monitoring of technical condition [*Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya*]. M.: Standartinform, 2010. 60 p. (rus)
7. State standard specification P 54257-2014 Reliability of Building Constructions and Bases. Basic provisions and requirements [*Nadezhnost' stroitel'nykh konstrukcij i osnovanij. Osnovnye polozheniya i trebovaniya*]. M.: Standartinform, 2015. 13 p. (rus)
8. Kolchunov V.I. Durability of buildings and constructions at beyond design basis influences [*Zhivuchest' zdaniy i sooruzhenij pri zaproektnykh vozdeystviyah*]. M.: DIA, 2014. 208 p. (rus)
9. Malakhov A.V., Kosinov V.V. Monitoring of dynamics of development of defects at inspection of brick buildings and constructions [*Monitoring dinamiki razvitiya defektov pri obsledovanii kirpichnykh zdaniy i sooruzhenij*]. Obsledovanie zdaniy i sooruzhenij: problemy i puti ih resheniya. Materialy VIII nauchno-prakticheskoy konferencii. Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (St. Petersburg, on October 13, 2017), St. Petersburg: Publishing house of the polytechnical university, 2017. Pp. 136–140. (rus)
10. Inspection and test of buildings and constructions [*Obsledovanie i ispytanie zdaniy i sooruzhenij*]. M.: Vysshaya Shkola, 2004. 447 p. (rus)
11. Recommendations about assessment of a state and to strengthening of building constructions of industrial buildings and constructions [*Rekomendacii po ocenke sostoyaniya i usileniyu stroitel'nykh konstrukcij promyshlennykh zdaniy i sooruzhenij*]. M.: Stroyizdat, 1989. 105 p. (rus)
12. SP 16.13330.2011 "Steel structures" [*Stal'nye konstrukcii*]. (rus)
13. SP 70.13330.2011 "The bearing and enclosing structures" [*Nesushchie i ograzhdayushchie konstrukcii*]. (rus)
14. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers. Reston, Virginia. 2010.
15. Travush V., Emelianov S., Kolchunov V., Bulgakov A. Procedia engineering. 2016. Vol. 164. 416 p.

Information about the authors

Malakhov, Aleksandr V. Postgraduate student. E-mail: 4ega@inbox.ru. Southwest State University. Russia, 305040, Kursk, st. 50 let Oktyabrya, 94.

Kosinov, Victor V. Senior lecturer. E-mail: t.e.k.i.l.a.87@mail.ru. Orel State University named after I.S. Turgenev. Russia, 302026, Orel, st. Komsomolskaya, 95.

Received in January 2019

Для цитирования:

Малахов А.В., Косинов В.В. К определению технического состояния строительных конструкций на основе комплексной оценки строительного производства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 6. С. 22–27. DOI:10.34031/article_5d08be4f6b0547.30270984

For citation:

Malakhov A.V., Kosinov V.V. Determination of technical condition of building constructions based on comprehensive assessment of building production. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 6. Pp. 22–27. DOI:10.34031/article_5d08be4f6b0547.30270984

DOI: 10.34031/article_5d01f5643f0854.03961206

I.*Карпов Д.Ф.

¹Вологодский государственный университет
Россия, 160000, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15, каб. 109

*E-mail: karpov_denis_85@mail.ru

ТЕПЛОВИЗИОННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТНЫХ ПОЛЕЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Аннотация. Обозначены и проанализированы актуальные в настоящее время вопросы сверхнормативных тепловых потерь строительными объектами. Установлено, что потери теплоты зданиями зависят от теплотехнических качеств наружных строительных конструкций из различных материалов, основными из которых являются плотность, влажность, теплопроводность. В связи с этим, особую значимость и важность приобретают практические методы идентификации температурных и влажностных полей поверхностей строительных конструкций зданий и сооружений в режиме их эксплуатации. Представлены технические возможности современного тепловизионного оборудования по получению и обработке термограмм тепловизионной съемки контролируемого объекта. Приведен практический пример тепловизионного определения и анализа температурного и влажностного полей светопрозрачной ограждающей строительной конструкций в виде окна в оконном проеме. Подтверждено, что тепловизионная диагностика в состоянии констатировать распределение тепловых потерь в зоне контроля. На основании этого знания разрабатываются мероприятия по их снижению (выравниванию) и в последующем оценивается эффективность их реализации.

Ключевые слова: температурное поле, влажностное поле, строительные конструкции, тепловизор, тепловизионная съемка, термограмма, контролируемый объект.

Введение. Влажностный режим наружных ограждающих строительных конструкций неразрывно связан с теплотехническим режимом. Рост влажности строительных материалов и изделий повышает их теплопроводность и влажность воздуха внутри помещения. Нормальный влажностный режим имеет важное санитарно-гигиеническое и теплотехническое значения, так как обуславливает нормативные параметры микроклимата и долговечность строительных конструкций. Так, например, применение в наружных ограждающих конструкциях, подверженных увлажнению, недостаточно влагостойких материалов и изделий также может быть причиной их преждевременного износа [1, 2].

Пористость, плотность, влажность, теплопроводность, теплоемкость, тепловое излучение являются основными теплотехническими свойствами строительных материалов [1]. Однако всю совокупность сложных явлений, участвующих в передаче теплоты в толще материалов обычно сводят к теплопроводности. Коэффициент теплопроводности для строительных материалов – собирательный эквивалентный коэффициент, учитывающим все физические явления, происходящие в материале и связанные с передачей теплоты [1, 3–5].

Величина коэффициента теплопроводности для одного и того же материала не является величиной постоянной. Коэффициент теплопроводности материала может изменяться в зависимости от его плотности, влажности, температуры,

направления теплового потока, структуры (рис. 1, а, б, в).

Установить общую математическую зависимость между теплопроводностью материала и его влажностью, одинаковую для всех строительных материалов, не представляется возможным, т. к. значительное влияние оказывают форма и расположение пор материала. Поэтому особую актуальность приобретают практические методы определения температурных и влажностных полей поверхностей строительных конструкций зданий и сооружений в режиме их эксплуатации.

Актуализация и обоснование решаемой проблемы. Повышение эффективности

Вопросы экономии и повышения эффективности использования тепловой энергии являются приоритетными направлениями в различных отраслях промышленности: строительство, энергетика, машиностроение, транспорт и др. [6–8]. Исследования показывают, что сверхнормативно теряется до 40 % энергии, расходуемой на отопление зданий и сооружений [9–11].

Учет и контроль рационального использования тепловой энергии возможен за счет проведения теплового контроля и определения фактических теплотехнических характеристик строительных конструкций зданий и сооружений в условиях их эксплуатации. Причем особое внимание следует уделить термографированию светопрозрачных ограждающих строительных конструкций, так как через них теряется большая часть тепловой энергии [12–16]. Также необхо-

димому учитывать динамику изменения влажностного состояния ограждающих конструкций при

проведении натурального тепловизионного контроля в период эксплуатации строительного объекта.

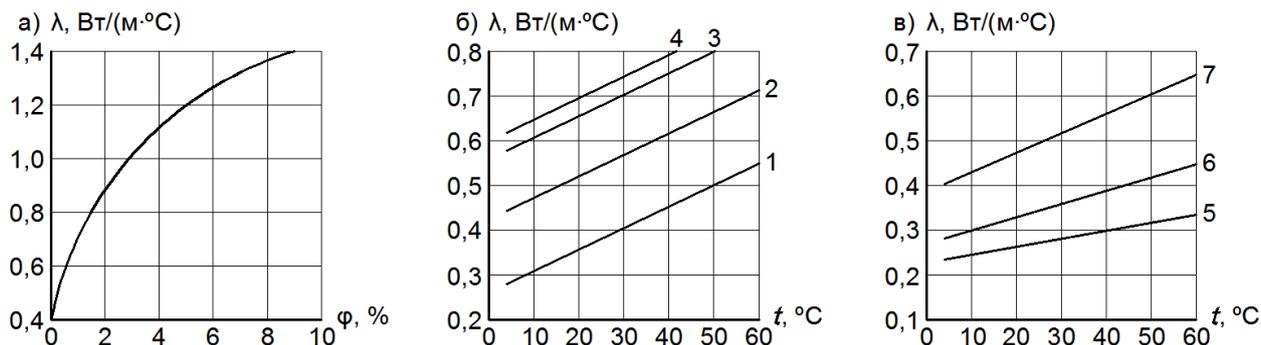


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплопроводности: а) кирпичной кладки от влажности кирпича; б) газозолотона и в) пенобетона от температуры при различной их влажности: $\phi_1 = 4,8\%$; $\phi_2 = 17\%$; $\phi_3 = 33\%$; $\phi_4 = 38\%$; $\phi_5 = 1,4\%$; $\phi_6 = 6\%$; $\phi_7 = 28\%$

Экономические издержки от сверхнормативных тепловых потерь определяют исходя из рассчитанных значений количества тепловых потерь с учетом фактических тарифов на энергию. Очевидно, что сама по себе тепловизионная диагностика в состоянии лишь констатировать распределение тепловых потерь в зоне контроля, на основании чего можно разработать мероприятия по их снижению (выравниванию) и в последующем оценить их эффективность. Например, в жилых и производственных зданиях тепловизионный метод позволяет оценить эффективность оптимизации системы теплоснабжения и вентиляции.

Основные технические возможности современного тепловизионного оборудования. Основными техническими возможностями современных тепловизоров являются: 1) технология цифровой съемки. Встроенная в тепловизор цифровая камера выполняет автоматическое одновременное сохранение инфракрасного и видимого изображений; 2) технология SuperResolution. Позволяет увеличивать текущее

разрешение теплового изображения в несколько раз без замены детектора; 3) технология измерения влажности. Позволяет кроме обычных термограмм получать информацию по уровню влажности исследуемых поверхностей контролируемого объекта. Данная функция важна при обнаружении зон возможного образования конденсата и биокоррозии. Для реализации этой технической возможности предварительно выполняют замеры температуры и относительной влажности окружающего воздуха. Далее специализированное прикладное программное обеспечение, поставляемое с тепловизором, по заданным параметрам воздуха автоматически определяет температуру точки росы и проецирует полученное значение на температурное поле поверхности исследуемой области объекта контроля. Участки изображения, в которых фактическая температура поверхности ниже точки росы, тепловизор выделяет красным цветом («зона повышенного риска»), а неповрежденные влагой – зеленым цветом (рис. 2).

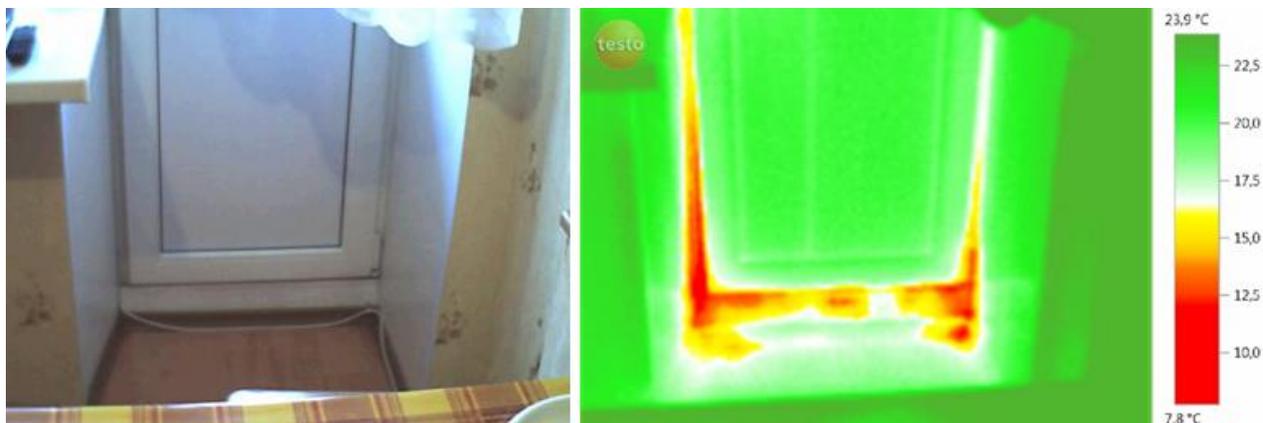


Рис. 2. Влажностное поле контролируемого объекта (дверь на балкон) при $t_a = 20\text{ °C}$ и $\phi_a = 50\%$ (зеленый: $\phi_{sur,a} = 0\text{--}64\%$, не критично; желтый / оранжевый: $\phi_{sur,a} = 65\text{--}80\%$, потенциально критично; красный: $\phi_{sur,a} > 80\%$, критично)

Практический пример тепловизионного определения температурного и влажностного полей светопрозрачной ограждающей строительной конструкций. В качестве объекта теплового контроля рассмотрим светопрозрачную

ограждающую строительную конструкцию в виде окна в оконном проеме квартиры жилого здания. На рис. 3 представлено видимое (цифровое) и тепловое изображения объекта контроля.



Рис. 3. Видимое (цифровое) и тепловое изображения окна в оконном проеме

В табл. 1 представлены параметры и условия проведения внутренней тепловизионной съемки окна в оконном проеме.

В табл. 2 приведены результаты обработки и анализа в специализированной прикладной программной среде IRSoft (для тепловизора марки Testo) термограммы контролируемого объекта.

Таблица 1

Исходные данные тепловизионной съемки окна в оконном проеме

| Наименование объекта | Параметры окружающей среды | | | Параметры поверхности излучения | | l, м |
|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------|------|
| | $t_{int,a}, ^\circ\text{C}$ | $\varphi_{int,a}, \%$ | $t_{ext,a}, ^\circ\text{C}$ | материал | ϵ | |
| Окно в оконном проеме | 20 | 50 | -1 | стекло / дерево | 0,94 / 0,90 | 3,5 |

По результатам обработки и анализа термограммы окна в оконном проеме заключаем о присутствии наличия: 1. Избыточных тепловых потерь через стыки оконных переплетов. 2. Зон повышенной влажности, которые могут привести к образованию конденсата. Физическое явление конденсации влаги связано с негерметичностью стыковых соединений, вследствие чего внутрь помещения проникает холодный наружный воздух. Пограничный со стыком внутренний воздух охлаждается до температуры точки росы ($t_d = 9,3 ^\circ\text{C}$), что приводит к конденсации водяных паров.

Основными проблемными участками объекта теплового контроля являются вертикальный стык оконных переплетов и горизонтальный стык оконного блока с подоконником. Для устранения данных тепловых дефектов рекомендуется заделка негерметичных зон утеплителем и / или силиконовым герметиком.

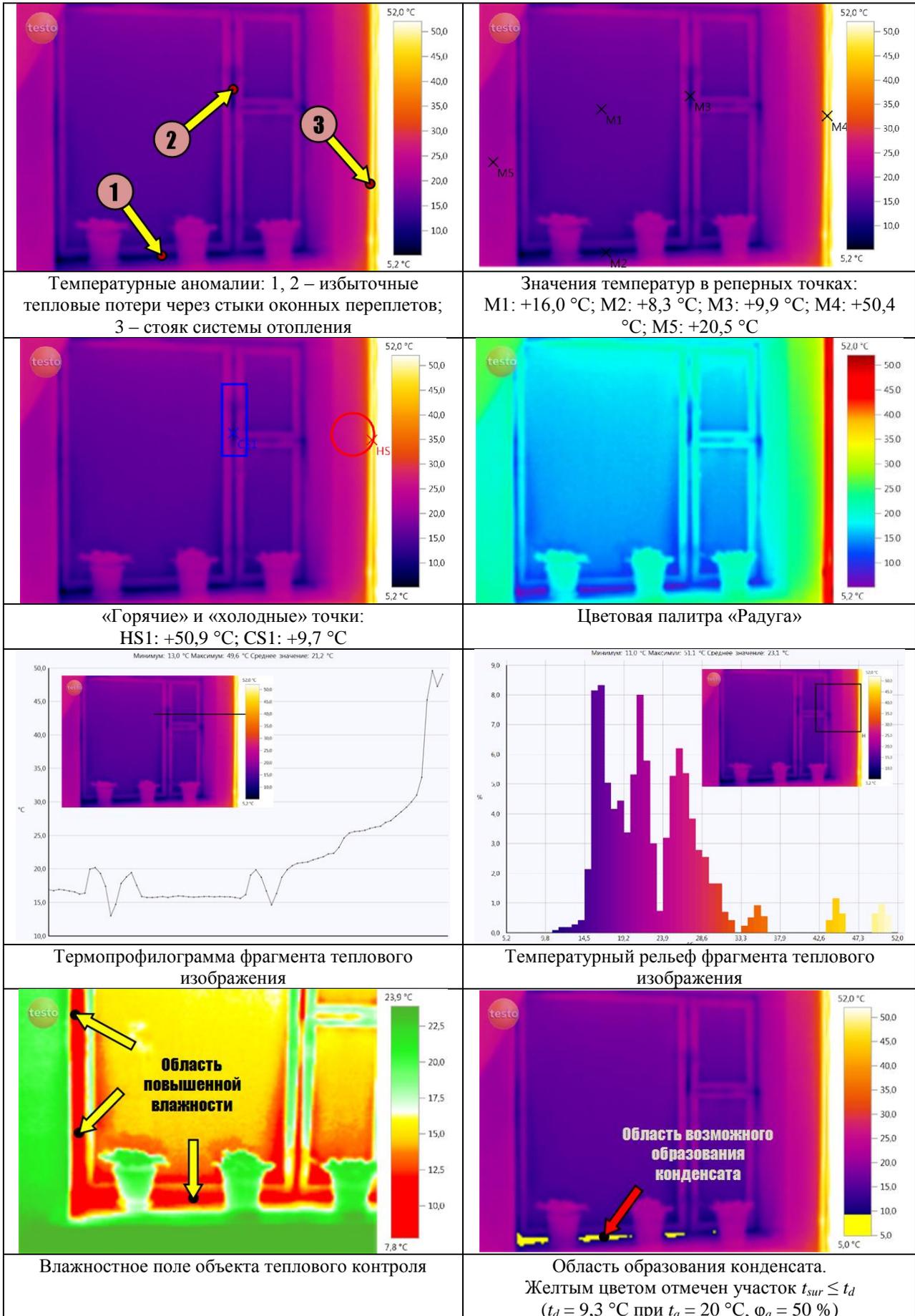
Вывод. Современные тепловизоры, необходимые для проведения тепловизионной съемки

строительных объектов и отдельных строительных конструкций, относятся к портативным оптико-механическим устройствам. Они воспроизводят изображение нагретых объектов и идентифицируют температурное поле контролируемого объекта. Результатом тепловизионной съемки является термограмма, которая обрабатывается и анализируется в оперативной памяти тепловизора или в специализированном прикладном программном обеспечении.

Причиной утечек тепловой энергии в окружающую среду являются тепловые мостики. Они способствуют конденсации влаги из внутреннего воздуха помещения, вызванного понижением его температуры на границе теплового дефекта. При известных температуре, относительной влажности окружающей среды, температуре поверхности объекта контроля, с помощью тепловизионной техники для каждой отдельной точки теплового изображения контролируемого объекта можно определять относительную поверхностную влажность.

Таблица 2

Результаты обработки и анализа термограммы окна в оконном проеме



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей здания. М.: АВОК-ПРЕСС. 2006. 256 с.
2. Хуторной А.Н., Цветков Н.А., Кузин А.Я. Теплозащитные свойства неоднородных наружных стен зданий. Томск. Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун.-та. 2006. 287 с.
3. Коротких А.Г. Теплопроводность материалов: учеб. пособие. Томск. ТПУ. Изд-во Томского политехнического университета. 2011. 97 с.
4. Фокин В.М., Бойков Г.П., Видин Ю.В. Основы технической теплофизики: монография. М.: «Изд-во Машиностроение-1». 2004. 172 с.
5. Мазо А.Б. Основы теории и методы расчета теплопередачи: учебное пособие. Казань. Казан. ун-т. 2013. 144 с.
6. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года: постановление Правительства Российской Федерации от 13.11.2009 № 1715-р.
7. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». М.: ООО «Рид Групп». 2012. 80 с.
8. Игонин В.И. Пути повышения эффективности теплоэнергетических систем: монография. Вологда. ВоГТУ. 2007. 119 с.
9. Сканава А.Н., Махов Л.М. Отопление: учеб. для вузов. М.: АСВ. 2008. 576 с.
10. Mahdavi A., Doppelbauer E.M. A performance comparison of passive and low-energy buildings // Energy and buildings. 2010. Volume 42. No. 8. Pp. 1314–1319.
11. Kavga A., Konstas I., Panidis T. Assessment of infrared heating benefits in a production greenhouse // Applied Engineering in Agriculture. 2015. Volume 31 (1). Pp. 143–151.
12. Будадин О.Н., Потапов А.И., Колганов В.И., Троицкий-Марков Т.Е., Абрамова Е.В. Тепловой неразрушающий контроль изделий. М.: Издательство «Наука». 2002. 473 с.
13. Будадин О.Н., Вавилов В.П., Абрамова Е.В. Тепловой контроль: учеб. пособие. М.: Издательский дом «Спектр». 2013. 176 с.
14. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: 2013. 544 с.
15. Вавилов В.П. Тепловидение и тепловой контроль для инженеров. Изд. 1-е. М.: Издательский дом «СПЕКТР». 2017. 72 с.
16. George S., Goravar S., Mishra D. etc. al. Stress monitoring and analysis using lock-in thermography // Insight. 2010. Volume 52. No. 9. Pp. 470–474.

Информация об авторах

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

Поступила в марте 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

THERMOVISION METHOD OF DETERMINING THE MOISTURE FIELDS OF BUILDING SURFACES OF CONSTRUCTION STRUCTURES OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

Abstract. The current issues of excess heat losses by construction projects are identified and analyzed. It is established that the heat loss of buildings depend on the thermal qualities of external building structures of different materials, the main of which are density, humidity, thermal conductivity. In this regard, practical methods for identifying temperature and humidity fields of the surfaces of building structures in the mode of their operation are of particular importance. The technical capabilities of modern thermal imaging equipment for obtaining and processing thermograms of thermal imaging of the controlled object are presented. A practical example of thermal definition and analysis of temperature and humidity fields of translucent enclosing building structures in the form of a window in a window opening is given. It is confirmed that thermal imaging diagnostics is able to state the distribution of heat losses in the control zone. On the basis of this knowledge, measures are developed to reduce them (alignment) and subsequently assess the effectiveness of their implementation.

Keywords: temperature field, humidity field, building structures, thermal imager, thermal imaging, thermogram, controlled object.

REFERENCES

1. Fokin K.F. Construction heat engineering of enclosing parts of the building [*Stroitel'naya teplotekhnika ograzhdayushchih chastej zdaniya*]. M.: AVOK-PRESS. 2006. 256 p. (rus)
2. Khutornoy A.N., Tsvetkov N.A., Kuzin A.Ya. Thermal insulation properties of inhomogeneous exterior walls of buildings: monograph [*Teplozashchitnye svoystva neodnorodnyh naruzhnyh sten zdaniy: monografiya*]. Tomsk. Publishing House of Tomsk State University of Architecture and Construction. 2006. 287 p. (rus)
3. Korotkih A.G. Thermal conductivity of materials [*Teploprovodnost' materialov*]: textbook for universities. Tomsk. Tomsk Polytechnic University. Publishing house of Tomsk Polytechnic University. 2011. 97 p. (rus)
4. Fokin V.M., Boikov G.P., Vidin Yu.V. Fundamentals of technical thermophysics: monograph [*Osnovy tekhnicheskoy teplofiziki: monografiya*]. M.: "Publishing house of mechanical engineering-1". 2004. 172 p. (rus)
5. Mazo A.B. Fundamentals of theory and methods of calculation of heat transfer [*Osnovy teorii i metody rascheta teploperedachi*]: textbook. Kazan. Kazan University. 2013. 144 p. (rus)
6. Energy strategy of Russia for the period up to 2030 [*Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2030 goda*]: decree of the Government of the Russian Federation of 13.11.2009 № 1715-p. (rus)
7. Federal law on energy saving and energy efficiency and on amendments to certain legislative acts of the Russian Federation [*Ob energosbere-zhenii i o povyshenii energeticheskoy effektivnosti i o vnesenii izmenenij v ot-del'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii*]. M.: OOO "Reed Group". 2012. 80 p. (rus)
8. Igonin V.I. Ways to improve the efficiency of thermal power systems: monograph [*Puti povysheniya effektivnosti teploenergeticheskikh sistem: monografiya*]. Vologda. VSTU. 2007. 119 p. (rus)
9. Skanavi A.N., Mahov L.M. Heating [*Otoplenie*]: textbook for universities. M.: ACU. 2002. 576 p. (rus)
10. Mahdavi A., Doppelbauer E.M. A performance comparison of passive and low-energy buildings. Energy and buildings. 2010. Volume 42. No. 8. Pp. 1314–1319.
11. Kavga A., Konstas I., Panidis T. Assessment of infrared heating benefits in a production greenhouse. Applied Engineering in Agriculture. 2015. Volume 31 (1). Pp. 143–151.
12. Budadin O.N., Potapov A.I., Kolganov V.I., Troitsky-Markov T.E., Abramova, E.V. Thermal nondestructive testing products [*Teplovoj nerazrushayushchij kontrol' izdelij*]. M.: Publishing House "Science". 2002. 473 p. (rus)
13. Budadin O.N., Vavilov V.P., Abramova E.V. Thermal control [*Teplovoj kontrol'*]: textbook for universities. Edition 2. M.: Publishing House "SPECTRUM". 2013. 176 p. (rus)
14. Vavilov V.P. Infrared thermography and thermal control [*Infrakrasnaya termografiya i teplovoj kontrol'*]. Second edition, revised and enlarged. M.: 2013. 544 p. (rus)
15. Vavilov V.P. Thermal Imaging and thermal control for engineers [*Teplovidenie i teplovoj kontrol' dlya inzhenerov*]. First edition. M.: Publishing house "SPETRUM". 2017. 72 p. (rus)
16. George S., Goravar S., Mishra D. etc. al. Stress monitoring and analysis using lock-in thermography. Insight. 2010. Volume 52. No. 9. Pp. 470–474.

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 March 2019

Для цитирования:

Карпов Д.Ф. Тепловизионный метод определения влажностных полей поверхностей строительных конструкций зданий и сооружений // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 6. С. 28–33. DOI: 10.34031/article_5d01f5643f0854.03961206

For citation:

Karpov D.F. Thermovision method of determining the moisture fields of building surfaces of construction structures of buildings and constructions. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 6. Pp. 28–33. DOI: 10.34031/article_5d01f5643f0854.03961206

DOI: 10.34031/article_5cfe57432e4766.60336321

^{1,*}Суслов Д.Ю., ¹Темников Д.О., ¹Алифанова А.И.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

*E-mail: suslov1687@mail.ru

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА РАСЧЕТА ГАЗОПРОВОДОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА И БИОГАЗА

Аннотация. Статья посвящена разработке программного комплекса расчета для проектирования сетей газораспределения. Актуальность проблемы характеризуется тенденцией повышения уровня газификации городов и сельских населенных пунктов Российской Федерации. Строительство современных систем газоснабжения уже на этапе проектирования требует больших затрат инженерно-технических работников, связанных с разработкой и проектированием сетей газораспределения. Для автоматизации процесса проектирования систем газораспределения и газопотребления широкое применение получили системы автоматизированного проектирования. Разработан программный комплекс расчета TGV-GAS, предназначенный для выполнения гидравлического расчета и определения требуемого диаметра трубопровода. Рассмотрены теоретические аспекты гидравлического расчета газопроводов низкого, среднего и высокого давлений. Программа основана на уравнении Дарси-Вейсбаха, уравнении неразрывности и уравнении состояния. Для написания программы использовался язык программирования Java. Меню программы содержит 3 подменю: параметры газа, гидравлический расчет и расчет скорости газа. Программа учитывает химический состав транспортируемого газа и позволяет проектировать системы газоснабжения природного газа, биогаза и других видов газообразного топлива.

Ключевые слова: газоснабжение, системы газораспределения, биогаз, программа расчета, газопроводы, диаметр.

Введение. В настоящее время приоритетной задачей компании «Газпром», озвученной президентом Российской Федерации В.В. Путиным, является повышение уровня газификации регионов страны. На 1 января 2019 года средний показатель газификации РФ составляет 68,6 %, в том числе 71,3 % – в городе и 59,4 % – в сельской местности [1]. Системы газоснабжения и газораспределения включают наружные газопроводы высокого, среднего и низкого давлений, обеспечивающие подачу газа от газораспределительных станций до пунктов редуцирования газа и газопроводов-вводов потребителей [2, 3]. Основными направлениями развития системы газоснабжения России является модернизация существующих систем газораспределения и использование альтернативных источников энергии (сжиженного природного газа, компримированного природного газа и сжиженного углеводородного газа) [4–6]. Одним из перспективных направлений развития систем газоснабжения, получившим широкое применение в странах Европейского Союза, является получение и распределение биогаза [7–10].

Основной задачей при проектировании сетей газораспределения является определение диаметра трубопроводов, при этом необходимо провести большой перечень расчетов. Для проектирования и строительства сложных сетей газораспределения применяют системы автоматизи-

рованного проектирования (САПР) [11, 12]. Автоматизация проектирования позволяет добиться повышения производительности труда инженерно-технических работников, связанных с разработкой и проектированием сетей и оборудования систем газоснабжения. Существующие программно-расчетные комплексы предназначены для проектирования и расчета сетей трубопроводов для распределения и подачи природного газа, имеющего постоянный состав согласно ГОСТ 5542-2014 [13–16]. Однако имеются работы, в которых рассматривается автоматизация проектирования систем газоснабжения с использованием сжиженного углеводородного газа [17].

При использовании в системах газоснабжения биогаза, имеющего переменный состав и состоящего на 40–70 % из метана, появляется необходимость в разработке программного продукта для расчета трубопроводов газообразного топлива различного состава.

Методология. Для разработки и написания программного комплекса расчета будем использовать язык программирования Java, который отличается высокой скоростью работы, уровнем надежности и защиты.

Для расчета диаметра газопровода будем использовать уравнения гидродинамики: уравнение Дарси, уравнения состояния среды и неразрывности потока газа.

Основная часть. Расчет трубопроводов сетей газораспределения основан на определении

параметров потока газа: давления P , плотности ρ и скорости w .

Для описания движения потока газа используется уравнение Дарси-Вейсбаха, которое определяет потери давления на преодоление гидравлических сопротивлений на участке газопровода длиной dx [18]:

$$dP = -\lambda \frac{dx}{d} \rho \frac{w^2}{2}, \quad (1)$$

где λ – коэффициент трения, зависит от режима движения газа; d – внутренний диаметр, м; w – скорость движения газа, м/с; ρ – плотность газа, кг/м³.

Для определения плотности газа, при изменении давления используют уравнение состояния:

$$\rho = \frac{P}{RT}, \quad (2)$$

где R – газовая постоянная; T – абсолютная температура, К.

Расход газа определяется уравнением неразрывности:

$$M = \rho w F = \rho_0 Q_0, \quad (3)$$

где M – массовый расход, кг/с; F – площадь сечения газопровода, м²; Q_0 – объемный расход, приведенный к нормальным условиям, м³/с.

Потери давления газа в газопроводах высокого и среднего давления определяются с учетом сжимаемости газа:

$$P_H^2 - P_K^2 = \frac{P_0}{81\pi^2} \lambda \frac{Q_0^2}{d^5} \rho_0 l = 1,2687 \cdot 10^{-4} \lambda \frac{Q_0^2}{d^5} \rho_0 l. \quad (4)$$

Для газопроводов низкого давления потери давления определяются как для несжимаемой жидкости:

$$P_H - P_K = \frac{10^6}{162\pi^2} \lambda \frac{Q_0^2}{d^5} \rho_0 l = 626,1 \lambda \frac{Q_0^2}{d^5} \rho_0 l. \quad (5)$$

Коэффициент гидравлического трения λ определяется в зависимости от режима движения газа:

– для ламинарного режима $Re \leq 2000$

$$\lambda = \frac{64}{Re}; \quad (6)$$

– для критического режима $2000 < Re \leq 4000$

$$\lambda = 0,0025 Re^{0,333}; \quad (7)$$

– для турбулентного режима $Re > 4000$

$$\lambda = \left(\frac{n}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (8)$$

где n – абсолютная шероховатость внутренней поверхности стенки трубы, м.

Эквивалентная абсолютная шероховатость внутренней поверхности стенки трубы зависит от материала трубопроводов: для стальных труб –

0,01; для полиэтиленовых труб – 0,002. Потери давления в местных сопротивлениях (отводы, тройники, запорная арматура) учитываются путем увеличения расчетной длины газопроводов на 5...10 %.

При расчете надземных и внутренних газопроводов необходимо учитывать степень шума, создаваемого движением газа. Поэтому скорости движения газа должны быть не более: 7 м/с для газопроводов низкого давления; 15 м/с для газопроводов среднего давления; 25 м/с для газопроводов высокого давления.

Предварительный диаметр газопровода d_p можно определить по формуле в соответствии с СП.42-101-2003:

$$d_p = \sqrt[3]{\frac{m^1 AB \rho_0 Q_0^{m_1}}{\Delta P_{уд}}}, \quad (9)$$

где A , B , m , m_1 – коэффициенты, зависящие от категории давления сети и материала трубопровода; Q_0 – расход газа на расчетном участке сети при нормальных условиях, м³/ч; $\Delta P_{уд}$ – удельные потери давления (Па/м – для газопроводов низкого давления; МПа/м – для газопроводов среднего и высокого давлений).

На основе уравнений 1–9 разработан программный комплекс расчета диаметра газопровода для подачи газа различного состава. Алгоритм программы представлен на рис. 1.

Так как режим движения газа по трубопроводу зависит от физико-химических свойств газа, то начальным этапом расчета в разработанной программе является определение параметров газа (рис. 2). Исходными данными расчета является выбор типа газового топлива и его компонентный состав (% по объему). Определяемыми параметрами являются: динамическая вязкость, плотность при стандартных условиях, низшая теплота сгорания, высшая теплота сгорания, число Воббе.

Вторым этапом расчета газопровода сети является гидравлический расчет. Порядок гидравлического расчета следующий (рис. 3).

Во вкладке «Гидравлический расчет» на подменю «Категория сети» необходимо выбрать категорию давления сети, а в подменю «Материал газопровода» – материал участка рассчитываемого газопровода. Затем в поле «Допустимые потери давления в сети» необходимо указать соответствующее значение или оставить по умолчанию рекомендуемое значение. В поле «Расход газа при нормальных условиях» необходимо указать расход газа на рассчитываемом участке при температуре 0 °С и атмосферном давлении 760 мм.рт.ст., а в поле «Длина газопровода» – длина рассчитываемого участка. Для выполнения

гидравлического расчета необходимо нажать кнопку «Рассчитать».

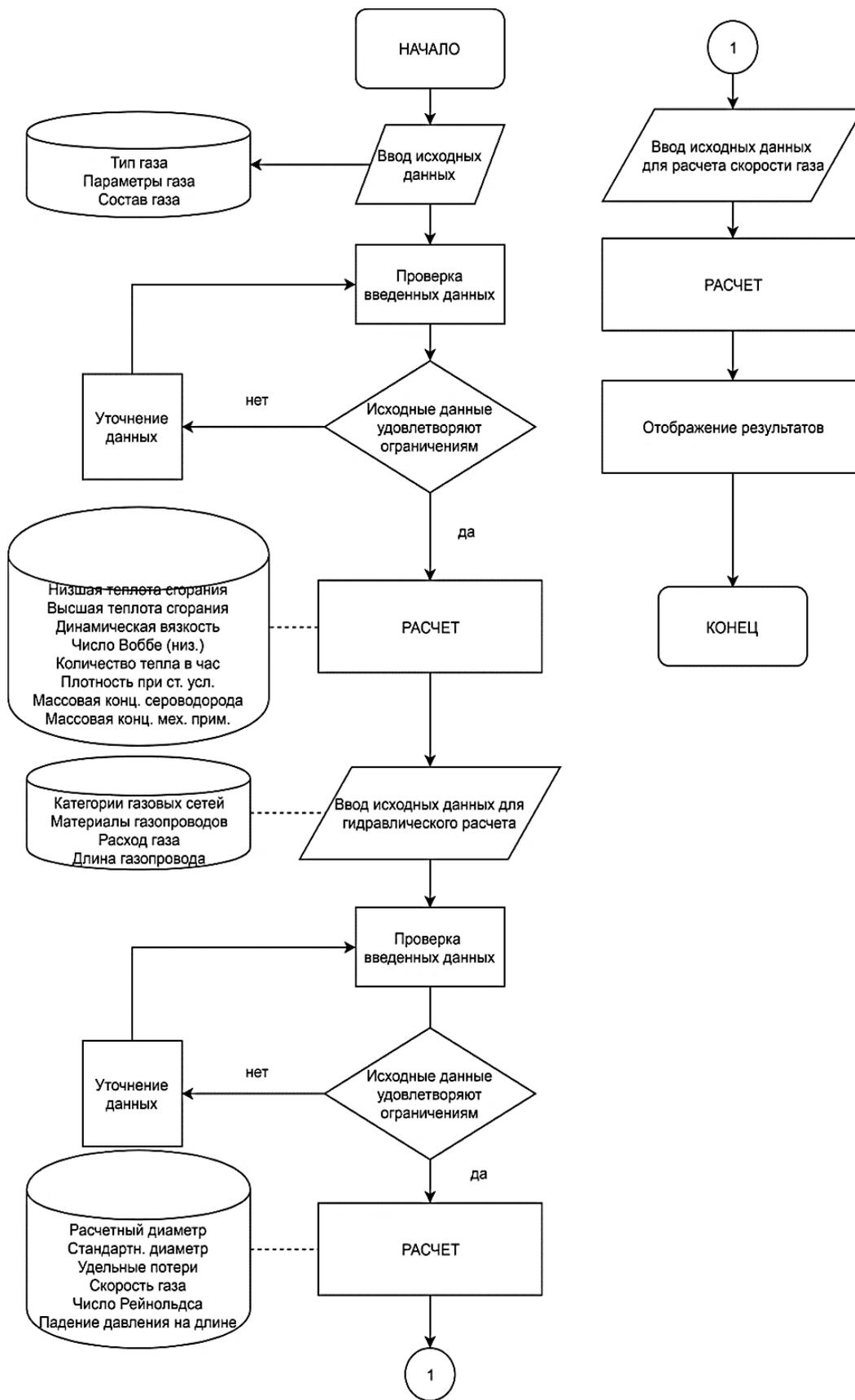


Рис. 1. Блок-схема алгоритма работы программы TGV-GAS

Результатом гидравлического расчета является расчетное значение внутреннего диаметра трубопровода. Стандартный диаметр газопровода определяется из стандартного ряда трубопроводов: ближайший больший для стальных газопроводов и ближайший меньший для полиэтиленовых.

The screenshot shows the 'Параметры газа' (Gas Parameters) tab in the TGV-GAS application. It features a 'Концентрации' (Concentrations) section with a 'Тип газа' (Gas Type) dropdown set to 'Биогаз' (Biogas). Below this are input fields for various gas components: CH₄ (63.0), C₅H₁₂ (0.0), H₂S (2.0), другое (0.0), C₂H₆ (0.0), N₂ (0.0), H₂ (1.0), C₃H₈ (0.0), CO₂ (33.0), H₂O (0.0), C₄H₁₀ (0.0), CO (0.0), and O₂ (0.0). The 'Параметры газа' (Gas Parameters) section includes: 'Нижшая тепл. сгорания' (23.1128), 'Высшая тепл. сгорания' (25.6346), 'Динамическая вязкость' (empty), 'Число Воббе' (19.7992), 'Количество тепла в час' (Вт), 'Плотность при станд. усл.' (1.1356), 'Массовая конц. сероводорода' (г/м³), and 'Массовая конц. мех. примесей' (г/м³).

Рис. 2. Пример работы программы TGV-GAS: расчет параметров газа

Третьим этапом расчета газопровода является уточнение диаметра с учетом скорости газа. Для изменения автоматически подобранного диаметра необходимо перейти на вкладку программы «Расчет скорости газа» и вручную ввести требуемый диаметр. После нажатия кнопки «Расчет» произойдет перерасчет скорости газа и потерь давления. Если скорость газа окажется выше допустимой скорости в соответствии с СП 42-101-2003, то полученное значение выделится красным цветом. Тогда необходимо увеличить диаметр и произвести перерасчет.

На разработанной программе был произведен расчет участка газовой сети длиной 500 м с расходом газа 550 м³/ч для двух видов газа: природного и биогаза (рис. 3). В результате расчета был определен стандартный диаметр трубопровода. Для полиэтиленового газопровода, транспортирующего природный газ, стандартный диа-

метр составил 140 мм, для газопровода, транспортирующего биогаз – 160 мм. Это объясняется составом газа и соответственно разной плотностью, что влияет на режим движения потока и потери давления.

The screenshot shows the 'Гидравлический расчет' (Hydraulic Calculation) tab. The 'Исходные данные' (Initial Data) section includes: 'Категория сети' (Сеть низкого давления), 'Допустимые потери давление в сети (даПа)' (180.0000), 'Усредненное давление газа, абсолютное в сети (МПа)' (0.0000), 'Расход газа при нормальных условиях (нм³/час)' (1144), 'Материал газопровода' (Сталь), 'Длина газопровода (м)' (41), and 'Плотность газа в стандартных условиях (кг/м³)' (1.1356). The 'Результат расчета' (Calculation Result) section shows: 'Расчетный диаметр (мм)' (138.6745), 'Скорость газа (м/сек)' (17.1369), 'Стандарт. диаметр (мм)' (150.0000), 'Число Рейнольдса' (188800.0000), 'Удельные потери (Па/м)' (39.9113), and 'Падение давления на расч. длине газ-да (Па)' (870.5435). A 'Расчитать' (Calculate) button and the address 'БГТУ им. В.Г. Шухова. г. Белгород' are also visible.

Рис. 3. Пример работы программы TGV-GAS: гидравлический расчет

В нижней половине окна также будут выведены расчетные значения скорости газа, число Рейнольдса, удельные потери давления и действительное падение давления на участке газопровода. Следует учитывать, что полученные значения учитывают 10 % удлинение газопровода как запас на местные сопротивления.

Выводы. Разработана программа TGV-GAS, позволяющая на основании известных исходных данных произвести гидравлический расчет и определить необходимый диаметр трубопровода для двух материалов: стали и полиэтилена. Меню программы содержит 3 подменю: параметры газа, гидравлический расчет и расчет скорости газа. Программа учитывает химический состав транспортируемого по трубопроводу газа и может применяться для проектирования сетей газораспределения природного газа, биогаза и других альтернативных газов.

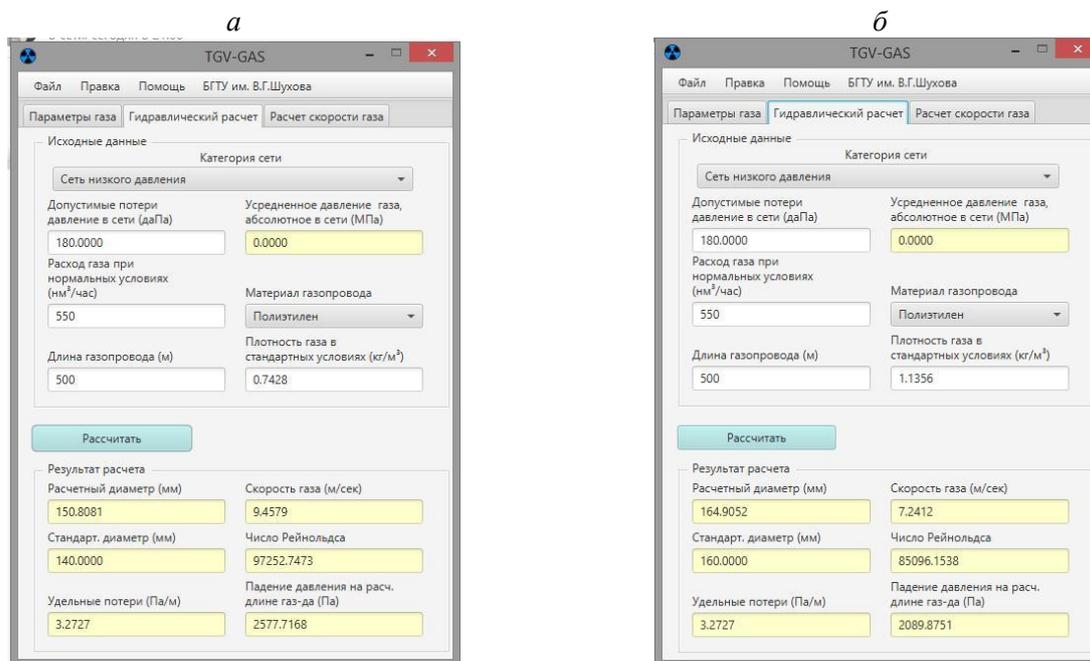


Рис. 3. Расчет в программе TGV-GAS:

a – расчет трубопровода природного газа; *б* – расчет трубопровода биогаза

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. В «Газпроме» назвали число приоритетных регионов РФ для усиленной газификации [Электронный ресурс]. URL: <https://riafan.ru/1161972-v-gazprome-nazvalichislo-prioritetnykh-regionov-rf-dlya-usilennoi-gazifikacii> (дата обращения: 23.03.2019).
2. Ионин А.А., Жила В.А., Артихович В.В., Пшоник М.Г. Газоснабжение: учебник для студентов вузов по специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция». М.: Изд-во АСВ, 2012. 472 с.
3. Nasr G.G., Connor N.E. Natural Gas Engineering and Safety Challenges // London. 2014. 418 p.
4. Газификация [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gazprom.ru/about/production/gasification/> (дата обращения: 24.12.2018).
5. Медведева О.Н., Фролов В.О. Определение основных параметров хладоносителя и природного газа в цикле производства СПГ // Вестник СГТУ. Саратов: СГТУ. 2013. № 2 (70). вып. 1. С. 116–121.
6. Осипова Н. Н. Оптимизация параметров групповых подземных резервуарных установок сжиженного углеводородного газа // Вестник гражданских инженеров. Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2012. С. 190–197.
7. Fubara T., Cecelja F., Yang A. Techno-economic assessment of natural gas displacement potential of biomethane: A case study on domestic energy supply in the UK // Chemical Engineering Research and Design. 2016. DOI: 10.1016/j.cherd.2017.12.022.
8. Cucchiella F., D'Adamo I., Gastaldi M., Milliccia M.A profitability analysis of small-scale plants for biomethane injection into the gas grid UK // Journal of Cleaner Production. 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.02.243.
9. Wu B., Zhang X., Di Bao, Xu Y., Zhang S., Deng L. Biomethane production system: Energetic analysis of various scenarios. Bioresour Technol. 2016. №206. Pp. 155–163. DOI: 10.1016/j.biortech.2016.01.086.
10. Rotunno P., Lanzini A., Leone P. Energy and economic analysis of water-scrubbed biogas upgrading to biomethane for grid injection and transportation application // Renewable Energy. 2016. DOI: 10.1016/j.renene.2016.10.062.
11. Котов В.В., Пронин С.Р. К вопросу об автоматизированном проектировании систем газоснабжения // Вооружение. Технология. Безопасность. Управление: сб. материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции. 2018. С. 667.
12. Herran-Gonzalez A, De La Cruz J.M., De Andres-Toro B. Risco-Martin J.L. Modeling and simulation of a gas distribution pipeline network // Applied Mathematical Modelling. 2009. № 33. Pp. 1584–1600.
13. Расчет гидравлических потерь газопровода (расчет диаметра). Сайт компании «Proekt-gaz» [Электронный ресурс]. URL: <http://proekt-gaz.ru/load/2>.
14. Васильева Е.Е., Шерстнев В.С. Разработка программного обеспечения для подготовки картографических планшетов аварийно-диспетчерской службы газораспределительного предприятия // Современные проблемы науки и образования. 2014. №3. С. 37–43.
15. Суслов Д.Ю., Выродов Г.К. Газодинамический расчет газовых сетей низкого давления с

применением САПР // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №10. С. 114–119.

16. Эффективные решения для проектирования и эксплуатации инженерных сетей на базе геоинформационных технологий [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: [http://megasmeta.kz/wp-](http://megasmeta.kz/wp-content/uploads/2017/12/ZULU-GAZ8.0.pdf)

[content/uploads/2017/12/ZULU-GAZ8.0.pdf](http://megasmeta.kz/wp-content/uploads/2017/12/ZULU-GAZ8.0.pdf) (дата обращения: 27.03.2019).

17. Никишкин С.И., Котов В.В. Автоматизация проектирования газобаллонных источников питания систем газоснабжения // Мониторинг. Наука и технологии. 2018. №2 (35). С. 69–72.

18. Борисов С.Н., Даточный В.В. Гидравлические расчеты газопроводов. М.: Недра. 1972. 108 с.

Информация об авторах

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

Темников Дмитрий Олегович, аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: leovante@live.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Алифанова Алла Ивановна, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в марте 2019 г.

© Сулов Д.Ю., Темников Д.О., Алифанова А.И., 2019

^{1,*}*Suslov D. Yu., ¹Temnikov D. O., ¹Alifanova A. I.*
¹*Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhova*
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46
**E-mail: suslov1687@mail.ru*

DEVELOPMENT OF SOWTWARE FOR CALCULATION OF NATURAL GAS AND BIOGAS PIPELINES

Abstract. *The article is devoted to development of the calculation software for the design of gas distribution networks. The issue is relevant due to the trend of increasing the level of gasification of cities and rural settlements in the Russian Federation. The construction of modern gas supply systems at the design stage requires high costs for engineering and technical workers associated with the development and design of gas distribution networks. Computer-aided design systems are widely used to automate the process of designing gas distribution systems and gas consumption. A software package for calculating the TGV-GAS is developed, designed to perform hydraulic calculations and to determine the required pipeline diameter. The theoretical aspects of the hydraulic calculation of low, medium and high-pressure gas pipelines are considered. The program is based on the Darcy-Weisbach equation, the continuity equation and the equation of state. Java programming language is used to write the program. The program menu contains three submenus: gas parameters, hydraulic calculation and gas velocity calculation. The program takes into account the chemical composition of the transported gas and allows to design gas supply systems for natural gas, biogas and other gaseous fuels.*

Keywords: *gas supply, gas distribution systems, biogas, calculation program, gas pipelines, diameter.*

REFERENCES

1. In "Gazprom" called the number of priority regions of the Russian Federation for enhanced gasification [*V «Gazprom» nazvali chislo prioritnykh regionov RF dlya usilenoj gazifikacii*]. URL: <https://riafan.ru/1161972-v-gazprom-nazvali-chislo-prioritnykh-regionov-rf-dlya-usilenoj-gazifikacii> (accessed 23.03.2019). (rus)

2. Ionin A.A., Zhila V.A., Artihovich V.V., Pshonik M.G. Gas supply [*Gazosnabzhenie*]: *uchebnik dlya studentov vuzov po special'nosti «Teplogazosnabzhenie i ventilyaciya»* М.: ASV, 2012, 472 p. (rus)

3. Nasr G.G., Connor N.E. Natural Gas Engineering and Safety Challenges. London. 2014, 418 p.

4. Gasification [*Gazifikaciya*]. URL: <http://www.gazprom.ru/about/production/gasification/> (accessed 24.12.2018). (rus)

5. Medvedeva O.N., Frolov V.O. Determination of the main parameters of the coolant and natural gas in the LNG production cycle [*Opređenje osnovnykh parametrov hladonositelya i prirodnogo gaza v cikle proizvodstva SPG*]. Vestnik SGTU. Saratov: SGTU, 2013. No. 2 (70). Issue 1. Pp. 116–121. (rus)

6. Osipova N.N. Optimization of parameters of group underground reservoir installations of liquefied petroleum gas [*Optimizaciya parametrov gruppovyh podzemnyh rezervuarov ustanovok szhizhennogo uglevodorodnogo gaza*]. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. St. Petersburg: SPBGASU, 2012, pp. 190–197. (rus)

7. Fubara T., Cecelja F., Yang A. Techno-economic assessment of natural gas displacement potential of biomethane: A case study on domestic energy supply in the UK. Chemical Engineering Research and Design, 2016, DOI: 10.1016/j.cherd.2017.12.022.

8. Cucchiella F., D'Adamo I., Gastaldi M., Miliacca M. A profitability analysis of small-scale plants for biomethane injection into the gas grid UK. Journal of Cleaner Production. 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.02.243.

9. Wu B., Zhang X., Di Bao, Xu Y., Zhang S., Deng L. Biomethane production system: Energetic analysis of various scenarios. Bioresour Technol. 2016. 206:155-163. DOI: 10.1016/j.biortech.2016.01.086.

10. Rotunno P., Lanzini A., Leone P. Energy and economic analysis of water-scrubbed biogas upgrading to biomethane for grid injection and transportation application. Renewable Energy. 2016. DOI: 10.1016/j.renene.2016.10.062.

11. Kotov V.V., Pronin S.R. On the issue of automated design of gas supply systems [*K voprosu ob avtomatizirovannom proektirovanii sistem gaz-osnabzhenii*]. Vooruzhenie. Tekhnologiya. Bezopasnost'. Upravlenie: sb. materialov VIII Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii. 2018. 667 p. (rus)

12. Herran-Gonzalez A, De La Cruz J.M., De Andres-Toro B. Risco-Martin J.L. Modeling and simulation of a gas distribution pipeline network.

Applied Mathematical Modelling. 2009. No. 33. Pp. 1584–1600.

13. Calculation of the hydraulic losses of the pipeline (diameter calculation) [*Raschet gidravlicheskih poter' gazoprovoda (raschet diametra)*]. Sajt kompanii «Proekt-gaz». URL: <http://proekt-gaz.ru/load/2>. (rus)

14. Vasilyeva E.E., Sherstnev V.S. Development of software for the preparation of cartographic tablets of the emergency dispatching service of a gas distribution company [*Razrabotka programmnogo obespecheniya dlya podgotovki kartograficheskikh planshetov avarijno-dispetcherskoj sluzhby gazoraspredeletel'nogo predpriyatiya*]. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2014. No. 3. Pp. 37–43. (rus)

15. Suslov D.Yu., Vyrodov G.K. Gas-dynamic calculation of low pressure gas networks using CAD systems [*Gazodinamicheskij raschet gazovyh setej nizkogo davleniya s primeneniem SAPR*]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 10. Pp. 114–119. (rus)

16. Effective solutions for the design and operation of engineering networks based on geo-information technologies [*Ehffektivnye resheniya dlya proektirovaniya i ehkspluatatsii inzhenernyh setej na baze geoinformacionnyh tekhnologij*]. URL: <http://megasmeta.kz/wp-content/uploads/2017/12/ZULU-GAZ8.0.pdf> (accessed 03.27.2019) (rus)

17. Nikishkin S.I., Kotov V.V. Automation of the design of gas ballooning power sources of gas supply systems [*Avtomatizaciya proektirovaniya gazoballonnyh istochnikov pitaniya sistem gaz-osnabzheniya*]. Monitoring. Nauka i tekhnologii. 2018. No. 2(35). Pp. 69–72. (rus)

18. Borisov S.N., Datochny V.V. Hydraulic calculations of gas pipelines [*Gidravlicheskie raschety gazoprovodov*]. M.: Nedra. 1972, 108 p. (rus)

Information about the authors

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

Temnikov, Dmitry O. Postgraduate student. E-mail: leovante@live.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Alifanova, Alla I. Assistant professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in March 2019

Для цитирования:

Суслов Д.Ю., Темников Д.О., Алифанова А.И. Разработка программного комплекса расчета газопроводов природного газа и биогаза // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 6. С. 34–40. DOI: 10.34031/article_5cfe57432e4766.60336321

For citation:

Suslov D.Yu., Temnikov D.O., Alifanova A.I. Development of software for calculation of natural gas and biogas pipelines. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 6. Pp. 34–40. DOI: 10.34031/article_5cfe57432e4766.60336321

DOI: 10.34031/article_5cfe5731f107c2.02881922

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

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

²Белгородский университет кооперации, экономики и права

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

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

ЭМПИРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРСОНИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ ОБРАЗОВАНИЯ КАК ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ

Аннотация. В статье излагаются результаты исследования аспектов персонификации объектов образования как общественных пространств. Акцентируется внимание на возрастающее значение общественных пространств для роста качества жизни и благосостояния социума. Выделены существующие формы проявления и организации общественных пространств. Определены методологическими причины необходимости персонификации объектов образования как общественных пространств. Выделены концепции организации общественных пространств в объектах образования: технократическая, социально-экономическая, экспертная, психологическая. Определен методологический базис персонификации объектов образования как общественных пространств: цель, основные задачи, требования. Авторами сформулирована гипотеза о метаморфизме объектов различного назначения в общественные пространства в зависимости от целевой ориентации развития общества, исследованы особенности данных свойств. На основе многовариантности восприятия общественного пространства авторами предложена классификация общественных пространств. Проанализированы эмпирические аспекты персонификации объектов образования как общественных пространств. Выделены критерии персонификации объектов образования как общественных пространств. Получены выводы, раскрывающие эмпирические аспекты персонификации объектов образования как общественных пространств.

Ключевые слова: эмпирические аспекты, персонификация объекта, объекты образования, общественное пространство, гипотеза метаморфизма.

Введение. Возрастающее осознание значения общественных пространств для роста качества жизни и благосостояния населения сопровождается повышением внимания к развитию форм проявления данного общественного явления. Эволюционные метаморфозы состояния и качественное развитие общественных пространств в современной социокультурной среде приводит к социально-экономическим сдвигам, переориентации общественных настроений и ценностей, позволяет управлять и переориентировать настроение общественной массы. На уровне психосоматического воздействия способствует решению структурных общественных проблем, восстанавливает общественное равновесие, задает мутационную направленность социально-культурному восприятию и формированию общественных ценностей. Современная теория и практика развития общественных пространств существенно различаются. В зависимости от применяемых инструментов, способов и методов развития общественных пространств, та или иная функциональная территория имеет шансы попасть как в группу высокоразвитых общественных пространств, так и в группу аутсайдеров и деградантов. Данное обстоятельство свидетельствует о необходимости эмпирической ма-

нипуляции при организации общественных пространств. Потребности и возможности в организации общественных пространств в пределах организаций образования одного и того же региона могут различаться в частности, потребности населения сельских районов будут отличаться от потребностей жителей городов, все это требует эмпирической персонификации объектов образования как общественных пространств.

Методология. В отечественной литературе проблема развития общественных пространств основывается на поиске адекватных инструментов, методов и объектов, и возможностей. Необходимо учитывать большое количество факторов, оказывающих влияние на состояние и возможность развития общественных пространств. Многие ученые пытаются сочетать статистические показатели и результаты социологических или экспертных опросов, оперировать различными критериями и индикаторами необходимости развития общественного пространства. Различные представления приводят к расхождению определений общественно значимости организации общественного пространства в том числе и объектах образования.

Необходимость персонификации объектов образования как общественных пространств свя-

зана со следующими методологическими причинами: 1) влиянием объектов образования на качество жизни населения региона; 2) необходимостью создания персонифицированных общественных пространств; 3) оценкой эмпирической адекватности общественных пространств в объектах образования; 4) проблемами выбора оптимальных видов, принципов и критериев; 5) выработкой ключевых элементов организации общественных пространств в объектах образования; 6) адекватная оценка эффекта от мобилизации факторов общественного пространства в объектах образования; 8) необходимостью выбора оптимальных вариантов общественных пространств для объектов образования, адаптированных к перспективам и задачам в сфере образования.

В современной науке нашли проявление следующие концепции организации общественных пространств в объектах образования: 1) технократическая концепция – исходя из технической возможности и необходимости организации; 2) социально-экономическая концепция – соотношение затрат на организацию совокупного эффекта; 3) экспертная концепция – решение группой экспертов; 5) психологическая концепция – социальная интерпретация групповых представлений об организации общественного пространства.

Целью персонификации объектов образования как общественных пространств является отражение качественного состояния и критерием организации.

Основными задачами персонификации объектов образования как общественных пространств являются: 1) определение индикативных направлений; 2) преодоление разбалансированности; 3) формирование системных представлений по формации; 4) определение деформаций между целями и ресурсами; 5) формирование



Парк Эль-Ретиро, Мадрид, Испания

Рис. 1. Примеры парков, расположенных на территории России и Европы [2, 3]

На сегодняшний момент ситуация начала меняться и теперь в разных городах России

механизмов выделения приоритетных направлений.

Формирование механизма персонификации объектов образования как общественных пространств должно осуществляться с учетом следующих основных требований: 1) многообразие подходов организации общественного пространства, дающее возможность сопоставления различных вариантов с учетом целевых ориентиров развития; 2) осуществление непрерывного развития – осуществление корректировки общественного пространства, исходя из соответствия потребностей и социальных приоритетов; 3) отказ от формирования унифицированной модели общественного пространства в объектах образования; 4) ориентация на концептуальные основы образовательной политики. Сформированное на базе учета упомянутых требований общественное пространство будет нацелено на решение назревших проблем образования.

Основная часть. Понятие «общественное пространство» в сегодняшнем понимании для большинства обывателей представляется некоторой площадью, на которой сосредоточены различные элементы, позволяющие удовлетворить потребности человека в еде, развлечениях, отдыхе. Под настоящие определения сразу подходят торговые центры, парки, бульвары и скверы. Если с торговыми центрами ситуация в мире обстоит одинаково (множество ярких магазинов, объединенных сетью переходов, наличие парка аттракционов, кинотеатра и зоны фудкорта), то, касаясь остальных объектов, в России ситуация обстоит не лучшим образом. [1] Понятие «парка, сквера и бульвара» в России до не давнего времени ограничивалось размещением пары лишних скамеек, наличием малой архитектурной формы, например, фонтана, и наличие множества пешеходных дорожек. На рис. 1 представлены примеры «парков» в России и в Европе.



Парк Даманского острова, Ярославль, Россия

можно увидеть парковые зоны европейского образца (рис. 2).



Парк Зарядье, Москва, Россия



Парк Победы, Белгород, Россия

Рис. 2. Примеры новых современных парков, расположенных на территории России [4, 5]

Таким образом, в сознании обывателя понятие «общественное пространство» ограничивается только рамками торговых центров и парков.

Гипотеза о метаморфизме общественного пространства предполагает представление общественного пространства как видоизменяющего «живого организма» регулирующего общественную активность населения. Организация общественного пространства в данном контексте напрямую связана с целью переориентации социального поведения и самосознания на позитивное восприятие общественных изменений, реабилитации социальных настроений.

С точки зрения экономики общественное пространство – это совокупность территорий, генерирующая потоки денежных средств, потоки потребления, потоки формирования потребительских ценностей и стереотипов потребления; потоки экономических интересов.

С социальной позиции общественное пространство – это место концентрации, выражения и объединения интересов общественных групп, формирования общественного мнения и настроения. Есть там, где собираются городские сообщества – группы людей, объединенных общими интересами.

Интерес к развитию общественных пространств основан на возможности с их помощью решать общественные проблемы и задавать целевые векторы развития социальных, экономических, политических, интеллектуальных интересов и программ группового поведения [6].

Исходя из гипотезы метаморфизма общественным пространством может выступать как отдельный объект недвижимости (парк, сквер, площадь), так и может быть включено в состав комплекса зданий и сооружений (общеобразовательная организация, медицинское учреждение и т.п.).

Метаморфизм сущности общественного пространства приводит к такому же разнообразию в классификациях и типологиях. Далее на

рис. 3 представлена обобщенная классификация представления общественного пространства как социокультурного явления.

Развитие общего образования одна из приоритетных задач, поставленных Президентом РФ. Инструментом данного развития должны стать объекты образования как общественные пространства. Большинство объектов образования в России в настоящее время характеризуются стагнацией развития на уровне «постсоветского» этапа, что отражается социальном и психологическом поведении учащихся и работников данных образовательных учреждений. Большинство школьных зданий, представлены «безликими» типовыми коробками, подобным зданиям заводов, поликлиник, казарм и общежитий, что отрицательно сказывается на социальном развитии общества. Данные обстоятельства свидетельствуют о необходимости персонификации объектов образования как общественных пространств.

Существовали разные попытки решить эти проблемы. К примеру, с 60-х годов стали появляться школы, здания которых были больше похожи на современные вузы – технологичные, с индивидуальной архитектурой, формирующей общественное пространство (рис. 4).

Персонификация объектов образования как общественных пространств способствует обучающимся социализироваться и развивать творческие подходы при решении не тривиальных образовательных задач. Общественные пространства способствуют формированию чувства причастности и позволяют моделировать целевое социальное поведения в образовательном процессе. Примером такого моделирования является формирование общественного и образовательного пространства в виде школ-офисов, где у детей есть свои индивидуальные кубиклы или даже маленькие кабинеты. Подобные школы в мировой практике стали появляться в 90-е (рис. 5).



Рис. 3. Классификация общественных пространств



Рис. 4. Университетская гимназия (школа-интернат) МГУ имени М.В. Ломоносова



Рис. 5. Школа-офис в Аризоне

При организации такого вида общественных пространств в образовательных учреждениях создается возможность психологического программирования обучающихся культуре поведения и делового общения нацеленного на решение индивидуально каждым учащимся коллективной задачи, позволяет сформировать социальный опыт.

Персонификация объектов образования как общественных пространств способствует разви-

тию личностных качеств ученика, создает возможности саморазвития и самовыражения, создается себя индивидуальное и свободное общественно-культурное пространство, в котором обучающийся хочет находиться, в котором он проводит время, учится, развивается, радуется и играет. Таким образом, общественное пространство в объектах образования в условиях неопределенности учащихся формируют «определенные» предложения социального взаимодействия.

Таблица 1

Критерии персонификации объектов образования как общественных пространств

| № п/п | Критерий | Пример |
|-------|---|--|
| 1 | Открытость (пример – архитектурная концепция «Умной школы», г. Иркутск) |  |
| 2 | Просторность (пример – один из атриумов «Хорошколы», г. Москва) |  |
| 3 | Мобильность (пример – атриум в инженерном корпусе школы № 548, г. Москва) |  |
| 4 | Креативность (пример – лестница в одной из школ штата Вайоминг) |  |

Персонификация объектов образования как общественных пространств должно быть основано на активном коммуникационном подходе в

том числе с применением on-line технологий, позволяющих ученику транслировать эмоции, настроение, образ связанный с пребыванием в

объекте образования. Общественное пространство позволяет транслировать возможности, которые открывает перед учеником социум, формировать представление о выгодах, реализуемых жизненных устремлениях и социального поведения. Персонализация объектов образования как общественных пространств на современном этапе требует четко сфокусированного акцента на явную и осязаемую выгоду для будущих участников социально-культурной среды. Главная задача общественного пространства побудить ученика совершать действий заданные социокультурным поведением, купировать протестные настроения.

Необходимо вовлечение целевой группы общественного пространства в процесс его формирования с целью выявления положительных и запоминающихся впечатления и желаний учащихся. Современные презентационные технологии 3D-mapping, дополненная реальность, 3D-интерактивные модели общественных пространств позволят структурировать персональные представления, ожидания психологический отклик потенциальных пользователей, продаж позволит сэкономить средства, время и задать необходимый целевой и эмоциональный фон для потенциальных пользователей. Подготовке общественного пространства должна предшествовать обширная работа по психологическому анализу целевой аудитории с целью создания ощущения комфорта и благополучия данного общественного пространства. Немаловажным является и запах придающий атмосфере общественного пространства приятные оттенки, которые возможно создать с использованием автоматических аэрозолей-ароматизаторов.

Технология персонализации объектов образования как общественных пространств позволяет формировать потенциал обучающихся, формировать их будущее социальное поведение, посредством применения современных, креативных инструментов привлечения, позволяющих сформировать чувство удовлетворенности и необходимости социального развития.

В таблице представлено содержание основных эмпирических критериев персонализации объектов образования как общественных пространств.

Выводы. В настоящее время персонализации объектов образования как общественных пространств представляет собой объективную необходимость, хотя теоретический, методологический и методический базис находится на стадии формирования и развития.

Качественное наполнение объектов образования как общественных пространств проявляется в переосмыслении и постановке социальных

проблем, основанных на комбинаторике системного, психологического анализа и целевых ориентиров социально-экономического развития. Персонализация объектов образования как общественных пространств будет способствовать преодолению нарастания негативных тенденций, обусловленных социальной деформацией в образовательных учреждениях. Первоочередной задачей общественного пространства в объектах образования является ориентирование учащихся на целевую вариативность социального развития общества, создание условий высокого уровня агрегирования социального поведения и восприятия действительности. На основе моделирования многовариантности организации общественных пространств возможно провести оценку эмпирического восприятия социальной средой целевых ориентиров будущего общественного развития.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Демидова Т. Десять самых больших торговых центров Европы. ЦИАН ГРУПП. 2018. Режим доступа: <https://belgorod.cian.ru/stati-desyat-samyh-krupnyh-torgovyh-tsentrov-evropy-286804/>.
2. 17 лучших городских парков в Европе. Terraoko – мир твоими глазами. 2017. Режим доступа: <http://terraoko.com/?p=342668>.
3. Тарасов В. Лучшие городские парки России Gotonature.ru. 2018. Режим доступа: <https://gotonature.ru/1692-luchshie-gorodskie-parki-rossii.html>.
4. Официальный сайт ГАУК г. Москвы «Парк «Зарядье». Режим доступа: <https://www.zaryadyepark.ru>.
5. Дом.рф. В рамках приоритетного проекта «Формирование комфортной городской среды», реализуемого Минстроем России. 2017-2018 «Города будущего». Режим доступа: <http://города-будущего.рф/belgorod>.
6. Abakumov R.G., Avilova I.P., Ursu I.V., Kapustina E.O. Methodical Toolkit of Managing Reproduction of the Fixed Assets of an Organization // The Social Sciences. 2015. Vol. 10 (6). Pp. 1449–1455.
7. Дворниченко Т.С., Абакумов Р.Г. Инновации в высшем образовании: сущность и содержание // Образование. Наука. Карьера. Сборник научных статей 2-й Международной научно-методической конференции. 2019. С. 198–202.
8. Абакумова М.М., Абакумов Р.Г. Перспективы и необходимость развития информационного моделирования в высшем образовании // Образование. Наука. Карьера. Сборник научных статей 2-й Международной научно-методической конференции. 2019. С. 7–10.

Информация об авторах

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

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

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

Пермякова Анна Андреевна, магистрант группы МЭУН-21 института магистратуры. E-mail: permakova.aa@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в апреле 2019 г.

© Абакумов Р.Г., Авиллова И.П., Абакумова М.М., Пермякова А.А., 2019

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

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

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova 46

²*Belgorod University of Cooperation, Economics and Law*

Russia, 308000, Belgorod, st. Sadovaya, 118

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

EMPIRICAL ASPECTS OF PERSONIFICATION THE OBJECTS OF EDUCATION AS A PUBLIC SPACES

Abstract. *The results of study the personification aspects of educational objects as public spaces are presented. Attention is paid to the importance of public spaces for the increase in the quality of life and the welfare of society. Existing forms and organization of public spaces are highlighted. Methodological reasons for the personification of educational objects as public spaces are defined. The technocratic, socio-economic, expert and psychological concepts of organizing public spaces in educational facilities are emphasized. The methodological basis for the personification of educational objects as public spaces is determined: the goal, main tasks, requirements. The authors formulate a hypothesis about the metamorphism of various objects in public spaces, depending on the target orientation of the development of society; the features of these properties are investigated. The authors propose the classification of public spaces based on the multivariate perception of public space. The empirical aspects of the personification of education objects as public spaces are analyzed. Criteria of the personification aspects of educational objects as public spaces are highlighted. The obtained conclusions reveal the empirical aspects of personification the objects of education as public spaces.*

Keywords: *empirical aspects, personification of an object, objects of education, public space, metamorphism hypothesis.*

REFERENCES

1. Demidova T. Ten largest shopping centers in Europe. [*Desyat' samyh bol'shikh trgovykh centrov Evropy*]. TSIAN GROUP. 2018. DOI: <https://belgorod.cian.ru/stati-desyat-samyh-krupnyh-torgovyh-tsentrov-evropy-286804/>. (rus)
2. 17 best urban parks in Europe. [*17 luchshih gorodskih parkov v Evrope*]. Terraoko - the world through your eyes. 2017. DOI: <http://terraoko.com/?p=342668>. (rus)
3. Tarasov V. Best urban parks of Russia. [*Luchshie gorodskie parki Rossii*]. Gotonature.ru 2018. DOI: <https://gotonature.ru/1692-luchshie-gorodskie-parki-rossii.html>. (rus)
4. Official site of the State Agrarian University of Moscow «Park «Zaryadie». DOI: <https://www.zaryadyepark.ru>. (rus)
5. As part of the priority project «Formation of a comfortable urban environment», implemented by the Ministry of Construction of Russia. [*Dom.rf. V ramkah prioritetnogo proekta «Formirovanie komfortnoj gorodskoj sredy», realizuemogo Ministrom Rossii. 2017-2018 «Goroda budushchego»*]. 2018. DOI: <http://city-the-future.rf/belgorod>. (rus)
6. Abakumov R.G., Avilova I.P., Ursu I.V., Kapustina E.O. Method of the Fixed Assets of the Organization. The Social Sciences. 2015. Vol. 10 (6). Pp. 1449–1455.
7. Dvornichenko T.S., Abakumov R.G. Innovations in higher education: the nature and content. [*In-*

novacii v vysshem obrazovanii: sushchnost' i sodержanie]. *Образование. Наука. Кар'ера. Сборник научных статей 2-й Международной научно-методической конференции*. 2019. Pp. 198–202. (rus)

8. Abakumova M.M., Abakumov R.G. Prospects and the need for the development of information modeling in higher education [*Perspektivy i*

neobhodimost' razvitiya informacionnogo modelirovaniya v vysshem obrazovanii]. *Образование. Наука. Кар'ера. Сборник научных статей 2-й Международной научно-методической конференции*. 2019. Pp. 7–10. (rus)

Information about the authors

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

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

Abakumova, Marina P. Senior teacher. E-mail: danilenko.ep@bstu.ru. Belgorod University of Cooperation, Economics and Law. Russia, 308000, Belgorod region, Belgorod, ul. Sadovaya, 118.

Permiakova, Ann A. Master student. E-mail: permakova.aa@bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in April 2019

Для цитирования:

Абакумов Р.Г., Авилова И.П., Абакумова М.М., Пермякова А.А. Эмпирические аспекты персонификации объектов образования как общественных пространств // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 6. С. 41–48. DOI: 10.34031/article_5cfe5731f107c2.02881922

For citation:

Abakumov R.G., Avilova I.P., Abakumova M.M., Permyakova A.A. Empirical aspects of personification the objects of education as a public spaces. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2019. No. 6. Pp. 41–48. DOI: 10.34031/article_5cfe5731f107c2.02881922

DOI: 10.34031/article_5d01f9a83dd636.45387278

1,***Прядко И.П.**¹*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
Россия, 129337, Москва, Ярославское ш., 26***E-mail: priadcko.igor2011@yandex.ru*

СОЗДАНИЕ БЕЗБАРЬЕРНОГО АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНОГО ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ МАЛОМОБИЛЬНЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ И ПРОБЛЕМА ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В СФЕРЕ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

Аннотация. В статье анализируются меры, используемые муниципальными властями и строительными организациями в российских мегаполисах для создания безбарьерной архитектурно-планировочной среды. Оцениваются результаты реализации социальных программ по улучшению условий проживания инвалидов и других категорий маломобильных групп населения на урбанизированных территориях. Выдвинуто положение, что обучение организации безбарьерной архитектурно-планировочной среды должно стать приоритетным направлением современного российского строительного образования. Должны быть учтены градостроительные тенденции XXI века, а равно учтены принципы комплексности и системности при создании безбарьерного архитектурно-планировочного пространства и, в частности, принципы по организации эксклюзивного пространства для имеющих ограничения жителей многоквартирных домов. В статье подчеркивается, что существует правовой аспект проблемы, связанный с защитой социальных прав работающих инвалидов, говорится о необходимости преодоления противоречий между различными группами городского населения, а также о необходимости учета экологических тенденций современного мирового градостроительства. В связи с последним в пример приведены градостроительные разработки известного современного датского архитектора Яна Гейла, главы фирмы Gehl Architects, работающего в настоящее время в Российской Федерации, в Московском регионе.

Ключевые слова: архитектурно-планировочное пространство, МГН, безбарьерная среда, социальные потребности, строительное образование, дизайн интерьера, транспорт.

Введение. Доступность социальных услуг, удобство городской инфраструктуры в целом в Российской Федерации в ряде случаев продолжает оставаться для людей с инвалидностью фактором социального неравенства. Сегодня одной из задач комплексной организации безбарьерного городского пространства становится преодоление данного неравенства. Агрессивная, наполненная различными преградами архитектурно-планировочная среда российских городов дискомфортна и непригодна для горожан, нуждающихся в особых условиях и в особом уходе. Автор настоящей статьи полагает, что для преодоления данной негативной тенденции необходима междисциплинарная модель обучения строителей, направленная на усвоение компетенций по созданию безбарьерной архитектурно-планировочной среды в городах (о компетентностном подходе в строительном образовании см. в работе: [1]). В целях осуществления данной модели требуется разработать учебные планы и курсы, дающие возможность гражданским инженерам определять социальные потребности маломобильных групп городского населения (далее МГН). В этом отношении российское строительное образование пока заметно отстает от общемирового уровня. Необходима координация усилий градостроителей, социальных работников,

представителей гражданского общества, предпринимателей, экономистов и профессорско-преподавательского состава строительных вузов. Нужно не только совершенствовать технические средства по реабилитации МГН, но и создавать условия для их социализации, условия для удовлетворения не только базовых физиологических, но и общественных, культурных, духовных, а иногда и религиозных потребностей (ср., например, [2]). Сегодня социальные мероприятия часто осуществляются отдельно от архитектурно-планировочных. В целях преодоления неравенства между дееспособными и маломобильными, ограниченными в возможностях гражданами в столичном регионе проводятся ярмарки вакансий и конференции по трудоустройству и предпринимательству инвалидов. В рамках таких мероприятий педагоги, представители бизнеса, психологи помогают людям с ограниченными возможностями поверить в себя, устроиться на работу и даже начать предпринимательскую деятельность [3]. Автор статьи исходит из уверенности, что в работу этих ярмарок могли бы влиться архитекторы и строители, интересующиеся данной социальной проблемой. С их участием на подобных мероприятиях стали бы выявляться комплексные запросы представителей МГН, в том числе запросы по обустройству особой городской среды.

Например, одной из центральных психологических проблем для представителей МГН становится проблема одиночества, проистекающего от невозможности преодолеть пространственные барьеры (т.е. это задача одновременно градостроительная и психологическая). До 41 % опрошенных ВЦИОМ москвичей убеждены, что в городе количество одиноких людей постоянно увеличивается [4]. Отсюда задача: организовать архитектурно-планировочную среду так, чтобы подобных барьеров не существовало, а одиночество было преодолено. Эта задача должна ставиться и решаться уже на этапе подготовки будущих специалистов-градостроителей.

Комфортная архитектурно-планировочная среда предоставит возможности для профессиональной подготовки, переподготовки, повышения квалификации людей с инвалидностью, для организации спортивных соревнований и культурных мероприятий, рассчитанных на эти категории городских жителей. А значит, нужны сооружения и объекты малой архитектуры, облегчающие передвижение инвалидов по улицам мегагорода. Современная тенденция связана с вовлечением инвалидов не только в работу по найму, но и во «фриланс» и в сферы самозанятости [3]. Эти тенденции должны учитываться при строительстве архитектурных сооружений в городе. Ведь распространение самозанятости и надомной работы ставит перед архитекторами новые требования в организации интерьера жилых помещений, предназначенных для людей с ограниченными возможностями. В данном случае они должны быть не только местом рекреации и удовлетворения бытовых потребностей представителей МГН, но и стать удобным местом для их работы. С другой стороны, нужно организовать диалог между гражданским обществом и живущими в городе представителями маломобильных групп.

Будучи ограничен форматом статьи, автор хотел бы наметить отдельные проблемы, которые должны найти отражение в курсе подготовки гражданских инженеров.

Методология исследования. Основным методом в работе является метод ретроспективного анализа источников, анализ данных опросов, проводимых ВЦИОМ среди жителей столицы в 2017–2018 гг. и опроса, проведенного в строительном вузе среди будущих строителей. В последнем из названных опросов принимали участие 120 респондентов. В настоящей статье автор учитывает мнения современных российских и зарубежных специалистов по формированию комфортной безбарьерной среды. Интересными представляются выводы таких современных исследователей в этой области, как Данилина Н.В.,

Привезенцева С.В. [5], Шимолина М.В. [6]. Экологические аспекты проблемы рассматривает Завьялова Т.В. в статье [7, с.36]. Проблемы безбарьерной среды ставятся в работах Плаксиной Н.А. [8], Беленькой М.П. [3], Наберушкиной Э.К. [9] и ряда других. С тем, как обстоят дела с организацией безбарьерной среды в мегаполисах Юго-Восточной Азии можно ознакомиться в работе [10], а европейский опыт отражен в работе [11]. Большинство из названных авторов разделяют тезис, что проблемы МГН относятся к числу комплексных, и потому они должны решаться средствами социальных, градостроительных и психологических наук с привлечением архитекторов, муниципальных работников, дизайнеров и даже социальных философов и этнологов (неоспоримым является факт, что отношение к инвалидам в разных обществах обусловлено этнокультурной спецификой). Транспортные проблемы маломобильных горожан подняты в исследованиях Орлиной К.В. [12] и Давыдовой Е.А. [13].

Вместе с тем, ни в одной из перечисленных работ не поставлен вопрос о включении проблем организации безбарьерной среды для МГН в подготовку специалистов-градостроителей. Постараемся связать наработки ученых и практиков в области градостроительства с требованиями строительного образования. Ведь то, о чем пишут в статьях специалисты, может быть тоже включено в программы подготовки строителей и архитекторов.

Основная часть. Опыт создания безбарьерной среды в интерьере учреждений общего пользования. Организация безбарьерной среды внутри помещений и внутри жилищ должна стать фактором безопасного проживания инвалидов и приравненных к ним категорий граждан. Довольно сложна в современных интерьерах жизнь людей, получивших автодорожные и железнодорожные травмы, людей с нейрохирургической патологией, о чем довольно часто пишет районная пресса [14]. Анкетные опросы, в том числе и проведенные среди студентов НИУ МГСУ, показали, что планировка внутренних помещений и внутренних объемов, предназначенных для маломобильных категорий жильцов, должна принципиально отличаться от комнат, рассчитанных для проживания других граждан. Вход в ванное помещение и выход на балкон можно снабдить пандусом (здесь, по меньшей мере, должен отсутствовать порог, мешающей проезду инвалидной коляски), а двери должны открываться в сторону, противоположную движению инвалида-колясочника. Целесообразно, по мнению опрошенных, вернуться к системе смежных комнат, что тоже обеспечит инвалидам

лучший доступ в сами помещения. Пример адаптации двухкомнатной квартиры для МГН представлен на рис. 1.

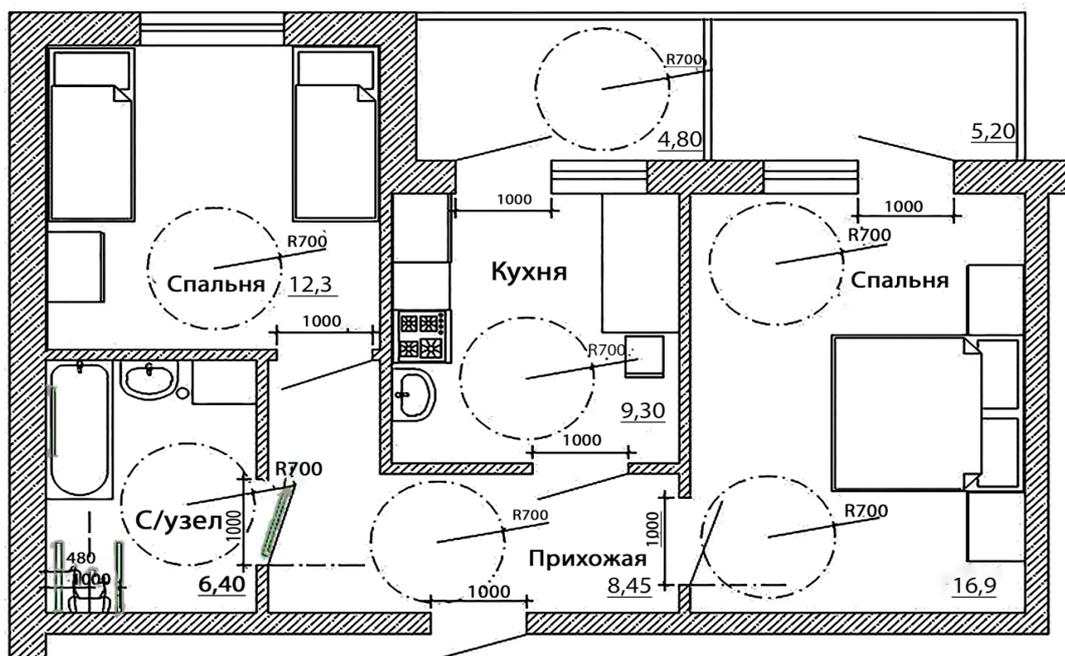


Рис. 1. Адаптация двухкомнатной квартиры для МГН (выполнено автором на основе рисунка, помещенного на сайте: <http://project-bezpregrad.com/content/photos.registratura/zhilie-doma4>)

В домах и на придомовой территории желательно будет предусмотреть достаточные по своему размеру разворотные площадки, на которых могут разместиться коляски. Недопустимы случаи, когда пандусы устанавливаются с грубыми нарушениями требований действующего свода правил «СП 59.13330.2016. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения» (рис. 2). Аналогичные требования должны предъявляться к местам общего пользования. Знакомство с архитектурно-строительными нормативами по планировке помещений

должно быть включено в курс подготовки студентов факультетов ИСА (строительства и архитектуры) и ПГС (промышленное гражданское строительство) в архитектурно-строительном вузе или аналогичных специальностей в средних специальных учебных заведениях, в строительных техникумах и колледжах, где готовят, например, мастеров общестроительных работ, технологов-эксплуатационников многоквартирных домов.



а



б

Рис. 2. Наружные пандусы для инвалидов иногда устанавливаются с нарушениями существующих норм. а) уклон пандуса заметно превышает значение, установленное в 6.1.2 действующего «СП 59.13330.2016. «Свод правил. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения». Актуализированная редакция СНиП 35-01-2001» (фотография размещена на сайте: <http://museumizori.ru/novosti/dostupnaja-sreda-dlja-invalidov-v-gosuda.html>); б) Отсутствие разделительных поручней также является нарушением указанного выше свода правил (фото размещено на сайте <http://www.molgvardija.ru/node47249>)

При проектировании квартир для маломобильных групп населения необходимо принимать в расчет современные тенденции в архитектуре и строительстве, где все отчетливее проявляется стремление к автономности. «Человеку, – подчеркивает современный автор, – нужен такой дом, который позволит ему не зависеть от внешней среды» [15]. Безопасность жилища для инвалидов должна оставаться приоритетным требованием. Важно также, прилагая усилия к экологизации городских архитектурно-планировочных пространств, сохранить транспортные удобства для МГН [16].

Учебная программа по созданию архитектурно-планировочного пространства для МГН, которая могла бы быть использована в практике обучения, должна быть нацелена на удовлетворение запросов представителей маломобильных граждан и на соблюдение норм по организации доступной среды.



Гражданское общество и МГН: перспективы диалога. В предыдущем параграфе мы уже говорили о необходимости тесного общения между людьми с ограничениями и представителями других групп горожан. Имеется острая потребность в общении между маломобильными категориями горожан и гражданским обществом. Помочь наладить его должны подготавливаемые сегодня архитекторы. Они (автор надеется на это) усвоят передовой мировой опыт и удовлетворят запросы жителей городов будущего. Так приглашенный властями российской столицы датский градoproектировщик, глава фирмы Gehl Architects Ян Гейл, в своих проектах учитывающий социальную составляющую архитектуры, советует расширить пешеходные дорожки (см. рис. 3), увеличить рекреационные зоны, чтобы облегчить передвижение по столичному мегаполису горожан, имеющих физические ограничения [17].



Рис. 3. Пандусы и пешеходные дорожки в проектах Яна Гейла удобны для маломобильных горожан. Проекты Гейла для российской столицы (см. фото на сайте <https://amo.ru/blog/article/noviy-proect-mockvi>)

В начале XXI века, когда во многих странах развитие получили институты гражданского общества, активно влияющие на решения государственных или муниципальных властей, проблема безбарьерного пространства приобретает политическое звучание. При этом не только архитекторы-профессионалы, но и люди с ограниченными возможностями все активнее вовлекаются в обсуждение архитектурных проектов, планов городской застройки, технических заданий по созданию средств реабилитации. Уже в наши дни организуются конкурсные комиссии по утверждению подобных проектов. Сейчас в нашей стране специалисты, сами имеющие ограниченные возможности, осуществляют проверку качества того, что закупают региональные отделения Фондов для инвалидов. В этих условиях возникает настоятельная потребность в исследовании нужд маломобильных групп средствами социоло-

логии, социальной экологии, теории архитектуры и градостроительства. Здесь могут понадобиться опросные методы. Регулярная проверка архитектурно-планировочного пространства теперь и в Российской Федерации осуществляется уполномоченными по правам человека и представителями общественных организаций. Анализ и экспертизе подвергаются сами приспособления, необходимые для передвижения инвалидов, – пандусы и поручни, а также стоянки для машин в общественных местах, внутреннее пространство учреждений торговли и культуры.

И все же работа в российских регионах, еще не дала ощутимых результатов. А чтобы такие результаты были, при обучении архитекторов им необходимо внушить мысль, что при создании безбарьерного городского пространства придется учитывать и преодолевать конфликты интересов, возникающие между различными категориями городского населения. Нужно научиться

применять методы их разрешения, которые уже разработаны в рамках мировой практики градостроительства.

И действительно, о необходимости разрешать конфликты интересов между маломобильными категориями горожан и другими группами городского населения довольно много говорится за рубежом. Выход из противоречий специалисты видят в создании городского пространства «для всех», чем и занимается упомянутый выше Ян Гейл. С передовыми разработками датского градoproектировщика надлежит ознакомить молодое поколение российских архитекторов. Получающим специальность архитектора полезно будет ознакомиться с концепциями *universal accessibility* (универсальной доступности) [11] и *inclusive design* (инклюзивного дизайна) [18], введенных в научный оборот зарубежными теоретиками градoproектирования. Приведенные выше понятия отражают современные тенденции по учету функционального разнообразия архитектурно-планировочной среды города. Используя понятие «инклюзивного дизайна» Э. Хейлиген и ее соавторы, подчеркивают необходимость целостного подхода к построению искусственной городской среды. Термин «инклюзивный дизайн» зарубежные исследователи рассматривают как «общий термин, который также охватывает универсальный дизайн и дизайн для всех» [18]. При обучении градoproектировщиков в их сознание необходимо внедрить систему приоритетов в использовании ресурсов улично-дорожной сети: пешеходное передвижение имеет преимущество перед передвижением на транспорте, общественный транспорт важнее индивидуального. Именно так формулируют свое кредо власти бразильского Куритиба, намеренные сделать архитектурно-планировочное пространство своего города комфортным для представителей МГН [19]. И этот опыт тоже можно взять на вооружение.

Радикальное преобразование архитектурно-планировочного пространства предложено фирмой Adrian Smith+ Gordon Gill Architecture, взаимодействующей в данном вопросе с муниципальным правительством китайского города Чэнду. Проект безбарьерного города создавался для удаленного от урбанистического ядра поселения-спутника, имеющего площадь 1,3 км². Пространство нового города, построенного «под ключ», уже заранее планировалось как безбарьерное. Половина улиц здесь будет только для пешеходов, а самое дальнее расстояние между двумя точками можно преодолеть пешком всего за 15 минут [20]. Китайские специалисты подчеркивают, что совершенствование систем организации безбарьерной городской среды в «Поднебесной» происходит с середины 80-х гг. XX века. Но

даже здесь ими отмечены такие проблемы, как «низкая осведомленность о создании безбарьерной среды, недостаточный контроль за этой средой, отсутствие реального учета потребностей пользователей в проектировании безбарьерных сооружений» [10]. В российских городах, как мы видим, решается аналогичный круг вопросов.

И в нашей стране должны учитываться социальные аспекты при организации городского архитектурно-планировочного пространства. Участие горожан в определении приоритетов должно становиться по возможности широким. Важным представляется опыт Центра обеспечения мобильности пассажиров в Московском метро. Этим Центром организована служба проводников по московской «подземке». С опытом деятельности данной службы должны быть знакомы обучающиеся студенты-транспортники и строители. С помощью этой и подобных служб необходимо изучить маршруты, которые в оценке инвалидов для них наиболее удобны.

Третьей группой (после городских властей и представителей гражданского общества), которая должна быть вовлечена в решение проблем МНГ, выступают предприниматели. На предпринимателях и руководителях предприятий лежит обязанность проводить аттестацию рабочих мест, обеспечивать доступность рабочей зоны, соблюдать нормы трудового законодательства и санитарно-технические нормы [21].

Стоит отметить, что проблема социализации инвалидов, вовлечения их в общественно-полезный труд не может быть решена только правовыми или архитектурно-планировочными методами. В данной связи специалисты обращают внимание на то, что предпринимателям в сложившихся сегодня условиях трудно выполнять закон о квотировании рабочих мест для инвалидов. Бизнесменов не удовлетворяет то, что они не имеют возможности увольнять лиц с ограничениями. Бизнесу легче заплатить деньги в фонд квотирования, чем выполнять предписания законодательства.

Вывод. Разработка нормативного обеспечения деятельности по созданию комфортного пространства для инвалидов, выполнение этих норм при проектировании архитектурно-планировочной среды – это задачи, которые желательно решать комплексно. Строитель и архитектор должен руководствоваться требованием: «Доступная среда – норма современного градостроительства». При этом важно учитывать новейшие тенденции в архитектуре и градopланировании. Однако создание безбарьерной среды, отвечающей современным требованиям, возможно только через совершенствование программ подготовки будущих инженеров-строителей.

При обучении гражданских инженеров созданию безбарьерного пространства необходимо учитывать мнение представителей маломобильных групп, а потому обучаемые должны владеть навыками проведения социологических опросов, уметь вести диалог с представителями гражданского общества. Мировой опыт создания городского архитектурно-планировочного пространства ориентирует на создание безбарьерной среды для всех категорий граждан, в то время как планировка помещений должна удовлетворять требованию эксклюзивности. Особое внимание должно быть уделено инвалидам, для которых квартира является не только местом проживания, но и рабочим местом.

Необходимо предусмотреть проведение публичных слушаний, посвященных утверждению проектов по созданию безбарьерного архитектурно-планировочного пространства. В рамках

этих слушаний должно быть учтено мнение не только лояльной по отношению к местной власти части населения, но и всех категорий горожан. Посредником между инвестором, муниципальной властью и группами влияния (активной частью населения, заинтересованной в проведении слушателей) должен стать коммуникационный центр, работающий с гражданскими активистами, представителями СМИ, экспертным сообществом, властными структурами. Такой центр будет выполнять роль согласительной инстанции и должен способствовать разрешению противоречий между участниками слушаний. Тогда принципиальная схема взаимодействия населения, заинтересованного в создании безбарьерной среды, со строительными фирмами и местной властью могла быть такой, как она предложена на схеме (рис. 4).



Рис. 4. Схема публичных слушаний по созданию безбарьерной среды для МГН

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Одрич И.Н. Методологические принципы проектирования процесса формирования профессиональных компетенций бакалавров строительного профиля // Балтийский гуманитарный журнал. 2016. Т.5. №1(14). С. 132–135.
2. Сергиенко Е.С. Храм, доступный для каждого: один из аспектов формирования доступной городской среды // Молодая наука-2016. Архитектура, строительство, дизайн. Сборник тезисов. М. 2016. С. 235–243.
3. Беленькая М. Инвалиды рассказали, почему они работают // Метро. 02.03.2018. С. 3.
4. Нешевец М. В России практически нет одиноких людей // Метро. 16.02.2018. С. 3.
5. Данилина Н.В., Привезенцева С.В. Маломобильные группы населения в транспортно-пе-

ресадочных узлах // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20. №3. С. 49–56.

6. Шимолина М.В. Маломобильные группы населения в современной России: аспекты социального неравенства // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. С. 1491.

7. Завьялова Т.В. Оценка экологических троп г. Москвы по степени их адаптированности под маломобильные группы населения // Вестник ландшафтной архитектуры. 2016. № 8. С. 36–41.

8. Плаксина Н.А. Толерантная среда – безбарьерная среда для детей с особыми образовательными потребностями // Безбарьерная среда в школе и обществе. Сб. материалов конференции. СПб: Изд. ИСПП, 2014. С. 198–201.

9. Наберушкина Э.К. Доступность городской среды для инвалидов [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL:

http://ecsocman.hse.ru/data/2011/02/13/1214888091/Naberushkina_07.pdf (дата обращения: 14.01.2019)

10. Ma Hui, Peng Zheyi. Study on Law of Barrier-free Environmental Construction in China // International Conference on Education, Culture and Social Development. 2017. Vol.80. Pp. 220–223.

11. Biere Arenas R., Arellano Ramos B. ICT, Facilitating Tools for Living and Enjoying a Barrier-free City // Ace-Architecture City and Environment. 2017. Vol. 11. Vyp.33. Pp. 219–239.

12. Орлина К.В. Транспорт и городская среда: организация безбарьерной и комфортной архитектурно-планировочной среды для маломобильных групп населения // Урбанистика. 2015. №1. С. 19–29.

13. Давыдова Е.А. Маломобильные группы населения в современном мегаполисе // Сборник докладов института Фундаментального образования МГСУ. М.: Изд. МГСУ. 2011. С. 145–155.

14. Семенова Н. Здоровье в приоритете. Как поработали селятинские медики в прошлом году? // Центр города. № 11 (434). 17–23 марта 2014. С. 4.

15. Zdarilova R. An analysis of the User's Perspective of Barrier-Free Housing // 3rd International Multidisciplinary Scientific Conference on Social Sciences and Arts, SGEM. Book4. Vein, 2016, pp. 59–63.

16. Боро Э. Наши города зеленеют // Метро. 30 марта 2012. С.12.

17. Самарин В. Ходить пешком полезнее // Родники. №33. 7 марта 2014. С.6.

18. Heylighen A., Van der Linden V., Van Steenwinkel I. Ten questions concerning inclusive design of the built environment // Building and Environment. 2016. Vol. 114. № 3. Pp. 507–517.

19. Блинкин М., Гордеев С. Почему этот город едет? [Электронный ресурс]. URL: <http://www.archnadzor.ru/2008/10/10/pochemu-etot-gorod-edet/> (дата обращения: 27.12.2018).

20. Шепард У. Новый город, новый характер // Prime Russian Magazine. 2015. № 6(33). С. 49–55.

21. Золотаревская А. Почему закон о квотировании рабочих мест для инвалидов не решает проблему? // Метро [Ежедневная газета]. 02.03.2018. С. 3.

Информация об авторах

Прядко Игорь Петрович, доцент кафедры социальных, психологических и правовых коммуникаций. E-mail: priadcko.igor2011@yandex.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва. Ярославское шоссе, д. 26.

Поступила в январе 2019 г.

© Прядко И.П., 2019

^{1,*}*Pryadko I.P.*

¹*Moscow State University of Civil Engineering (National Research)*
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskaya highway, 26

*E-mail: priadcko.igor2011@yandex.ru

CREATING A BARRIER-FREE ARCHITECTURAL AND PLANNING SPACES FOR PEOPLE WITH LIMITED MOBILITY AND THE TRAINING OF SPECIALISTS IN THE FIELD OF CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Abstract. The article analyzes the measures used by municipal authorities and construction organizations in Russian megalopolis for the organization of barrier-free architectural and planning environment. The results of the implementation of social programs to improve the living conditions of people with disabilities and other categories of people with limited mobility in urban areas are evaluated. It is proposed that the training of the barrier-free architectural and planning environment should become a priority direction of modern Russian construction education. Urban planning trends of the XXI century should be taken into account, as well as the principles of complexity and consistency in the creation of barrier-free architectural and planning space, in particular, the principles of the organization of exclusive space for residents of apartment buildings with restrictions. The article emphasizes that the legal aspect of the problem exists related to the protection of the social rights of workers with disabilities. The need to overcome the contradictions between different groups of urban population and the need to consider the environmental trends of the modern world urban planning is emphasized. In this regard, the town-planning developments of the famous modern Danish architect Jan Gehl, the head of Gehl Architects, are given as an example, currently working in the Russian Federation, in the Moscow region.

Keywords: architectural and planning space, MGN, barrier-free environment, social needs, construction education, interior design, transport.

REFERENCES

1. Adric I.N. Methodological principles of design of process of forming of professional competences of bachelors of construction of the profile [*Metodologicheskie principy proektirovaniya processa formirovaniya professional'nyh kompetencij bakalavrov stroitel'nogo profilya*]. The Baltic journal of Humanities. 2016. Vol. 5. No. 1 (14). Pp. 132–135. (rus)
2. Sergienko E.S. Temple, accessible to everyone: one of the aspects of the formation of an accessible urban environment [*Hram, dostupnyj dlya kazhdogo: odin iz aspektov formirovaniya dostupnoj gorodskoj sredy*]. Young science-2016. Architecture, construction, design. Thesis collection, Moscow, 2016, pp. 235–243. (rus)
3. Belenkaya M. Disabled people told why they work [*Invalidy rasskazali, pochemu oni rabotayut*]. Metro, 2018, 02 March, P. 3. (rus)
4. Neshevets M. In Russia there are practically no lonely people [*V Rossii prakticheski net odinokih lyudej*]. Metro. 2018. 16 Febr. P. 3. (rus)
5. Danilina N.In., Privezentseva S.V. The people with limited mobility in transport interchange hubs [*Malomobil'nye gruppy naseleniya v transportno-peresadochnykh uzlah*]. Bulletin of Tomsk state University of architecture and construction. 2018. Vol. 20. No. 3. Pp. 49–56. (rus)
6. Shimolina M.V. The people with limited mobility in modern Russia: aspects of social inequality [*Malomobil'nye gruppy naseleniya v sovremennoj Rossii: aspekty social'nogo neravenstva*]. Modern problems of science and education. 2015. No. 1-1. Pp. 1491. (rus)
7. Zavyalova T.V. Estimation of ecological trails of the city of Moscow in terms of their ADAP-tovandosi under low-mobility groups of the population [*Ocenka ekologicheskikh trop g. Moskvy po stepeni ih adaptirovannosti pod malomobil'nye gruppy naseleniya*]. Journal of landscape architecture. 2016. No. 8. Pp. 36–41. (rus)
8. Plaksina N.Ah. Tolerant environment-barrier-free environment for children with special educational needs [*Tolerantnaya sreda – bezbar'ernaya sreda dlya detej s osobymi obrazovatel'nymi potrebnostyami*]. Barrier-free environment in school and society, SPb: ISP Publ., 2014. Pp. 198–201. (rus)
9. Naberushkina E.K. Availability of the urban environment for persons with disabilities [*Dostupnost' gorodskoj sredy dlya invalidov*]. [Electronic resource] Available at: http://ecsoc-man.hse.ru/data/2011/02/13/1214888091/Naberushkina_07.pdf (accessed 14.01.2019). (rus)
10. Ma Hui, Peng Zheyi. Study on Law of Barrier-free Environmental Construction in China [*Transport i gorodskaya sreda: organizaciya bezbar'ernoj i komfortnoj arhitekturno-planirovочноj sredy dlya malomobil'nyh grupp naseleniya*]. International Conference on Education, Culture and Social Development. 2017. Vol. 80. Pp. 220–223. (rus)
11. Biere Arenas R., Arellano Ramos B. ICT, Facilitating Tools for Living and Enjoying a Barrier-free City Ace-Architecture City and Environment. 2017. Vol. 11. Vyp. 33. Pp. 219–239.
12. Eagle K.V. Transport and the urban environment: the organization of barrier-free and comfortable architectural environment for the people with limited mobility [*Transport i gorodskaya sreda: organizaciya bezbar'ernoj i komfortnoj arhitekturno-planirovочноj sredy dlya malomobil'nyh grupp naseleniya*]. Urban studies. 2015. No. 1. Pp. 19–29. (rus)
13. Davydova E.M. In the modern metropolis [*Malomobil'nye gruppy naseleniya v sovremennom megapolise*]. Reports of the Institute of Fundamental education. Moscow, MGSU Publ. 2011. Pp. 145–155. (rus)
14. Semenova N. Health is priority. How did doctors work in Seljatino in the past year? City centre [*Zdorov'e v prioritete. Kak porabotali selyatinskie mediki v proshlom godu?*]. No. 11 (434), 17–23 March. 2014. Pp. 4. (rus)
15. Zdarilova R. An analysis of the User's Perspective of Bareer-Free Housing. 3rd International Multidisciplinary Scientific Conference on Social Sciences and Arts, SGEM. Book4. Vein. 2016. Pp. 59–63.
16. Boro E. Our cities are turning green [*Nashi goroda zeleneyut*]. Metro. 2012. 30 March. P.12. (rus)
17. Samarin V. Walk useful [*Hodit' peshkom poleznee*]. Springs. 2014. No. 33. 07 March. P.6. (rus)
18. Heylighen A., Van der Linden V., Van Steenwinkel I. Ten questions concerning inclusive design of the built environment. Building and Environment. 2016. Vol. 114. No. 3. Pp. 507–517.
19. Blinkin M., Gordeev S. Why is this city going? [*Pochemu etot gorod edet?*] [Electronic resource]. <http://www.archnadzor.ru/2008/10/10/pochemu-e-tot-gorod-edet/> (accessed 27.12.2018). (rus)
20. Shepard U. New City, New Character [*Novyj gorod, novyj karakter*]. Prime Russian Magazine. 2015. No. 6 (33). Pp. 49–55. (rus)
21. Zolotarevskaya A. Why the law on quotas of workplaces for disabled people does not solve the problem? [*Pochemu zakon o kvotirovanii rabochih mest dlya invalidov ne reshaet problemu?*] Metro [Daily newspaper], 2018, 02 March, p. 3. (rus)

Information about the authors

Pryadko, Igor' P. PhD, Assistant professor. E-mail: priadcko.igor2011@yandex.ru. Moscow State University of Civil Engineering (National Research). Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskaaya hlgwway, 26.

Received in January 2019

Для цитирования:

Прядко И.П. Создание безбарьерного архитектурно-планировочного пространства для маломобильных групп населения и проблема подготовки специалистов в сфере строительства и архитектуры // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 6. С. 49–57. DOI: 10.34031/article_5d01f9a83dd636.45387278

For citation:

Pryadko I.P. Creating a barrier-free architectural and planning spaces for people with limited mobility and the training of specialists in the field of construction and architecture. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 6. Pp. 49–57. DOI: 10.34031/article_5d01f9a83dd636.45387278

DOI: 10.34031/article_5d0a44333927d2.57888299

^{1,*}Ильвицкая С.В., ¹Конева Е.Ю., ¹Петрова Л.В.¹Государственный университет по землеустройству

Россия, 105064, г. Москва, ул Казакова, 15

*E-mail: Ilvitskaya@mail.ru

ВОССОЗДАНИЕ ХУДОЖЕСТВЕННО-ИСТОРИЧЕСКОГО ОБРАЗА ИНТЕРЬЕРОВ «КРАСНОЙ ЗОНЫ» МАЛОГО ТЕАТРА

Аннотация. В статье рассматривается уникальный памятник истории и культуры, восходящий к эпохе классицизма и играющий важную роль в историческом контексте и архитектурном ансамбле Москвы. Изучаются процессы производства реставрационных работ фасадов и интерьеров объекта культурного наследия федерального значения Академического Малого театра России, проведенные в 2013–2016 гг. Затрагиваются также вопросы истории строительства этого уникального объекта, проблемы неравномерной осадки здания и его стабилизации. В процессе производства реставрационных работ, в рамках авторского надзора и научно-методического руководства, появилась возможность дополнительных исследований, что в свою очередь позволило воссоздать единый художественный ансамбль интерьеров театра, относящихся к так называемой «красной зоне». Подробно рассматривается проблематика воссоздания авторского колористического решения зрительного зала, а также живопись плафона потолка и падуз зрительного зала, что является интерьерной доминантой и несомненным памятником декоративно-прикладного искусства середины XX века и имеет уникальные особенности. Выяснилось, что в процессе производства ремонтных работ общая колористическая стилистика помещений медленно, но верно изменилась в сторону упрощения. Это, вероятно, обусловлено тем, что ремонтными работами, в основном занимались хозяйственные службы, часто не придавая значения колористическим нюансам. Подчеркивается важность междисциплинарного подхода в реставрации.

Ключевые слова: театры, реставрация, колористика, живопись, интерьер, приспособление объектов культурного наследия.

Историческое здание Государственного Малого Академического театра России на Театральной площади в Москве – уникальный объект культурного наследия (памятник истории и культуры), восходящий к эпохе классицизма и играющий важную роль в историческом контексте и архитектурном ансамбле Москвы.

Так называемая «первоначальная объемная композиция», на самом деле сложилась в три этапа (с 1821 по 1871 год) и в создании этого памятника участвовало несколько равноправных авторов.

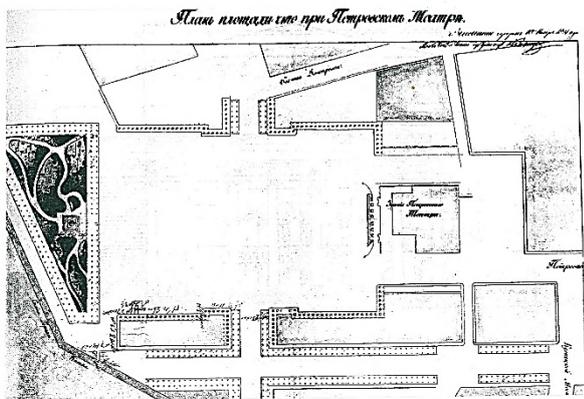


Рис. 1. План площади при Петровском театре, высочайше одобренный 10 ноября 1821 года, арх. И.О. Бове

Так, два главных фасада здания, по Театральной площади и по Театральному проезду,

восходят к проектам знаменитого О.И. Бове. Позднее, в 1838–39 годах, «Первый Малый театр» (Театр Варгина), за исключением фасадов был «поглощен» объемом Нового Каменного Малого театра: К.А. Тон кардинально перестроил «Театр Варгина», сохранив фасады Бове, добавил «Новый флигель» по Неглинному проезду и вписал зрительный зал и сцену Нового театра во внутреннее пространство «покоя», образованное тремя объемами. Однако, окончательное сложение Малого театра с хрестоматийной симметричной композицией главного фасада по Театральной площади, произошло к 1871 году, после пристройки к Малому театру «Декорационного сарая» по проекту архитектора императорских театров А. Никитина.

Последняя масштабная реконструкция театрального здания была проведена в период с 1939 г. по 1948 г. под руководством инженера А.Н. Попова и архитектора-художника А.П. Великанова, в ходе которой была перестроена сцена, изменены конструкции и интерьеры зрительного зала, внесены изменения в планировку и декоративную отделку фасадов здания, а также, отделку парадных залов и артистической части. Работы по усилению свай основания были выполнены под руководством инженера И.И. Флоринского.



Рис. 3. Вид Театральной площади. Фото конца 40-х гг XX века из архива ГАМТ

Тем не менее, процесс неравномерной осадки здания продолжался, и в конце 80-х гг. XX в. была предпринята еще одна попытка стабилизировать здание (фирма «Бауэр» работы по усилению фундаментов).

Последние годы отмечены серией постоянно идущих ремонтов, направленных на поддержание технического состояния театрального здания.

Таким образом, реконструкция начала XXI века, должна была решить накопившиеся проблемы Малого театра. При этом, осознавая жизненную необходимость именно реконструктивных работ, важно было соблюсти баланс и «остаться в рамках» научной реставрации для тех элементов здания, которые были определены в предмете охраны, как особо ценные. Руководствуясь именно этими соображениями все интерьеры зрительской части, директорской зоны и некоторые артистические помещения вошли в состав «красной (реставрационной) зоны». Фасады также вошли в этот список.

Итак, широкомасштабные работы были завершены к концу 2016 года и включали весь спектр реконструктивных (усиление и стабилизация конструкций, освоение подвального и чердачного пространств), реставрационных (реставрация и воссоздание утраченных элементов исторического интерьера и фасадов, предметов обстановочного комплекса) мероприятий. Принципиально переработана и внедрена новая концепция работы всех инженерных систем.

Необходимость таких работ обусловлена серьезным массивом проблем, которые накапливались десятилетиями и явились результатом сложной строительной истории театра.

Одно из самых полных натурных исследований в интерьерах Государственного Академического Малого театра России проведено в 2006 году специалистами ФГУП «Институт по реставрации памятников истории и культуры «СПЕЦПРОЕКТРЕСТАВРАЦИЯ». К сожалению, не все помещения удалось обследовать, поскольку

объем работ был ограничен условиями текущего реставрационного ремонта. Сами авторы признавали тот факт, что исследование не было исчерпывающим и надеялись на возможность продолжения. Либо, как отдельной научно-исследовательской работы, либо как работы, проводимой в рамках авторского надзора и научно-методического руководства и сопровождающей проведение ремонтно-реставрационных работ. Авторы особенно отмечали тот факт, что живописный плафон, живопись верхнего откоса проема сцены, главные ложи с кулуарами, потолки бельэтажа, фойе, главные лестничные входы и Щепкинское фойе остались необследованными. Тем не менее, на основании исследований по основным помещениям, можно сделать достаточно верные выводы об их первоначальном виде и дальнейшем колористическом развитии. Эти исследования и послужили основой для соответствующего раздела проекта, в котором разработаны принципы воссоздания художественно-исторического образа интерьеров «красной зоны» ГАМТ.

В процессе производства реставрационных работ, в рамках авторского надзора и научно-методического руководства, появилась возможность дополнительных исследований, что в свою очередь позволило воссоздать единый художественный ансамбль интерьеров театра, относящихся, к так называемой «красной зоне».

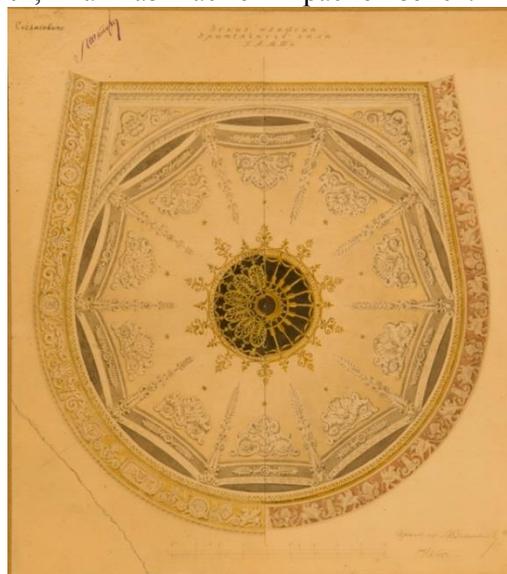


Рис. 3. Чертеж живописного плафона зрительного зала. Арх. А.П. Великанов. Архив ГАМТ

Художественная роспись плафона и падуг зрительного зала является интерьерной доминантой и несомненным памятником декоративно-прикладного искусства середины XX века. Специалистами ФГУП «СПЕЦПРОЕКТРЕСТАВРАЦИЯ» при визуальном обследовании уже в 2006 году отмечалась жизненная необходимость серьезного обследования и тщательной реставрации

и консервации не только живописи и холста, но самого деревянного основания – «деки».

В процессе производства реставрационных работ в интерьерах зрительного зала представлялась уникальная возможность обследования деревянной деки и живописного убранства непосредственно с лесов.

Живопись плафона потолка зрительного зала выполнена по холсту, который, в свою очередь наклеен на плоское деревянное перекрытие (акустическую деку). Живописное убранство потолка представляет собой треугольники с театральными масками над сценой, остальное же пространство потолка визуально разбито на 8 секторов, стремящихся к центру, в которых строго диагонально расположена растительно-орнаментальная декоративная живописная композиция, выполненная в технике «грисайль». Живопись выполнена в тепло-бежевой гамме масляными красками.

Центральная арка над сценой обрамлена декоративной живописью в технике «грисайль», и представляет собой имитацию лепного декора. Живопись выполнена по холсту, наклеенному на штукатурную основу. По периметру потолка проходит падуга, украшенная фризом с изображением грифонов, которая так же выполнена в технике «грисайль» на красно-бордовом фоне.

Декоративная падуга отделена от потолка и стен профилированными деревянными элементами. Нижний карниз написан в той же технике. Сама живопись выполнена по криволинейным поверхностям.

Кроме визуального обследования проведены микологические и химико-технологические исследования подосновы, холста, грунтов, красочных слоев и лаков. Выявлен значительный уровень микологического повреждения материалов отделки интерьеров зрительного зала. Выяснилось, что декоративный вид живописи плафона находится в неудовлетворительном состоянии, в разной степени интенсивности утрачены прочностные характеристики живописи. Необходимо особенно отметить, что состояние живописи плафона было плохим не только с точки зрения утраты внешнего экспозиционного или демонстрационного вида, подлинности или не подлинности, но и с точки зрения физического состояния холста и деревянной основы под холстом: длинные и широкие вспучивания, смятость, наслоение, разрывы живописи и др. Все эти проблемы возникли из-за неудовлетворительного состояния деревянной основы и многочисленных поновлений красочных слоев друг на друга.

Существенные физические повреждения холста живописного плафона в сочетании с необ-

ходимостью реставрационных работ по деревянному основанию (акустической деки) подтолкнули к принятию трудного решения: проводить реставрацию живописи не «на месте» а в условиях мастерской. Это решение относилось только к живописному плафону. Живописное убранство портала сцены, падуга реставрировались непосредственно с лесов, для чего в зрительном зале созданы особые условия ТВР.



Рис. 4. Состояние холста и основания. Микологические повреждения. Работы по биоцидной обработке штукатурного основания. Фото 2015 года

После проведенных противоаварийных и консервационных работ по живописному плафону, которые проводились «на месте», холст был разрезан на 10 фрагментов, намотан на специально изготовленные валы и перевезен в реставрационные мастерские.

Параллельно с работами по реставрации живописного убранства шли работы по воссозданию утраченного колористического решения зрительного зала.

Проведенное частичное натурное обследование доступных на тот момент интерьеров (ФГУП «Спецпроектреставрация», 2006 год), блестяще выполненное художником-реставратором Чепурным А.С., дополнено обследованиями, проведенными, в том числе и автором данной статьи, в рамках авторского надзора и научно-методического руководства. Выяснилось, что в процессе производства ремонтных работ общая колористическая стилистика помещений медленно, но верно изменилась в сторону упрощения. Это, вероятно, обусловлено тем, что ремонтными работами, в основном занимались хозяйственные службы, часто не придавая значения колористическим нюансам.

Для решения данной задачи, вся накопленная к этому времени информация по колористике интерьеров Малого театра проанализирована и на основе полученных материалов выполнены контрольные выкраски. Кроме того, один цвет предлагался к согласованию в количестве четырех-пяти оттенков. Выбранные оттенки посто-

янно сопоставлялись с расчищенным и отреставрированным живописным убранством зрительного зала, поскольку только таким способом, можно добиться целостного ансамбля. Кроме того, учитывался также и цвет тканевой «одежды зала», интенсивность и оттенок электрического освещения, позолота, цвет паркета и мебели. Материал для финального согласования представлял собой полностью открашенный фрагмент всех элементов интерьера того или иного помещения. И даже на этой стадии, некоторые цветовые нюансы были откорректированы. В частности, все внутренние двери лож выкрашены в цвет стен, для исключения цветовых рефлексов. Архивные фотографии подтвердили правильность данного подхода.



Рис. 5. Работы по реставрации живописи.
Фото 2015 года

Благодаря уникальной возможности изучения высококлассного исследовательского материала коллег, сопоставления этого материала с

новыми исследованиями, проведенными в рамках авторского надзора и научно-методического руководства, удалось воссоздать единый художественный ансамбль зрительного зала Государственного Академического Малого театра России.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Покровская З.К. Осип Бове. М.: Стройиздат, 1999. С. 132–136.
2. Крашенинников А.Ф. Зодчие Москвы времени барокко и классицизма. М.: Прогресс-Традиция, 2004. 41 с.
3. Виноградов В.А. (под общ.ред.) Москва 850 лет. Юбилейное издание правительства Москвы. 1 том. М.: АО Московские учебники. С. 279–280.
4. Иконников А.В. Каменная летопись Москвы. М.: Моск. рабочий, 1978. С. 121–122.
5. Проектная документация. т. 2, кн. 6, ч. 5 «Натурные исследования покрасок в интерьерах зрительного зала и кулуаров», шифр 1383 М., ФГУП «Спецпроектреставрация», 2006.
6. Ильвицкая С.В., Даниленко И.А., Охлябинин С.Д. Глоссарий архитектурно-строительных терминов и научных дефиниций в области истории архитектуры и реставрации памятников архитектуры. Москва. ГУЗ, 2015. 156 с.

Информация об авторах

Ильвицкая Светлана Валерьевна, доктор архитектуры, профессор, зав. кафедрой архитектуры. Государственный университет по землеустройству. E-mail: Ilvitskaya@mail.ru. Государственный университет по землеустройству. Россия, 105064, Москва, ул. Казакова, 15.

Конева Екатерина Юрьевна, аспирант кафедры архитектуры. E-mail: horsecat@mail.ru. Государственный университет по землеустройству. Россия, 105064, Москва, ул. Казакова, 15.

Петрова Лариса Владимировна, кандидат архитектуры, профессор кафедры архитектуры. E-mail: ms.petrovalora@yandex.ru. Государственный университет по землеустройству. Россия, 105064, Москва, ул. Казакова, 15.

Поступила в марте 2019 г.

© Ильвицкая С.В., Конева Е.Ю., Петрова Л.В., 2019

^{1,*}Ilvitskaya S.V., ¹Koneva E.Y., ¹Petrova L.V.

¹State University of land management
Russia, 105064, Moscow, st. Kazakova, 15
*E-mail: Ilvitskaya@mail.ru

RECREATING ART-HISTORICAL IMAGE OF THE «RED ZONE» INTERIOR IN THE MALY THEATRE

Abstract. The article deals with a unique monument of history and culture, dating back to the era of classicism and playing an important role in the historical context and architectural ensemble of Moscow. The

restoration processes of facades and interiors in 2013–2016 of the Academic Maly Theater of Russia, which is an object of cultural heritage of federal significance, are studied. The history of construction, the problems of uneven precipitation of the building and its stabilization are considered. In the process of restoration work, within the framework of supervision, scientific and methodological guidance, there is an opportunity for additional research, which in turn allows recreating a single artistic ensemble of the theater's interiors belonging to the so-called "red zone". The issues of recreating the author's coloristic solution of the auditorium, the painting of the ceiling and the auditorium border are reviewed in detail. They are the dominant of interior with unique features and undoubted monument of decorative and applied art of the middle of the XX century. In the process of repair works, the overall coloristic style of the premises has changed to simplification. Apparently, this is due to the fact that repair works were carried out by economic services, often without attaching importance to the coloristic nuances. The significance of interdisciplinary approach in restoration is emphasized.

Keywords: theatres, restoration, color, painting, interior, adaptation of cultural heritage.

REFERENCES

1. Pokrovskaya Z.K. Osip Beauvais [Osip Bove]. M.: Stroiizdat, 1999. Pp. 132–136 p. (rus)
2. Krashenninikov A.F. Architects of Moscow in the time of baroque and classicism [Zodchie Moskvyy vremeni barokko i klassitsizma]. M.: Pro-Congress-Tradition, 2004. 41 p. (rus)
3. Vinogradov V.A. (under ed.) Moscow is 850 years old [Moskva 850 let.]. Anniversary edition of the government of Moscow. 1 volume. M.: AO Moscow textbooks. Pp. 279–280. (rus)
4. Ikonnikov A.V. Stone chronicle of Moscow [Kamennaya letopis' Moskvyy]. M.: Mosk. Worker, 1978. Pp. 121–122. (rus)
5. Project documentation. 2, book. 6, part 5 "Field studies of painting in the interior of the auditorium and lobby" [«Naturnye issledovaniya pokrasok v inter'erah zritel'nogo zala i kuliarov»]. Code 1383. M.: Federal State Unitary Enterprise "Special Project Restoration". 2006. (rus)
6. Ilvitskaya S.V., Danilenko I.A., Okhlyabinin S.D. Glossary of architectural and construction terms and scientific definitions in the field of history of architecture and restoration of architectural monuments [Glossarij arhitekturno-stroitel'nyh terminov i nauchnyh definicij v oblasti istorii arhitektury i restavracii pamyatnikov arhitektury]. Moscow, GUZ. 2015. 156 p. (rus)

Information about the authors

Ilvitskaya, Svetlana V. DSc, Professor. E-mail: Ilvitskaya@mail.ru. State University of Land Management. Russia, 105064, Moscow, Kazakova, 15.

Koneva, Ekaterina Y. Postgraduate student. E-mail: Tanya.ten.z@mail.ru. State University of Land Management. Russia, 105064, Moscow, Kazakova, 15.

Petrova, Larisa V. PhD, Professor. E-mail: ms.petrovalora@yandex.ru. State University of Land Management. Russia, 105064, Moscow, Kazakova, 15.

Received in March 2019

Для цитирования:

Ильвицкая С.В., Конева Е.Ю., Петрова Л.В. Воссоздание художественно-исторического образа интерьеров «красной зоны» малого театра // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 6. С. 58–62. DOI: 10.34031/article_5d0a44333927d2.57888299

For citation:

Ilvitskaya S.V., Koneva E.Y., Petrova L.V. Recreating art-historical image of the «red zone» interior in the maly theatre. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 6. Pp. 58–62. DOI: 10.34031/article_5d0a44333927d2.57888299

DOI: 10.34031/article_5cff7606d6e6b2.04768648

¹Хомякова Ю.Р., ^{1,*}Вовженяк П.Ю.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

*E-mail: polina.vov@mail.ru

ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СВЕТОДИЗАЙНЕ

Аннотация. Свет – это художественный инструмент, который позволяет создавать уникальную коллекцию разнообразных образов одного и того же здания. Цель исследования. Выявить возможности светодизайна в настоящем, исходя из представленных в продаже осветительных приборов. Определить, всегда ли источники света используются рационально, как можно избежать их безграмотной эксплуатации. Методы исследования. По средствам анализа световой среды городов России выявлена проблема множественных световых загрязнений. Основными причинами этого можно назвать невежество современных специалистов в сфере светодизайна, а также отсутствие регулирования данной отрасли со стороны государства. Результаты исследования. Выявлены технические возможности светодизайна в современной архитектуре, типы подсветки, которую позволяют создать имеющиеся на рынке осветительные приборы, предложены пути устранения такого явления, как световое загрязнение. Потенциал такой сферы, как светодизайн, скудно раскрыт на улицах современных городов. Воспитав новую школу мастеров, искусно владеющих цветом, города по всему миру преобразятся, заиграют новыми красками, преобразятся в вечернее время суток на радость зрителю, ведь техника, которую мы имеем, уже может позволить нам такое великолепие.

Ключевые слова: светодиодный, светодизайн, освещение, подсветка, использование.

Введение. Вспомнив о первоначальном назначении искусственного освещения, можно заметить, что сфера его применения заметно расширилась к 21 веку. Если изначально неприродный свет помогал людям осуществлять жизнедеятельность в темное время суток, то сейчас он используется и в ином направлении. С его помощью можно создать специфичный, отличный от дневного зрительный образ архитектурной формы.

С развитием такой сферы как светодизайн, создание правильного образа ночного города становится одной из важнейших задач для архитекторов и дизайнеров по всему миру. Ведь в процессе разработки освещения того или иного объекта необходимо учитывать как целостность эстетического образа, так и функциональность освещения, способность света влиять на работоспособность, комфорт и зрительное восприятие [1].

Бесспорно, данное переосмысление функционального аспекта света связано с научно-техническим развитием отрасли производства светового оборудования. Целью данного исследования становится изучить типологию приборов, применяемых в данной отрасли. Современный рынок настолько велик, что создает безграничные возможности для создания уникальной световой среды. Но, к сожалению, в условиях нынешних городов мы наблюдаем нерациональное использование световых ресурсов: загрязнение световой среды, неграмотное формирование светового

пространства, «черные дыры» в общем образе города, не освещенность жилых массивов и многое другое.

Это связано с неразвитостью такого явления как световая культура. Должна формироваться ее методологическая база с понятийным аппаратом, должны составляться основные принципы развития, наборы профессиональных критериев оценки. Световая культура пока стихийно формируется в фоне архитектуры в наступивший «век света». Для ее упорядочивания ведется огромная работа как за рубежом, так и в России. По всей стране в архитектурных институтах открываются кафедры светодизайна, с намерением воспитать у студентов чувство света, подобно чувству цвета и пропорций.

А для тех, кто не имеет возможности получить представление о свете в рамках высшего образования, открываются школы светодизайна, проходят обучающие форумы, в интернете доступны исследования отечественных и иностранных архитекторов по данной проблеме. Также проходит множество конкурсов. Один из них – «Российский светодизайн», ставший неотъемлемой частью ежегодной выставки «Moscow Interlight powered by light+building». Он организован для поощрения людей и компаний, которые ставят целью своей деятельности сделать освещение не только эффективным и современным, но и эстетичным, комфортным и украшающим нашу жизнь. Данный конкурс помогает выявлять талантливых светодизайнеров и повышает статус

российского дизайна освещения. Конкурс «Российский светодизайн» был впервые организован в 2001 году.

Российская и зарубежная практика использования основных типов ночного освещения. Сложно представить современный город без какого-либо ночного освещения. Привычные фонари вдоль автомобильных дорог и тротуаров дополняются подсветкой фасадов зданий. Это не только помогает удобству передвижения и ориентации в ночное время суток, но постепенно становится искусством. Эта сфера не так нова, как может показаться. Термин «Lichtarchitectuur» впервые был употреблен в 1906 г. писателем-утопистом П. Ширбартом, а расшифрованный в 1926 г. немецким светотехником И. Тейхмюллером. Еще с начала прошлого века люди начали задумываться о том, что свет – не просто «факел» для человека, но и элемент архитектуры, овладев которым можно создавать необычайные художественные образы в ночное время суток, придавая второе дыхание городу, который мы видим днем [2].

Картины, которые светодизайнеры создают на улицах современных городов, просто поражают. Использование необычных осветительных приборов, многоуровневой подсветки, лазерного шоу и многих других приемов позволяют добиться потрясающего эффекта. Несомненно, подобное управление световыми волнами стало возможно благодаря технологическому прогрессу. Рынок световых приборов сейчас настолько велик, что, заглянув в первый попавшийся интернет-магазин, вы сможете просмотреть более 10 000 позиций.

Если говорить о типах освещения, создаваемых с помощью доступной техники, для подсветки экстерьера используют четыре основных приема освещения фасадов зданий.

1. Локальное (акцентное). Этот принцип гласит, что главное – детали. Светом обычно выделяют лепнину, фриз, оконные проемы, карнизы, балконы, арки, своды, колонны. Необходимо подчеркнуть самые выразительные элементы здания, не утратив его целостности. Для данного принципа характерно использование мягкого света. Эту идею можно реализовать с помощью линейных светодиодных светильников средней и малой мощности с узким лучом, которые являются альтернативой громоздким линейным люминесцентным лампам. А для освещения вытянутых объектов следует использовать светодиодные прожекторы с узким лучом.

2. Контурное. Выделяет и подчеркивает контур объекта. Выявляет архитектурную форму сооружения. Подсвечивать можно не

только габариты, но и обрисовать различные элементы фасада, если таковые имеются, чтобы под-



Рис. 1. Пример локального освещения. Львовский театр оперы и балета

черкнуть всё-таки особенности здания. В то же время, контурная подсветка позволяет скрыть невыгодные элементы.

Часто можно встретить здания, особенно современные, которые имеют мало выразительных элементов, они в основном плоские, имеют много окон. Поэтому создание простого контура является наиболее выигрышным вариантом. Данный молодой прием освещения находит все большее применение в последнее время [3].



Рис. 2. Пример контурного освещения. Мост в Дубае

Как правило, для данного типа освещения применяют современные эффективные источники света: светодиодные ленты (гибкие длинные ленты, на которых вмонтированы светодиоды), дюралайт (светодиодная гирлянда), гибкий неон (имеет преимущества перед неоновыми лампами за счет гибкости и прочности), люминесцентные лампы.

3. Заливающее. Для освещения значительных культурно-исторических памятников, архитектурных ансамблей, отдельно стоящих общественных зданий и сооружений, рекомендуется общее заливающее освещение — оно подчеркнет величественность объекта и целостность

композиции. Этот прием позволяет выделить здания и комплексы на общем фоне благодаря яркости и контрастности фасадной подсветки [1].

Как правило, для этого на некотором расстоянии от объекта устанавливаются мощные широкоугольные светильники прожекторного типа (галогенные, металлогалогенные, светодиодные), свет которых равномерно распределяется по всему зданию. Использование светодиодных RGB прожекторов позволяет сделать этот прием еще более действенным за счет применения цветной подсветки или эффекта перетекания одного цвета в другой. Чтобы такая подсветка не ослепляла, используют осветительные приборы с рефлектором или плафоном. Заливающую подсветку не стоит применять для домов с явными дефектами, так как недостатки будут бросаться в глаза.

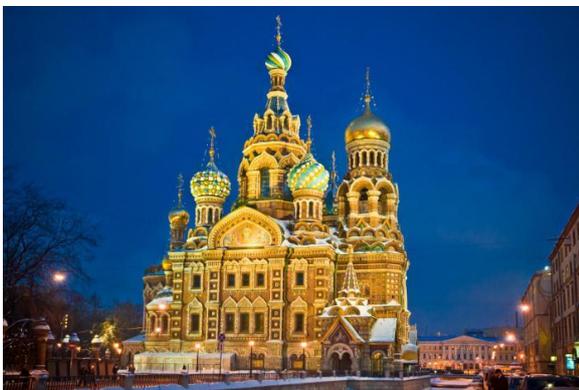


Рис. 3. Пример динамического освещения.
Филадельфия

4. Динамическое. Включает применение программируемых RGB светильников. Это популярный метод, обладающий массой преимуществ. Работу архитектурной подсветки фасадов программируют относительно времени года, погодных условий, присутствия человека или даже в такт музыке [13].

Можно заметить, что самым употребляемым средством освещения выявлены светодиодные светильники. Так давайте разберем, чем же они заслужили такую популярность. Светодиодные светильники имеют ряд преимуществ:

- Они потребляют в несколько раз меньше электроэнергии по сравнению с приборами, в которых используются обычные лампы, поэтому являются экономичными.
- Светодиодные светильники имеют гораздо более высокий ресурс, чем лампы накаливания (светодиод стандартного типа в среднем работает 100 000 часов). Большое значение имеет и стойкость светодиодов к механическим воздействиям.
- Использование светодиодных приборов позволяет избежать эффекта ослепления.

- Устройства на основе светодиодов характеризуются полным отсутствием мерцания, чего нельзя сказать, например, о лампах дневного света.

- Светодиодные светильники абсолютно безопасны в связи с отсутствием риска поражения электротоком, а также потому, что излучение от этих устройств не представляет угрозы для здоровья человека.

- Светодиоды могут эксплуатироваться в широком диапазоне температур окружающего воздуха (от -60 до +40 °C).

- RGB светильники. Это светодиоды красных, зеленых и синих цветов, при смешении которых можно получить множество оттенков. Т.е. светодиоды могут обеспечить цветное изображение на фасаде.

- Светодиоды могут управляться электроникой, с помощью компьютера можно задавать различные цветовые и временные программы работы как отдельных светильников, так и систем освещения, создавая всевозможные динамические и световые эффекты.



Рис. 4. Пример заливающего освещения.
Спас-на-крови в Санкт-Петербурге

Анализ стратегий развития технических возможностей светодизайна. В связи с огромным количеством плюсов светодиодных источников освещения данная сфера продолжает стремительно развиваться. Одна из последних разработок – ультратонкая светодиодная лампа SLIMSTYLE. Уменьшение микросхем драйверов, то есть устройств питания светодиодов, позволяет создавать крошечные светильники. Что расширяет поле деятельности для дизайнеров и позволяет экономить производителям. На мой взгляд, данная инновация найдет широчайшее применение в светодизайне интерьеров. Говоря об интерьерах, стоит отметить, что в этой отрасли в моду вошли лампы Эдисона всех форм и размеров [1].

Возвращаясь к освещению экстерьера, хочется упомянуть такую новинку, как светодиодная тротуарная плитка. Данное оборудование удобно в использовании: по размерам светодиодная плитка соответствует обычной, также по спец заказу возможно изготовление плитки различных форм и размеров. Светодиодная тротуарная плитка имеет полное разнообразие цветовой палитры: теплый, нейтральный, холодный оттенки белого, красный, синий, зеленый, желтый цвета, а также RGB. Эта новинка позволяет преобразовать пешеходную зону в абсолютно уникальное пространство, при этом она не утрачивает свою функциональность и помогает ориентироваться людям в ночное время суток [4]. Помимо этого, существуют грунтовые и подводные светильники LED. Грунтовые широко применяются в освещении тротуаров, тоннелей, парков, садов. Они могут использоваться в качестве декоративной подсветки, а также служить самостоятельными источниками освещения. Они встраиваются в бетон, асфальт, тротуарную плитку и брусчатку. Подводные же светильники используются для подсветки фонтанов, искусственных прудов и водопадов, бассейнов, ледовых фигур, аквариумов. Они могут располагаться не только под водой, но и на ее поверхности, на берегу и даже в мягком грунте.

Также последним словом техники можно объективно считать «умное» освещение. А точнее- светодиодные светильники, оснащенные разнообразными датчиками (движения, освещенности, но влажности воздуха и др). Подобные приборы сочетаются с разнообразными информационными системами (смартфоны, компьютеры и др.), образуя «умную» сеть [11]. Данное изобретение нашло свое применение в индивидуальных домах, помогая хозяевам, активно использующим гаджеты, контролировать свой дом на удалении, управлять всей адаптированной под

это техникой на расстоянии. Также производители поработали над «интеллектом» данных светильников. Благодаря специальным датчикам они смогут отслеживать движения человека, согласую с ними интенсивность освещения, выключаться, когда человек выходит из помещения, регулировать яркость.

Но данное изобретение не осталось в залах «четырех стен» и шагнуло на улицы городов. «Умное» освещение на городских улицах позволит контролировать использование электроэнергии и экономить ее. Так, привычные уличные фонари можно использовать в качестве источника Wi-Fi, зарядки электромобиля или же системы видеонаблюдения. Например, в Сан-Диего (США) планируется введение в эксплуатацию фонарей, контролирующих трафик, заполненность парковки, погодные условия и качество воздуха в городе [10].

Довольно интересно, что помимо работы над практичностью уличных фонарей, дизайнеры по всему миру разрабатывают уникальные дизайны, превращая фонари в произведения искусства. Например, Питерский дизайнер разработал фонарь-дождь, фирма Levis использовала фонарь для рекламы, превратив его в банку, из которой выливается краска. Уникальные фонари Whatami были установлены возле музея MAXXI в Риме. Сам музей был спроектирован прославленным архитектором Захой Хадид, а «тюльпаны» - ее студентами. Довольно необычные фонари Treepod. Концепт, разработанный бостонским «мозговым центром» Shift Boston и французским дизайн-бюро Influx_Studio. Деревья, сделанные из переработанных пластиковых бутылок, подобно настоящим деревьям, поглощают углекислый газ и выделяют кислород. Кроме того, они светятся за счет солнечной энергии, которую собирают.



Рис. 5. Фонарь Treepod

Достаточно важно, что начнет активно осваиваться Li-Fi. На выставке LuxLive, которая проходила в ноябре 2017 года, демонстрировался ряд



Рис. 6. Фонари Whatami

Li-Fi-систем, состоящих из драйверов и светильников. Исходя из этого, можно предположить, что в 2018 году подключение к интернету через

освещение начнет обретать популярность. Как тут кажется, первыми пользователями Li-Fi-систем станут службы безопасности, военные и дипломаты — им прежде всего необходимы удобства Wi-Fi без его недостатков [8].

Одной из популярнейших новинок в сфере светодизайна являются масштабные световые инсталляции и 3D-мэппинг [7]. Проекторы, внедренные в стены зданий видеоскрены, позволяют светодизайнерам создавать на улицах городов целые представления, масштабные шоу, превращающие фасады зданий в световые аттракционы, и поражающие воображение зрителей. Как пример подобного использования световых технологий можно привести «Фестиваль света» в Санкт-Петербурге, который уже несколько лет подряд поражает своей яркостью и необычностью жителей и гостей северной столицы. В рамках данного мероприятия известные памятники города преображаются, становятся площадками как для световых спектаклей, так и для соревнований между командами художников-мэпперов из разных стран [5].

Как мы видим, с использованием новых технологий светодизайнеры получили безграничный простор для воплощения фантазии. Но, к сожалению, в данной сфере можно нередко столкнуться с неопытными и некомпетентными мастерами, что приводит к неграмотному созданию образа ночного города [6].



Рис. 7. Световая инсталляция, Исаакиевский собор, Санкт-Петербург



Рис. 8. Световая инсталляция, Смольный дворец, Санкт-Петербург



Рис. 9. Пример светового загрязнения. Свет от теплиц, Белгородская область

Так же показателем плохой работы светодизайнеров является яркое ночное небо. Это связано с отсутствием стратегии светового планирования города на законодательном уровне. Световое загрязнение может разрушить экосистему, особенно ночную дикую природу. Чрезмерное освещение способно путать мигрирующих животных, изменять отношения хищников-жертв или конкурентное взаимодействие между видами и даже наносить физиологический вред. Естественные суточные закономерности темноты и света диктуют жизнь в дикой природе, поэтому

их нарушение может влиять на экологическую динамику. Многие виды, включая людей, зависят от циркадного ритма и производства мелатонина, которые регулируются дневным и ночным циклами [9]. Таким образом, чрезмерное освещение во время сна может подавлять производство мелатонина у людей, что приводит к нарушению сна и многим другим проблемам со здоровьем, включая усталость, головные боли, нервно-психическое напряжение и повышенную тревожность.

Выводы. Как итог ко всему вышесказанному хочется отметить, что такая модная отрасль как светодизайн имеет огромный потенциал развития и массового распространения как в Европе, так и в России. «Живой» ночной город позволит расширить сферу туризма в популярных городах России, создать иной, самобытный, а главное – динамичный образ для множества архитектурных памятников России, сформировать целостные, необычные образы современных городов.

Чтобы не превратить благо во вред, избежать безграмотного использования световых ресурсов, стоит уделить особое внимание воспитанию высококвалифицированных кадров для данной отрасли [1]. Необходимо выпускать специалистов, которые будут иметь четкое представление о том, что такое свет и как его использовать. Также, на мой взгляд, важным толчком к развитию светодизайна в правильном направлении послужило бы законодательное регулирование формирования ночного образа города. Это позволило бы избежать световых загрязнений, которые отрицательно сказываются на фауне города и здоровье человека, а также стимулировало бы рациональное использование света.

Бесспорно, масштабное использование освещения различных типов позволит осуществить множество задач:

- Достижение художественно-декоративных эффектов
- Обеспечение стилевого единства среды города
- Формирование динамической подсветки, выделение наиболее эффектных и значимых деталей
- Повышение эстетических характеристик объекта, создание нового аспекта для его восприятия
- Усиление безопасности объекта, его окружения и транспортно-пешеходных коммуникаций

Эти признаки уже можно встретить на улицах современной России, поэтому можно сделать вывод, что светодизайн постепенно входит в жизнь отечественных городов, не стоит на месте,

стремительно развиваясь и охватывая все новые и новые аспекты применения.

Источник финансирования. Программа развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Щепетков Н.И. Световой дизайн города: учеб. пособие. М.: Архитектура-С, 2006. 144 с.
2. Хоровецкая Е.М. Светодекоративная организация архитектурной среды. Учебное пособие. Астана, 2009. С. 60.
3. Перькова М.В., Коврижкина О.В. Архитектурное конкурсное проектирование в учебном процессе: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. 126 с.
4. Мелодинский Д.Л. Школа архитектурно-дизайнерского формообразования. М.: Изд-во «Архитектура-С», 2004. 312 с.
5. Иоханнес Иттен. Искусство формы. М.: Издатель Д. Аронов, 2006. 135 с.
6. Степонов А.Ф. Объемно-пространственная композиция. М.: Стройиздат, 2006. 256 с.
7. Ефимов А.В. Полихромия объектов дизайна в цветовой среде города // Техническая эстетика. 1979. № 7. С. 19–23.
8. Дамский А.И. Электрический свет в архитектуре города. М.: Стройиздат, 1970. 224 с.
9. Вовженяк П.Ю. Фактор цвета в архитектурной среде города Белгорода // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2018. № 2 (22). С. 114–120.
10. Бондаренко И.А. Архитектура и жизнь в ходе истории: от мира к войне // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2015. №2 (10). С. 45–57.
11. Трибунцева К.М. Архитектурно-типологический анализ зданий и сооружений // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 8. С. 99–105.
12. Михайлов С.М. История дизайна. Том 1: Учеб. для вузов. М.: «Союз Дизайнеров России», 2004. 280 с.

Информация об авторах

Хомякова Юлия Романовна, студент кафедры архитектуры и градостроительства. E-mail: guli144@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Вовженяк Полина Юрьевна, магистрант, старший преподаватель кафедры архитектуры и градостроительства. E-mail: polina.vov@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в марте 2019 г.

© Хомякова Ю.Р., Вовженяк П.Ю., 2019

¹*Khomyakova Y.R.*, ^{2,*}*Vovzhenyak P.Y.*¹*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*
Russia, 308012, Belgorod, Kostyukov, 46
E-mail: polina.vov@mail.ru*OPPORTUNITIES OF MODERN TECHNOLOGIES IN LIGHTING DESIGN**

Abstract. *Light is an artistic tool that allows to create a unique collection of diverse images of a building. Purpose of the research: to identify opportunities of lighting design in the present, based on the commercially available lighting; to determine whether light sources are always used rationally, how to avoid ignorant operation. Research methods: the problem of multiple light pollution is identified by analyzing the light environment of Russian cities. The main reasons for this are the ignorance of modern specialists in the field of lighting design and the lack of regulation of the industry by the state. Research results: technical opportunities of lighting design in modern architecture are revealed; types of lighting to create commercially available lighting devices; ways to eliminate light pollution are proposed. The potential of lighting design is poorly disclosed in the streets of modern cities. Raising a new school of masters will allow cities around the world to be transformed, to please viewers in the evening, as the existing equipment can already provide such a magnificence.*

Keywords: *LED, lighting design, lighting, backlight, use.*

REFERENCES

1. Shepetkov N.I. Lighting design city: proc. Benefit [*Svetovoj dizajn goroda*]. Moscow: Architecture-C. 2006. 144 p. (rus)
2. Horovetskaya E. M. light decorative organization arhitekturnoe environment [*Svetodekorativnaya organizaciya arhitekturnoj sredy*]. Textbook Astana. 2009. 60 p. (rus)
3. Perkova M.V., Kovrizhkina O.V. Architectural competitive design in educational process: monograph [*Arhitekturnoe konkursnoe proektirovanie v uchebnom processe: monografiya*]. Belgorod: Publishing house of BSTU, 2014. 126 p. (rus)
4. Melodinskiy D.L. School of architecture and design shaping [*Shkola arhitekturno-dizajnerskogo formoobrazovaniya*]. Moscow: publishing House "Architecture-C". 2004. 312 p. (rus)
5. Johannes Itten. Art forms [*Iskusstvo formy*]. M.: IZDATEL D. Aronov. 2006. 135 p. (rus)
6. Stepanov A.F. Volumetric-spatial composition [*Ob'emno-prostranstvennaya kompoziciya*]. M.: Stroyizdat. 2006. 256 p. (rus)
7. Efimov A.V. Polychrome design objects in color city environment [*Polihromiya ob"ektov dizajna v cvetovoj srede goroda*]. Technical aesthetics. 1979. No. 7. Pp. 19–23. (rus)
8. Damskiy A.I. Electric light in the architecture of the city [*Elektricheskij svet v arhitekture goroda*]. Moscow: Stroyizdat. 1970. 224 p. (rus)
9. Vovzhenyak P.Y. Factor of color in the architectural environment of the city of Belgorod [*Faktor cveta v arhitekturnoj srede goroda Belgoroda*]. Biosphere compatibility: people, region, technology. 2018. No. 2 (22). P. 114–120. (rus)
10. Bondarenko I.A. Architecture and life in the course of history: from peace to war [*Arhitektura i zhizn' v hode istorii: ot mira k vojne*]. Biosphere compatibility: people, region, technology. 2015. No. 2 (10). Pp. 45–57. (rus)
11. Tribuntsev K.M. Architectural-typological analysis of buildings and constructions [*Arhitekturno-tipologicheskij analiz zdaniy i sooruzhenij*]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 8. Pp. 99–105.
12. Mikhailov S.M. History of design [*Istoriya dizajna*]. Volume 1: Studies for universities. M.: "Union Of Designers Of Russia". 2004. 280 p. (rus)

Information about the authors

Khomyakova, Julia R. Student. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Vovzhenyak, Polina Y. Master student, Senior lecturer. E-mail: polina.vov@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in March 2019

Для цитирования:

Хомякова Ю.Р., Вовженяк П.Ю. Возможности современных технологий в светодизайне // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 6. С. 63–69. DOI: 10.34031/article_5cff7606d6e6b2.04768648

For citation:

Khomyakova Y.R., Vovzhenyak P.Y. Possibilities of modern technologies in light design. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 6. Pp. 63–69. DOI: 10.34031/article_5cff7606d6e6b2.04768648

DOI: 10.34031/article_5d07a0f2693984.29257494

¹Дмитрийчук Н.М., ^{1,*}Денисова Ю.В.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

*E-mail: denisova.yv@bstu.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРОДСКИХ ПАРКОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

Аннотация. Проектирование современных ландшафтных объектов представляет большой интерес для архитекторов-дизайнеров. Сегодня большое внимание уделяется вопросам потенциального роста объемов озеленения территорий и парков. Актуальным направлением в настоящее время представляется изучение вопросов и методов проектирования парковых ансамблей, которые представляют собой неразрывную связь природы, архитектуры и человека. При планировании парковых территорий необходимо проводить анализ возможности перспективного развития ландшафтно-дизайнерского объекта в масштабе определенного района проектирования, при этом учет благоустройства, цветочного оформления, места и объекта проектирования влияет на максимальную загруженность парковой зоны. Статья посвящена исследованию этапов предпроектного анализа при проектировании городских парковых комплексов. Ландшафтно-дизайнерская проектная задача при разработке территории парковых комплексов учитывает метод постановки ряда проблем. Необходимо рассматривать вопросы предпроектного анализа парковой зоны, который учитывает неразрывную взаимосвязь функционального, экологического, коммуникационного, визуально-эстетического и художественного конфликтов. В статье рассмотрены детально основные этапы и методы проектирования городских парков, особое внимание представляет метод «проектирования по аналогам», плейсмейкинга и соучаствующего проектирования. Показано, что ландшафтная архитектура садово-парковых территорий является одним из наиболее актуальных вопросов освоения и проектирования доступной и визуально-комфортной парковой среды, поэтому правильная ее организация придает городской среде сформированность пространства, полностью отвечающего физиологическим нормам человека.

Ключевые слова: методы проектирования, общественное пространство, архитектурно-ландшафтная среда, средовой предпроектный анализ, парковый ансамбль, парк, плейсмейкинг, городская среда, парковый комплекс.

Введение. Проектирование ландшафтных объектов, активно развивающееся в процессе урбанизации современных городов, обогащается новыми подходами, а именно - методами средового дизайна: проблематизацией и тематизацией проектного задания. Это позволяет учитывать в процессе проектирования ряд требований, предъявляемых к городской среде, таких как функциональные, социальные и экологические. Созданный парковый ансамбль предполагает гармонично взаимосвязанные «природу, архитектуру и человека» (рис. 1.) [1].

Проектирование современных ландшафтных объектов представляет большой интерес для архитекторов-дизайнеров. Сегодня большое внимание уделяется вопросам потенциального роста объемов озеленения территорий и парков. Актуальным направлением в настоящее время представляется изучение вопросов и методов проектирования парковых ансамблей, которые представляют собой неразрывную связь природы, архитектуры и человека. При планировании их территории необходимо провести анализ возможность развития ландшафтного объекта в масштабе определенного района, выяснив, при

каких условиях он может стать для жителей излюбленным местом посещения. Сейчас активно изучается понятие общественного пространства, которое хаотичную уличную толпу объединяет в конкретные сообщества людей. Публично взаимодействуя, они определяют социальную жизнь, характерную для окружающего ландшафта, что, в конечном итоге, и создаёт климат общественного пространства.

В семидесятые годы прошлого столетия ландшафтные архитекторы ввели новый термин «плейсмейкинг», который обозначил процесс превращения парков, площадей, набережных в места, привлекательные и интересные для жителей города. «Хартия общественного пространства», принятая в 2014 году ООН-Хабитат (Программой ООН по населенным пунктам), утверждает, что «общественные места — это ключевой элемент благосостояния индивида и общества, места коллективной жизни сообщества, выражение разнообразия совместного природного и культурного богатства и основ идентичности». Именно на это определение общественных мест опирается концепция «плейсмейкинга» [2].



Рис. 1. Примеры парковых ансамблей

Сегодня большой потенциал для социализации предоставляют зеленые территории и парки. При планировании их благоустройства необходимо избежать стандартных подходов и глубоко проанализировать возможность развития ландшафтного объекта в масштабе данного района, выяснив, при каких условиях он может стать для жителей излюбленным местом посещения. Надо признать, что реальное количество территорий, отданных под зеленые насаждения, достаточно велико, но по критериям ландшафтной архитектуры ценность и качество создаваемого ими общественного пространства в большинстве случаев невысоки: отсутствует сформированность объемно-пространственной структуры, нет единой продуманной композиции, разнообразия видов и сочетаний различных типов садово-парковых насаждений. Именно насаждения определяют функции ландшафтного объекта и его посе-

щаемость (рис. 2.) [3]. Это так называемый контекст, который создает неповторимость каждого ландшафтного объекта, развивающегося собственным индивидуальным образом, иногда вопреки нормативам среднегородской статистики. Если уровень благоустройства достаточен, такие территории превращаются в успешные общественные пространства. Участие большого количества людей в общественных действиях или событиях является важнейшим качеством общественного места [4], это можно рассматривать как главное условие преобразования объектов ландшафтной архитектуры общего пользования в общественные пространства города. Без сомнения, проектировщик или ландшафтный архитектор должны будут учесть большое количество факторов, чтобы создать все необходимые условия для превращения крупных по площади городских зеленых территорий в общественные пространства.



Рис. 2. Примеры ландшафтного дизайна парков

Термин «среда» является ключевым понятием методов проектирования. Целью современного проектирования является среда обитания в

целом, когда оказываются гармонично увязанными физические, функциональные, социальные и эмоционально-художественные параметры [4].

Рассмотрим парковую среду как подсистему архитектурно-ландшафтной среды. Во-первых,

перед нами - парковый ансамбль, спроектированный согласно закону художественного единства и, во-вторых, это зона, предназначенная для осуществления социальной жизнедеятельности в пределах ландшафтного парка. В парке должны быть предусмотрены возможности для занятий физкультурой, для развлечения детей, для пешего отдыха, то есть для разнообразной деятельности на рекреационных площадках.

При средовом проектировании нет задачи непременно сделать среду парка произведением паркового искусства. Но парк неповторимостью своего внешнего вида должен будить в посетителях удовлетворение красотой, вызывать у них положительные эмоции [5].

Средовое проектирование учитывает две основные категории: практическая функциональность и эстетическая ценность, что реализуется через создание объемно-пространственной структуры парка и его детальную проработку – это и площадки для спорта и отдыха, и пешеходные дорожки, и функциональные сооружения, и красивые насаждения [6].

Джейн Джейкобс - американская журналистка, автор книги «Смерть и жизнь больших американских городов» (книга написана в 1961 г.) внесла огромный вклад в переосмысление городского пространства. Исследование социальных, психологических и физических особенностей человека, его комфортного пребывания и

осуществления им любой рекреационной деятельности является приоритетной особенностью средового ландшафтного проектирования. То есть правильно спроектированный парковый ансамбль с необходимостью учитывает:

- особенности отдыха в парке людей различных возрастных групп (от малышей до пожилых людей),
- разнообразные интересы социальных сообществ таких, как семья, или детская, молодежная группы, или иного рода коллективы,
- особенности устройства рекреационных пространств, необходимых этим группам,
- временные рамки (суточные и годового круга), когда будут задействованы эти рекреационные пространства [7].

При средовом проектировании парка оказывается необходимым спроектировать не только функциональные процессы, но и временные особенности пребывания отдыхающих в парке.

Рассмотрим средовой предпроектный анализ (рис. 3.), так как его методика оценивает парк не только с точки зрения природного комплекса и архитектурно-ландшафтного ансамбля, но и с позиций средового объекта. Общеизвестно, что случаи, когда парковая среда сложилась в художественном плане целно и одновременно, крайне редки. Чаще всего, парковая среда складывается многие годы без четкого единого плана, в её развитии присутствуют противоречивые тенденции, разнонаправленные процессы [8].



Рис. 3. Постановка проблем на этапе предпроектного анализа.
Проект реконструкции парка возле ДК «Родина» г. Зеленодольск. 2018 г.
Авторы: «Проектная группа 8»

Один из этапов предпроектного анализа заключается в постановке проблемного задания. Дизайнерская проектная задача выступает как проблема (рис. 3), когда реальная нагрузка объекта вступает в противоречие эксплуатационными характеристиками его структур [9]. Исходя из этого при проектировании прежде всего необходимо выявить существующие группы конфликтов и противоречий (например, социальных, коммуникационных, функциональных, эстетических), чтобы затем учесть и разрешить их в процессе работы над проектом.

Всё чаще в России на этапе предпроектного анализа стала применяться методика соучаствующего проектирования, при котором исследуются истинные потребности и проблемы конечного пользователя городских территорий (рис.4). В дальнейшем при проектировании общественных пространств по многим параметрам учитывается мнение граждан. Если правильным обра-

зом суметь выстроить коммуникации между жителями, представителями власти и архитекторами, то такой метод проектирования должен привести к эффективному использованию территорий и ресурсов, а также совместное принятие проектных решений помочь разрешить конфликты [10].

Предпроектный анализ парковой среды может обнаружить несколько типов конфликтов. Прежде всего, конфликт социальный, который потребует от проектировщика разработать в парке разнообразные средовые рекреации, учитывающие интересы определённых возрастных и социальных групп посетителей [11]. Рассмотрение функционального конфликта призвано устранить столкновение потребностей разных групп населения при посещении парка: активные развлечения молодёжных групп или велосипедисты не должны мешать уединенным прогулкам пожилых людей и мам с колясками и т.д.

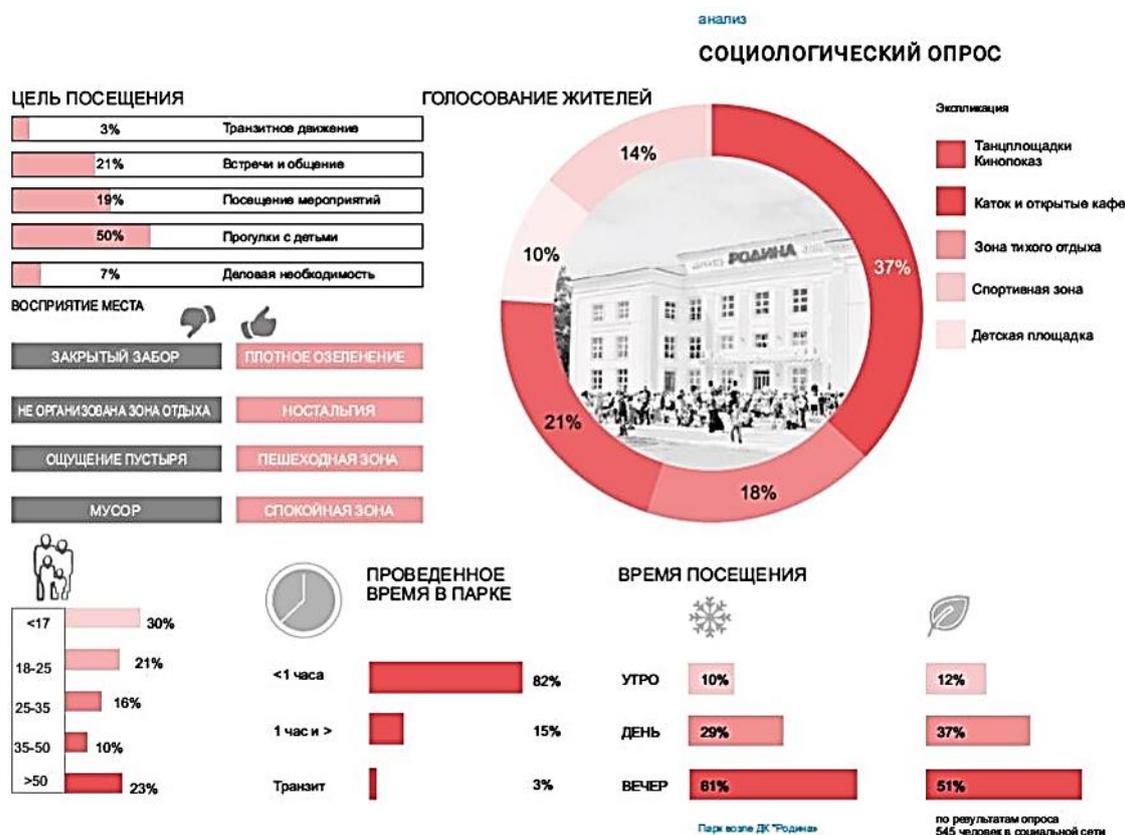


Рис. 4. Пример соучаствующего проектирования на этапе предпроектного анализа, проведенного для реконструкции парка возле ДК «Родина» в г. Зеленодольск. 2018 г. Авторы: «Проектная группа 8»

Выявление экологического конфликта предполагает анализ возможного токсичного воздействия на среду парка расположенных недалеко городских автомагистралей, а также анализ вероятной деградации природного ландшафта парковой среды, обусловленной увеличением рекреа-

ционных нагрузок на территорию, или естественными изменениями ландшафта (подмывание береговой линии, образование оврагов и пр.) [12].

Конфликт коммуникационный потребует разрешить вопрос доступности парка (транспортом, велосипедом или пешком) из расположенных вблизи жилых кварталов и городского центра, а также вопрос удобства парковки и легкого

доступа к остановкам общественного транспорта [13].

Визуально-эстетический конфликт проявляется при оценке противоречивости паркового ландшафта и примыкающих к нему промышленных сооружений, искажающих в восприятии посетителей парка задуманный художественный образ.

Сюда же примыкает решение художественного конфликта, направленного на формирование объёмно-пространственной композиции парка в соответствии с принципами архитектурно-ландшафтного ансамбля [14]. Эстетические задачи проектирования направлены на удовлетворение эстетических чувств человека при его общении с природой, которые обусловлены зрительным восприятием интересных пейзажей и выразительных сооружений.



Рис. 5. Информационные стенды

Должны быть учтены при проектировании микроклиматические особенности региона: в холодное и дождливое время года посещаемость парка идет на убыль, а в теплые месяцы года, когда посещение паркового ансамбля увеличивается, необходимо обеспечить и зону комфортной прохлады, и зоны принятия солнечных ванн и отдыха у воды [16].

Первый этап предпроектного анализа, состоящий в выявлении и анализе групп конфликтов, на этом завершён. Второй этап предполагает поиск решений обнаруженных противоречий и может быть обозначен как выбор темы – способа разрешения проявившихся ситуационных конфликтов (функциональных, пространственных, композиционных, ландшафтных и других).

На этом этапе предполагается концептуальное использование данных, полученных при анализе практических и информационных источников, когда производится сравнение проектных решений уже существующих аналоговых объектов архитектурно-ландшафтной среды и вычленяются способы решений, более соответствующие данному проекту парка [17].

Таким образом, после сравнительного анализа определенных тем, решающих конфликтные

Технологические проблемы парка решаются доступностью на отдыхе современных технологий: наличием Wi-Fi и источников электропитания для гаджетов.

Информационные задачи в проектировании направлены (рис. 5.) на возможность дать посетителям четкие ориентиры в парковом пространстве [15]. Кроме информационного оборудования, ориентиры могут быть представлены парковыми сооружениями, разными покрытиями, заметными растительными композициями. Особая проблема разработчика – это решение экономических задач: уложиться в пределы сметы для реализации проекта, а также найти инвесторов для дополнительного финансирования определённых парковых объектов, таких как спортивный клуб или организация досуга для детей и т.д.

ситуации, приоритет получают те темы, которые предлагают максимально эффективное решение и в наибольшей степени соответствуют ландшафту и назначению будущего паркового комплекса, учитывая его градостроительные и экологические особенности. Следовательно, такой метод работы носит название «проектирование по аналогам» и базируется на нахождении сходных типов конфликтов, анализирует и оценивает способы их проектных решений. Главное преимущество этого метода - в широком использовании накопленного опыта для решения основной задачи, а именно создания художественно неповторимого образа паркового комплекса. Такая работа позволяет проектировщику подойти к завершающему этапу предпроектного анализа, а именно сформулировать основную идею-концепцию паркового комплекса. Методы постановки проблемы в ландшафтном проектировании и дальнейшая работа с разрешением конфликтных тем позволяет усовершенствовать процесс проектировки паркового комплекса.

Следовательно, при изучении вопросов и методов проектирования парковых ансамблей, представляющих собой неразрывную связь при-

роды, архитектуры и человека, необходимо рассматривать вопросы предпроектного анализа парковой зоны, которые учитывают неразрывную взаимосвязь функционального, экологического, коммуникационного, визуально-эстетического и художественного конфликтов. Ландшафтная архитектура садово-парковых территорий является одним из наиболее актуальных вопросов освоения и проектирования доступной и визуально-комфортной парковой среды, поэтому правильная ее организация придает городской среде сформированность пространства, полностью отвечающего физиологическим нормам человека.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нефедов В.А. Городской ландшафтный дизайн. СПб: Любавич, 2012. 316 с.
2. Шимко В.Т. Архитектурно-дизайнерское проектирование. Основы теории (средовой подход). М.: Изд-во Архитектура-С. 2009. 408 с.
3. Фролова В.А. Значимость и восприятие открытых пространств // Проблемы озеленения крупных городов: сб. материалов конф. XV Международ. науч.-практ. конф. М.: Изд-во МГСУ, 2012. С. 70.
4. Глинтерник Э.М., Романов В.Е. Графический дизайн в России: основные этапы развития и становления профессионально – образовательной системы (XVIII – нач. XX вв) // Вестник Санкт-Петербургского университета технологии и дизайна. 2004. № 10. С. 152–163.
5. Михайлов С.М. Пространство как объект дизайнерской деятельности. Понятие «дизайн-пространство» // Мир науки, культуры, образования. 2009. № 6 (18). С. 77–78.
6. Денисова Ю.В. Малые архитектурные формы для благоустройства городской застройки // Проектирование зданий: сб. материалов конф. Всерос. науч.-практич. конф. по профилю. Казань: Изд-во КГАСУ, 2017. С. 91–96.
7. Perkova M.V., Kolesnikova L.I., Korotun E. Formation of engineering thinking in multilevel architectural education. Key Engineering Materials. 2018. Vol. 771. Pp. 24–30.
8. Вергунов А.П. Парковый ансамбль как синтез искусства и природы. Архитектурная композиция садов и парков. М.: Стройиздат, 1980. 254 с.
9. Фролова В.А. Преобразование городского постсоветского ландшафта в общественные пространства и среду нового поколения // Вестник московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2015. № 5. Т. 19. С. 9–16.
10. Денисова Ю.В. Проектирование жилища для маломобильных групп населения // Молодежь и наука. Шаг к успеху: сб. матер. конф. 2-й Всерос. науч. конф. перспективных разработок молодых ученых. Курск: Изд-во КГАСУ, 2018. С. 125–129.
11. Гейл Я. Жизнь среди зданий: Использование общественных пространств. Концерн «КРОСТ», пер. с англ. М.: Альпина Паблшер, 2012. 200 с.
12. Perkova M.V., Baklazhenko E.V. Vaytens A.G. Urban Conflicts of the Belgorod Regional Settlement System and its Elements. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 463. Is. 3. P. 032014.
13. Ilvitskaya S.V., Lobkova T.V. Philosophy of unity with nature as basis of energy-efficient house architecture. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 451. Is. P. 1012161.
14. Денисова Ю.В. Аддитивные технологии в строительстве // Строительные материалы и изделия. 2018. Том 1. №3. С. 33–42.
15. Денисова Ю.В., Пашкова Л.А. Спортивные сооружения олимпийских объектов // Проектирование зданий: сб. материалов конф. Всерос. науч.-практич. конф. по профилю. Казань: Изд-во КГАСУ, 2017. С. 125–130.
16. Perkova M.V. Regional settlement system. International Journal of Pharmacy and Technology. Vol. 8. Is. 4. 2016. Pp. 26621–26634.
17. Гринев-Гриневиц С.В., Сорокина Э.А. Основы семиотики. М.: Изд-во Флинта: Наука. 2012, 256 с.

Информация об авторах

Дмитрийчук Никита Максимович, магистрант кафедры дизайна архитектурной среды. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46. E-mail: vinny44@mail.ru.

Денисова Юлия Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры архитектурных конструкций. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46. E-mail: denisova.yv@bstu.ru.

Поступила в апреле 2019 г.

© Дмитрийчук Н.М., Денисова Ю.В., 2019

¹*Dmitriychuk N.M., ^{1,*}Denisova J.V.*Belgorod State Technological University named after V.G. Shuhova
Russia, 308012, Belgorod, Kostyukov, 46
*E-mail: denisova.yv@bstu.ru**THE DESIGN OF URBAN PARK SYSTEMS**

Abstract. *The design of modern landscape objects is of great interest for architects and designers. Today, much attention is paid to the potential growth of landscaping and parks. The study of issues and methods of designing park ensembles is an important direction. They are an inseparable link between nature, architecture and human. Planning of park areas implies an analysis of the possibilities for the future development of a landscape-design object in a certain design area; landscaping, flower decoration, place and design object affect the maximum workload of the park area. The article is devoted to the study of pre-project analysis stages when designing urban park systems. The landscape design project task of developing the territory of park complexes takes into account the method of posing a number of problems. It is necessary to consider the issues of pre-project analysis of the park area, including the inextricable connection of functional, environmental, communication, visual, aesthetic and artistic conflicts. The article describes the main stages and methods of design the urban parks, special attention is given to the method of "analog design", place making and co-designing. It is demonstrated that landscape architecture of park systems is an actual issue for development, design of an affordable and comfortable park environment. Its proper organization provides the formation of a space that fully meets the physiological norms of a human.*

Keywords: *design methods, public space, architectural and landscape environment, environmental pre-project analysis, park ensemble, park, place making, urban environment, park system.*

REFERENCES

1. Nefedov V.A. Urban landscape design [*Gorodskoj landshaftnyj dizajn*]. St. Petersburg: Lyubavich. 2012, 316 p. (rus)
2. Shimko V.T. Architectural and design projects. Fundamentals of theory (environmental approach) [*Arhitekturno-dizajnerskoe proektirovanie. Osnovy teorii (sredovoj podhod)*]. M.: Pub. Architecture-S, 2009, 408 p. (rus)
3. Frolova V.A. Relevance and perception of open spaces [*Znachimost' i vospriyatie otkrytyh prostranstv*]. Greening of large cities: proceedings of Conf. XV international. science.-prakt. conf. M.: Izd - vo MGSU, 2012. P. 70. (rus)
4. Glinternik E.M., Romanov V.E. Graphic design in Russia: the main stages of development and formation of professional educational system (XVIII – early XX cc.) [*Zgraficheskij dizajn v Rossii: osnovnye ehtapy razvitiya i stanovleniya professional'no – obrazovatel'noj sistemy (XVIII – nach. XX vv.)*]. Bulletin of St. Petersburg University of technology and design. 2004. No. 10. Pp. 152–163. (rus)
5. Mikhailov S.M. Space as an object of design activity. The concept of "design space" [*Prostranstvo kak ob"ekt dizajnerskoj deyatel'nosti. Ponyatie «dizajn-prostranstvo»*]. World of science, culture, education. 2009. No. 6 (18). Pp. 77–78. (rus)
6. Denisova J.V. Small architectural forms for the improvement of urban development [*Malye arhitekturnye formy dlya blagoustrojstva gorodskoj zastroyki*]. Building Design of buildings: proceedings of Conf. Vseros. science.-practical. Conf. on the profile. Kazan: Izd-vo KGSU. 2017. Pp. 91–96. (rus)
7. Perkova M.V., Kolesnikova L.I, Korotun E. Formation of engineering thinking in multilevel architectural education. Key Engineering Materials. 2018. Vol. 771. Pp. 24-30.
8. Vergunov A.P. Park ensemble as a synthesis of art and nature. The architectural arrangement of gardens and parks [*Parkovyj ansambl' kak sintez iskusstva i prirody. Arhitekturnaya kompoziciya sadov i parkov*]. M.: Stroizdat. 1980, 254 p. (rus)
9. Frolova V.A. The transformation of urban landscape in post-Soviet public spaces and environment of new generation [*Preobrazovanie gorodskogo postsovetskogo landshafta v obshchestvennye prostranstva i sredu novogo pokoleniya*]. Bulletin of Moscow state forest University - Forest Herald. 2015. No. 5. Vol. 19. Pp. 9–16. (rus)
10. Denisova J.V. Design of housing for people with limited mobility [*Proektirovanie zhilishcha dlya malomobil'nyh grupp naseleniya*]. Youth and science. Step to success: collected mater. Conf. 2-nd all-Russia. science. Conf. promising projects of young scientists. Kursk: Izd-vo KGSU, 2018. Pp. 125–129. (rus)
11. Gail Ya. Living among buildings: Using public spaces [*Zhizn' sredi zdaniy: Ispol'zovanie obshchestvennykh prostranstv*]. Concern "KROST", per.s angl. M.: Alpina Publisher. 2012, 200 p. (rus)
12. Perkova M.V., Baklazhenko E.V. Vaytens A.G. Urban Conflicts of the Belgorod Regional Settlement System and its Elements: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 463, Is. 3. P. 032014.
13. Ilvitskaya S.V., Lobkova T.V. Philosophy of unity with nature as basis of energy-efficient house

architecture: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 451. P. 1012161.

14. Denisova J.V. Additive technologies in construction [*Additivnye tekhnologii v stroitel'stve*]. Building materials and products. 2018. Vol. 1. No. 3. Pp. 33–42. (rus)

15. Denisova J.V., Pashkova L.A. Sports facilities of the Olympic objects [*Sportivnye sooruzheniya olimpijskih ob"ektov*]. Building Design: materials

Conf. Vseros. science.-practical. Conf. on the profile. Kazan: Izd-vo KGASU, 2017. Pp. 125–130. (rus)

16. Perkova M.V. Regional settlement system. International Journal of Pharmacy and Technology. Vol. 8. Is. 4. 2016, Pp. 26621–26634.

17. Grinev-Grinevich S.V., Sorokina E.A. Fundamentals of semiotics. M.: Izd-vo Flinta : Nauka. 2012, 256 p. (rus)

Information about the authors

Dmitriychuk, Nikita M. Master student. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Address: Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46. E-mail: vinny44@mail.ru.

Denisova, Julia V. PhD., Assistant professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Address: Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46. E-mail: denisova.yv@bstu.ru.

Received in April 2019

Для цитирования:

Дмитрийчук Н.М., Денисова Ю.В. Проектирование городских парковых комплексов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 6. С. 70–77. DOI: 10.34031/article_5d07a0f2693984.29257494

For citation:

Dmitriychuk N.M., Denisova J.V. The design of urban park systems. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 6. Pp. 70–77. DOI: 10.34031/article_5d07a0f2693984.29257494

DOI:10.34031/article_5d079e0ec02547.40724825

^{1,*}Точина В.П., ¹Попов А.Д., ¹Танкова Н.А.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

*E-mail: vikivi19@yandex.ru

ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ РЕНОВАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В МИРОВОЙ ПРАКТИКЕ

Аннотация. В статье рассматривается мировой опыт реновации индустриальных объектов и акцентируются ключевые принципы и методы, используемые в проектах такого вида. Даны примеры адаптации промышленных объектов к потребностям современных городов. Выявлены тенденции развития принципов и методов реновации промышленных территорий и сооружений. Принципы базируются на сохранении либо изменении начальной функции сооружения, методы же представляются в таком случае, каким способом совершается непосредственно процедура реновации, они полагаются на сохранении либо изменении наружного и внутреннего типов сооружения. Именно многогранность решений перепрофилирования объектов позволяет проводить архитектурное моделирование правильного выбора адаптации исторических объектов или комплексов под современные нужды. Рассмотрены аналоговые образы перестройки индустриальных центров и их инфраструктура с сохранением объектов. Проведен анализ процесса реновации, его рациональность и результативность в обстоятельствах урбанизированного мегаполиса на примере исторических промышленных объектов. Реновация индустриальных территорий позволит создать более комфортную городскую среду, развить социальную инфраструктуру и удобные общественные пространства. Для этого целесообразно использовать все виды полной рефункционализации.

Ключевые слова: реновация, индустриальные территории, преобразование пространств, реорганизация, рефункционализация индустриальной территории.

Введение. Под «реновацией» в архитектуре подразумевается адаптационный процесс, протекающий в существующем здании, перемены многофункционального направления сооружения либо постройки, с целью вероятного последующего применения [1]. В наше время проблема отслуживших свой срок индустриальных комплексов, строений и их инфраструктур остро стоит на повестке дня не только в нашем городе, но и в абсолютно всех индустриальных ареалах Российской Федерации [2]. Считается, что выходом из сформировавшейся ситуации может быть обновление деградирующих индустриальных объектов и их территорий. Основным и важным вопросом в настоящий период считается изменение индустриальных территорий, поддержка их цивилизованных ценностей и обеспечение города новой жизненной средой [3]. Территории, не попавшие в социальную жизнедеятельность, хотя существуют фактически, никак не реализуются в многофункциональных отношениях мегаполиса и его пластической концепции и, следовательно, становятся исключенными из жизни людей. Такая обстановка приводит к тому, что прежние индустриальные местности в многочисленных вариантах применяются не целесообразно, а в некоторых случаях и совершенно ни как не втянуты в деятельность мегаполиса [4, 5].

Методология. Проанализировав международный опыт деятельности с индустриальными

зданиями и территориями, можно отметить высококачественно различные тенденции реновации и перестройки индустриальных территорий и сооружений [9]:

- поддержка начального вида сооружения;
- восстановление с дальнейшим введением новейших научно-технических действий;
- восстановление индустриальных территорий с дальнейшим формированием зеленого скелета мегаполиса;
- абсолютное устранение промышленного объекта и применение территории под иным направлением.

Из количества имеющихся способов с целью перестройки (рефункционализации) индустриальных предметов целесообразно выделить ряд ключевых, которые допускают приспособить зодчество к нынешним обстоятельствам:

1. Метод «аппликации» подразумевает формирование композиции на базе ранее имеющихся систем, за счет «наложения» новых строительных технологий и использованных материалов [7].

2. Метод «сопоставлений» подразумевает сравнение проектируемого объекта с теми или иными качествами образного аналога. Он используется в том случае, если объекту следует добавить новые свойства.

3. «Внедрение» – врезка добавочных компонентов и строений в имеющиеся пространственно-планировочной композиции сооружения (рис. 1).

Данные методы возможно сочетать между собой, получая при этом достойные вниманию результаты.



Рис. 1. Центр современного искусства в Таллине

Основная часть. Целью данного изучения является анализ процесса реновации, ее рациональность и результативность в обстоятельствах урбанизированного мегаполиса, с этой целью рассмотрены аналоговые образцы переустройства промышленных центров и их инфраструктур с сохранением объектов. Деятельность согласно подобным вопросам обнаружена в иностранной литературе [6]. Одним из таких примером считается трамвайное депо в Амстердаме (рис. 2).

а



б



Рис. 3. Интерьеры переделанных пространств трамвайного депо: павильонов кинотеатра и ресторана:
а – помещение кинотеатра; б – открытый ресторан

В нашем государстве красочным образом реновации индустриальной территории может служить проект «Ткачи» ткацкой фабрики. В советский период предприятие приобрело новое имя – Петра Алексеева. С основанием перестройки производство застыло, здание стояло бесхозным, часть строений разрушились. Сносить его было

«Внедрение» оказался наиболее подходящий метод реновации для перестройки депо.



Рис. 2. Старинное трамвайное депо в Амстердаме

В истоке 1900-х в центре Амстердама создали трамвайное депо в манере зодчества XIX столетия. В 1995 году депо начало утрачивать собственную изначальную значимость, и правительство подумали о редевелопменте (рис. 3). В 2011 Амстердам реализовал совокупность компании с оригинальными идеями [8]. Процедура реновации была прозрачной, потому что подрядчик с самого начала принимал участие в разработке и мог представлять действительно легко осуществимые задачи и контролировать стоимость. В результате трамвайное депо приспособили под множество новых функций: гостиницу, рестораны, библиотеку искусств, драмтеатр и креативные студии (рис. 3).

нельзя, так как в 2001 году комплекс взяли под охрану и признали выявленным объектом культурного наследия (рис. 4).

Новая жизнедеятельность прежней фабрики возникла в 2010-м, когда инвесторы приняли решение сделать из нее не просто деловой центр, а

креативное место [10]. По внешнему виду сооружение осталось прежним, а внутри видоизменилось вплоть до неузнаваемости. Инновационные

лифты, наливные полы, уникальное подсвечивание. Старые стены из красного кирпича отчасти сохранили (рис. 5).



Рис. 4. Часть сооружения фабрики с началом перестройки

а



б



Рис. 5. Креативное пространство «Ткачи» в здании бумагопрядильной мануфактуры:
а – интерьеры фабрики; б – экстерьеры

Сейчас в «Ткачах» функционируют фотостудии, проектные агентства, маркетинговая контора (рис. 5). Ведутся показы, выступления и музыкальные вечера. О том, что здесь было еще лет десять назад, напоминают лишь фото на стенах. «Ткачи» являются ярким образом метода «аппликации».

Выводы. Таким образом, выявлено ряд тенденций, методов и способов приспособления индустриальных объектов к потребностям нынешних современных городов, имеющих многовековую историю. Перспектива индустриального зодчества состоит в её адаптации к стремительными темпами развивающимся технологиям. Данное добывается с переустройством «малоэффективных» индустриальных объемов. Мировой опыт

перепрофилирования устаревших объектов для нас очень важен. Его осмысление может помочь в создании мощного теоретического фундамента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Котенко И.А., Токарева В.А. Реновация бывших промышленных территорий // Вестник СГАСУ Градостроительство и архитектура. 2015 № 3 (20). С. 47–52.
2. Воличенко О.В., Рычкин Е.Д. Реновация промышленных территорий как фактор преобразования городского ландшафта // Архитектура и строительство России: АСР. 2018. № 2. С. 84–91.
3. Грахов В.П., Мохначев С.А., Манохин П.Е., Виноградов Д.С. Основные тенденции современных проектов реновации промышленных зон // Фундаментальные исследования. 2016. № 12-2. С. 400–404.
4. Дрожжин Р.А. Реновация промышленных территорий // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2015. № 1 (11). С. 84–86.
5. Попов А.Д., Шило А.В. Искусство в современном культурно-коммуникативном пространстве // Дизайн. Материалы. Технология. 2016. № 2 (42). С. 75–78.
6. Бабенко Г.В., Лукин М.В. Анализ мировых тенденций и зарубежного опыта экономического обеспечения решения задач реновации зданий городских агломераций // Фундаментальные исследования. 2017. № 4-2. С. 314-319.
7. Попов А.Д. Световой дизайн городской среды в современной урбанистике // Дизайн. Материалы. Технология. 2016. № 2 (42). С. 16–19.
8. George D., Lin B. C. A., Chen Y. A circular economy model of economic growth. 2015. Vol. 73. Pp. 60–63.
9. Barco A.F., Fages J.G., Vareilles E., Aldanondo M., Gaborit P. Recursive algorithm of building renovation in "smart" cities // Procedia Engineering. 2015. Vol. 9255. Pp. 508–523.
10. Barco A.F., Vareilles E., Aldanondo M., Gaborit P. Open the packaging for the synthesis of the facade plan under public decision // Procedia Engineering. 2014. Vol. 8502. Pp. 144–153.

Информация об авторах

Точина Виктория Павловна, магистрант кафедры дизайна архитектурной среды. E-mail: vikivi19@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Попов Александр Дмитриевич, кандидат экономических наук, доцент кафедры дизайна архитектурной среды. E-mail: design_bgtu@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Танкова Наталья Анатольевна, магистрант кафедры теоретической и прикладной химии. E-mail: nat1273pic@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в марте 2019 г.

© Точина В.П., Попов А.Д., Танкова Н.А., 2019

^{1,*}Tochina V.P., ¹Popov A.D., ¹Tankova N.A.

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

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

*E-mail: vikivi19@yandex.ru

PRINCIPLES AND METHODS OF RENOVATION OF INDUSTRIAL FACILITIES IN THE WORLD PRACTICE

Abstract. The world experience, key principles and methods of industrial objects renovation are considered in the article. Examples of adaptation of industrial facilities to the needs of modern cities are given. Development trends of principles and methods of industrial territories and constructions renovation are revealed. The principles are based on preserving or changing the initial function of the structure; methods include the ways of renovation procedure, rely on maintaining or changing external and internal types of structures. The diversity of solutions for the conversion of objects allows architectural modeling of the correct choice of adaptation of historical objects or complexes to modern needs. Similar restructurings of industrial centers and their infrastructure with the preservation of objects are considered. The analysis, rationality and effectiveness of the renovation process in an urbanized megalopolis are carried out on the example of historical industrial objects. Renovation of industrial areas will create a more comfortable urban environment;

develop social infrastructure and convenient public spaces. For this purpose, it is advisable to use all types of complete refunctionalization.

Keywords: renovation, industrial territories, transformation of spaces, reorganization, refunctionalization of industrial territory.

REFERENCES

1. Kotenko I.A., Tokareva V.A. Renovation of post-industrial territories [*Renovaciya byvshih promyshlennykh territorij*]. Vestnik SGASU Gradosroitelstvo and architecture. 2015. No. 3 (20). Pp. 47–52. (rus)
2. Volichenko O.V., Ruchkin E.D. Renovation of industrial areas as a factor of transformation of the urban landscape [*Renovaciya promyshlennykh territorij kak faktor preobrazovaniya gorodskogo landschafta*]. Architecture and construction of Russia: ASR. 2018. No. 2. Pp. 84–91. (rus)
3. Grakhov V.P., Mokhnachev S.A., Manokhin P.E., Vinogradov D.S. The Main trends of modern projects of renovation of industrial zones [*Osnovnye tendencii sovremennykh proektov renovacii promyshlennykh zon*]. Fundamental researches. 2016. No. 12–2. Pp. 400–404. (rus)
4. Drozhzhin, R.A. Renovation of industrial areas [*Renovaciya promyshlennykh territorij*]. Bulletin of the Siberian state industrial University. 2015. No. 1 (11). Pp. 84–86. (rus)
5. Popov A.D., Shilo A.V. Art in modern cultural and communicative space [*Iskusstvo v sovremennom kul'turno-kommunikativnom prostanstve*]. Design. Materials. Technology. 2016. No. 2 (42). Pp. 75–78.
6. Babenko G.V., Lukin M.V. Analysis of world trends and foreign experience of economic support of solving problems of renovation of buildings of urban agglomerations [*Analiz mirovykh tendencij i zarubezhnogo opyta ekonomicheskogo obespecheniya resheniya zadach renovacii zdaniy gorodskih aglomeracij*]. Fundamental research. 2017. No. 4-2. Pp. 314–319. (rus)
7. Popov A.D. Light design of urban environment in modern urbanist [*Svetovoj dizajn gorodskoj sredy v sovremennoj urbanistke*]. Design. Materials. Technology. 2016. No. 2 (42). Pp. 16–19. (rus)
8. George D., Lin B. C. A., Chen Y.: A circular economy model of economic growth. 2015. Vol. 73. Pp. 60–63.
9. Barco A.F., Fages J.G., Vareilles E., Aldanondo M., Gaborit P. Recursive algorithm of building renovation in "smart" cities. Procedia Engineering. 2015. Vol. 9255. Pp. 508–523.
10. Barco A.F., Vareilles E., Aldanondo M., Gaborit P. Open the packaging for the synthesis of the facade plan under public decision. Procedia Engineering. 2014. Vol. 8502. Pp. 144–153.

Information about the authors

Tochina, Victoria P. Master student. E-mail: vikivi19@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Popov, Alexander D. PhD, Assistant professor. E-mail: design_bgtu@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Tankova, Natalya A. Master student. E-mail: nat1273pic@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in March 2019

Для цитирования:

Точина В.П., Попов А.Д., Танкова Н.А. Принципы и методы реновации промышленных объектов в мировой практике // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 6. С. 78–82. DOI:10.34031/article_5d079e0ec02547.40724825

For citation:

Tochina V.P., Popov A.D., Tankova N.A. Principles and methods of renovation of industrial facilities in the world practice. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 6. Pp. 78–82. DOI:10.34031/article_5d079e0ec02547.40724825

DOI: 10.34031/article_5cfe5cec834b78.74952989

^{1,*}Николаева А.С.¹Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4

*E-mail: 9835069@gmail.com

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННО-ЭСТЕТИЧЕСКОГО ОБЛИКА ТУРИСТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА БАЙКАЛЕ

Аннотация. Озеро Байкал является всемирно-охраняемым природным объектом. Природоохранительный режим территории и сокращение производств на прилегающих к Байкалу регионах влечет за собой активное развитие туризма и строительства туристических комплексов. Природа Байкала – основа формирования архитектуры. Байкальские ландшафты, природные ресурсы требуют эффективного и бережного использования и возобновления в условиях постоянно повышающейся антропогенной нагрузки. Существующая архитектура туристических комплексов невыразительна, так как нет сформированного комплексного подхода к проектированию и выбору решений. В данной статье предложен подход к формированию композиционно-эстетического облика туристического комплекса для Байкала для повышения эффективности, эстетической выразительности, и решения вопроса интеграции архитектуры в природу Прибайкалья. В процессе исследования автором были выделены конструктивные и композиционные типы элементов, составляющих объект. Композиционные типы определяются наличием природных ресурсов, особенностями природных ландшафтов, богатого историко-культурного наследия. Конструктивные типы определяются требованием (принципом) «самообеспечения» и природоохранительным режимом территории. Автором выделены следующие элементы композиционного облика туристического комплекса: рельеф территории, ландшафт (геометрия), местная флора, малые природные формы, крупные и малые элементы альтернативной энергетики, историко-культурные формы и мотивы. Данные элементы могут комбинироваться в различных сочетаниях с выделением типа основного объема, типа доминанты, а также элементов, используемых для декорирования и акцентирования.

Ключевые слова: архитектура, туристический комплекс, композиционный облик, озеро Байкал, визуальная структура.

Введение. Озеро Байкал, включенное в список объектов всемирного наследия ЮНЕСКО, притягивает к своим берегам туристов и отдыхающих. Сокращение производственных мощностей и количества предприятий на территории Иркутской области и республики Бурятия привело к необходимости вывода туризма и рекреации на ведущие позиции в формировании экономической политики регионов [1]. Активное развитие направлений [2] предполагает строительство новых туристических объектов и комплексов в соответствии со стратегиями развития и требованиями государственных программ и федеральных законов. Однако проектирование на территории Байкальской природной территории осуществляется по общим государственным стандартам, определяющим строительство на особо охраняемых природных территориях и регламентирующим деятельность на Байкале, такие как 94-ФЗ от 1 мая 1999 в актуализированной редакции, Градостроительный Кодекс РФ, региональные рекомендации размещению и строительству объектов на территории регионов. Данные государственные стандарты не учитывают эстетический облик объектов, природные ресурсы и ландшафты территории как составляющую архитектурного ансамбля и в то же время

мощный ресурсный потенциал. Компаниями-проектировщиками используются локальные приемы включения зданий в природную среду или отображения культурно-исторических традиций или элементов, единичные (точечные) случаи использования энергоэффективных решений.

Природа Байкала является основополагающим фактором для формирования архитектуры туристических комплексов на Байкале [3]. Наибольший интерес представляют собой базы отдыха, являющиеся характерным типом туристско-рекреационного комплекса для существующей инфраструктуры [4], а также перспективным типом для дальнейшего проектирования. Для формирования максимально привлекательной среды, эргономичности использования природы и в то же время бережного к ней отношения требуется сформировать комплексный подход к проектированию новых архитектурных объектов, учитывающий важнейшие факторы, определяющие облик и наполнение. Настоящая статья представляет предложение по формированию композиционно-эстетического облика туристического комплекса для Байкальской Природной Территории.

Методика исследования. Включила в себя анализ и синтез данных Федеральных целевых

программ по направлению исследования, литературных источников и изучение методических, нормативных и проектных материалов по теме исследования, применении элементов системного анализа, изучении особенностей территории, выделении уникальных черт и формировании концепции.

Основная часть. При исследовании проводилось изучение и обобщение существующих нормативов, законов и стандартов в области проектирования туристско-рекреационных комплексов на Байкале, перспективных проектов и направлений развития территорий, анализ факторов, влияющих на архитектуру зданий и сооружений на Байкале.

Были изучены теоретические основы взаимодействия природного ландшафта и архитектурных форм Курбатова Ю.И. [5] при учете особенностей эстетической и визуальной структуры территории [6], а также труды Колодина К.И. по основам архитектурно-планировочной организации [7] и формообразования [8], включая экстерьерные решения [9] и Рогожниковой М.А. по пейзажному проектированию объектов [10].

Богатство природы Байкала ресурсами (аватория, недра, ветровой режим, солнечный режим) определило необходимость изучения технических решений и практических рекомендаций по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, разработанных в России [11], а также иностранных примеров реализации элементов альтернативной энергетики [12].

В процессе изучения были выделены следующие типы элементов, составляющие туристический комплекс:

- композиционные – образующие преимущественно визуальную композиционно-эстетическую структуру,

- конструктивные – участвующие преимущественно в формировании конструктивного наполнения объектов, в меньшей степени влияющие на композиционно-эстетический облик.

Данные типы элементов тесно связаны с принципами формирования архитектуры туристических комплексов [13].

В определении *композиционных элементов*, характеризующих особенности природы и региона, участвуют такие факторы как: наличие природных ресурсов, особенности ландшафтов, а также историко-культурное наследие территории.

Наличие природных ресурсов и ландшафты:

- дают возможность активного использования ресурсов (при обязательном бережном отношении),

- требуют решения вопроса интеграции не только архитектуры в среду, но и природных элементов в архитектурную среду.

Помимо вышеперечисленного целесообразно отражение не только эстетических характеристик, но и энергетической мощи территории в облике туристического комплекса.

Конструктивные элементы определяются:

- принципом «самообеспечения»: принятием объемно-пространственных и конструктивных решений, позволяющих функционировать без привязки к поселениям и централизованным инженерным системам,

- наличием природоохранного режима территории: как следствие – использование принципов проектирования, позволяющих сохранить природу и минимизировать воздействие на нее, при этом рекомендуется принимать дополнительные решения, нацеленные на возобновление природных ресурсов.

Для формирования композиционного облика современного туристического комплекса были выбраны следующие элементы:

Ландшафт и природное окружение территории отражаются в:

- рельефе (очертаниях),
- местной растительности (флоре).

Историко-культурные особенности территории позволяют использовать в архитектуре:

- крупные формы
- мотивы, принты, паттерны (например, этнические).

Ресурсная мощь территории позволяет применять в архитектуре:

- крупные элементы энергетики (ветряки, солнечные батареи),
- малые элементы энергетики в конструктивном решении зданий и сооружений.

Элементы композиционного облика современного туристического комплекса.

1. Рельеф, ландшафт (очертания).

Территорию Прибайкалья составляют уникальные природные ландшафты, имеющие свою визуальную структуру, региональной особенностью которой является *многоплановость восприятия* (ближний берег – акватория – дальний берег), вследствие чего восприятие любого проектируемого здания или комплекса происходит не только при приближении к объекту, но и удаленно от него в соответствии с возможностями зрительного восприятия. Поэтому актуальным становится вопрос изучения визуальной геометрии крупных природных форм, их цветовой палитры. Использование геометрии рельефа и ландшафта в архитектуре путем интеграции определяет прежде всего удаленное восприятие

объектов либо восприятие на открытых площадках. При проектировании новых объектов обязательно наладить взаимосвязь между структурой территории и структурой комплекса [14]. Кроме того, можно использовать структуру и особенности ландшафта (в том числе наличие акватории) для создания малых объектов культурного значения [15].

2. Местная флора (растительность), малые природные формы, их визуальная структура.

Для интеграции особенностей природных ландшафтов в архитектуру для восприятия «ближний берег» требуется изучение малых природных форм, среди которых растительность, особенности рельефа (уникальные срезы, валуны, каменные насыпи). Малые природные формы могут использоваться как напрямую (например, озеленение кровли путем устройства «ковра» из местных ползучих растений, включение в ландшафтный дизайн территории), так и косвенно (анализ структуры, использование растительных орнаментов, принтов, паттернов [15], присущих данной территории).

3. Крупные элементы энергетики (например, ветряки, водяные мельницы).

Формируют восприятие проектируемого объекта с акватории, с дальнего берега, а также при открытых пространствах с ближайшего берега удаленно. Некоторые элементы, такие как водяные мельницы, выразительны и при ближнем восприятии. Включение в структуру комплекса крупных элементов энергетики не только позволяет реализовать принцип «самообеспечения», возможность самодостаточного функционирования комплекса или сети комплексов, но и формирует облик объекта, отражая природную мощь территории.

4. Малые элементы энергетики.

Представляют собой технические решения, используемые в конструкциях здания (такие как энергоэффективное остекление, солнечные батареи, навесы), определяющие восприятие зданий и сооружений преимущественно при восприятии «с ближнего берега». Такие решения носят дополняющую функцию при отражении потенциала Байкала.

5. Историко-культурные формы.

Объемы и планировочные решения зданий, сформировавшиеся в соответствии с культурными обычаями и исторически сложившимися традициями народов, населявших и населяющих Прибайкалье. Наиболее ярким примером служит юрта как один из наиболее характерных типов зданий. Для использования историко-культурных форм требуется изучение как конструктивных и объемных решений, так и особенностей внутренней организации, которые можно интегрировать в планировочную структуру комплекса целиком или поэлементно [17].

6. Историко-культурные мотивы.

Богатство территории Байкала народностями позволяет произвести детальное изучение национальных принтов и орнаментов и разработать решения по их внедрению в архитектуру туристического комплекса в различных масштабах. элементы зданий, оконных створок, конструкций навесов и покрытий, а также формы жилых ячеек, которые могут носить как акцентную функцию и представлять собой архитектурный декор, так и составлять основной объем зданий. Данные элементы формируют уникальное восприятие и аутентичность архитектуры [18].

Композиционно-эстетические решения.

Композиционно-эстетическое решение должно формироваться комплексно с обязательным использованием нескольких элементов (рис.1) композиционного облика.



Рис. 1. Элементы композиционного облика современного туристического комплекса.

Разработан автором

Элементы композиционного облика должны использоваться в соответствии с существующей структурой конкретной территории, часть элементов принимаются основополагающими для решения основного объема комплекса и

доминанты. Для акцентирования и декорирования используются другие более мелкие элементы.

На рис. 2 рассмотрены примеры композиционно-эстетического решения.

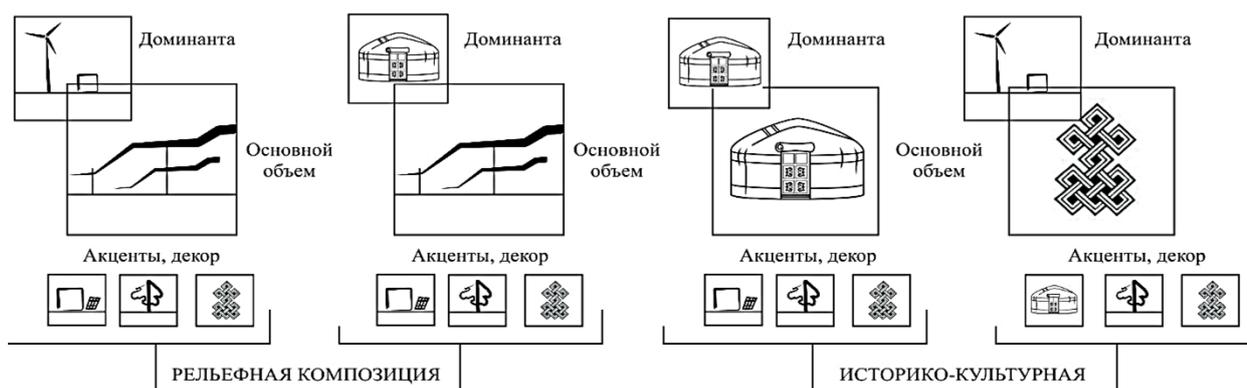


Рис. 2. Примеры композиционно-эстетического решения туристического комплекса. Разработан автором

В зависимости от типа элемента, используемого в основном объеме, композиция комплекса может носить рельефный или историко-культурный характер. Для доминантных форм используются крупные элементы такие как элементы энергетики, а для акцентирования и декорирования – малые формы, орнаменты, принты, паттерны.

Выводы. В связи с повышением значения туристической деятельности на территории Прибайкалья для прилегающих регионов, и, как следствием, планируемого количества туристических объектов, требуется разработка комплексного подхода к формированию архитектуры, учитывающего особенности территории (природы, историко-культурного наследия), природоохранный режим территории, необходимость сохранения и возобновления природных ресурсов.

Для повышения визуальной выразительности комплексов и формирования уникального облика предложены композиционно-эстетические решения, формирующиеся из следующих элементов: особенности рельефа (геометрии), крупные и малые элементы энергетики, местная флора и малые природные формы, историко-культурные формы и мотивы.

Комплексный подход к формированию решения включает в себя использование нескольких элементов с выделением основного объема, доминанты, а также акцентных решений. По типу основного объема предложены композиции рельефного и историко-культурного типа.

Данный подход актуален для проектирования новых туристических комплексов, а также модернизации существующих и повышения их эстетической выразительности и эффективности работы. Также возможно использование решений и для зданий нетуристического типа, размещаемых на изучаемой территории.

На основании предложенных решений рекомендуется подбор детальных решений по каждому типу элементов и композиции с последую-

щим созданием рекомендаций либо методических пособий по проектированию туристических комплексов на Байкале.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральная целевая программа «Охрана озера Байкал и социально-экономическое развитие Байкальской природной территории на 2012-2020 годы» [Электронный ресурс]: утв. Постановлением Правительства Рос. Федерации от 21 авг. 2012 г. № 847. Доступ из справ-правовой системы «КонсультантПлюс»
2. Байкал: Великое озеро Великой страны: проектное предложение по приоритетному направлению // Аналитический центр при правительстве Российской Федерации. 2016 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://ac.gov.ru/files/content/10043/baikal-2-4-pdf.pdf>
3. Николаева А.С. Природа Байкала как основа формирования архитектуры туристических комплексов // Вестник Евразийской науки. 2018. Том 10. №3. С.60. [Электронный ресурс]. URL: <https://esj.today/PDF/87SAVN318.pdf>
4. Николаева А.С. Архитектурно-типологическая классификация туристско-рекреационных комплексов на Байкале // Вестник науки и образования. 2018. Т. 2. № 7 (43). С. 76–80. [Электронный ресурс]. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_35168565_35610177.pdf
5. Курбатов Ю.И. Архитектурные формы и природный ландшафт: композиционные связи. Ленинград: Издательство Ленинградского университета, 1988. 134 с.
6. Эстетический облик Байкальского побережья [Электронный ресурс] // The Baikal Basin Information Center – [http://bic.iwlearn.org/ru/atlas/atlas/142-esteticheskii-oblik-baikalskogo-poberezhya-map](http://bic.iwlearn.org/ru/atlas/atlas/142-esteticheskii-oblik-baikalskogo-poberezhya-map/esteticheskii-oblik-baikalskogo-poberezhya-map)

7. Колодин К.И. Особенности архитектурно-планировочной организации и формообразования объектов поселений, расположенных вблизи водоемов // Новые идеи нового века. 2016. Том 2. С. 141–145. [Электронный ресурс]. URL: http://pnu.edu.ru/media/nionc/articles-2016/24_2.pdf
8. Колодин К.И. Формообразование объектов загородной среды. Учебное пособие для вузов. М.: «Архитектура – С». 2004. 256 с.
9. Колодин К.И. Интерьер загородной улицы. Учебное пособие для вузов, М.: «Архитектура – С». 2015. 416 с.
10. Рогожникова М.А. Пейзажное проектирование архитектурного объекта. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.marhi.ru/AMIT/2012/3kvart12/rogozhnikova/abstract.php>
11. Акиев Р.С., Бурцев С.И., Бусахин А.В. и др. Каталог технических решений и практических рекомендаций по энергосбережению и повышению энергетической эффективности зданий и сооружений [Электронный ресурс]. М: Национальное объединение строителей, 2014. 139 с. URL: <http://docs.cntd.ru/document/493668276>
12. Gancorova A. Energy efficiency in the development of landscape space // Scientific Journal of Latvia University of Agriculture. Landscape Architecture and Art. 2014. Vol. 3. №. 3. Pp. 57–65.
13. Николаева А.С. Принципы архитектурной организации туристско-рекреационных комплексов на озере Байкал // Вестник Евразийской науки. 2019. Том 11. №1. [Электронный ресурс]. URL: <https://esj.today/31SAVN119.html>
14. Sampaio C.G., Alvar Aalto and Alvaro Siza: The Link between Architecture and Nature in the Construction of Place // Athens Journal of Architecture. 2015. Vol. 1. №. 3. Pp. 207–220.
15. Purs I., Alle E. Natural Elements and Phenomena of the Atmospherescape as a Material // Proceedings of the Latvia University of Agriculture. Landscape Architecture and Art. 2014. Vol. 3. №. 3. Pp. 32–47
16. Harea O., Eplenyi A., Viticultural Landscape Patterns – Embedding contemporary wineries into the landscape site // Scientific Journal of Latvia University of Agriculture. Landscape Architecture and Art. 2017. Vol. 10. №. 10. Pp.7–14.
17. Zilgalvis J., Valle Rectory: the research of the cultural and historical environment and landscape // Scientific Journal of Latvia University of Agriculture. Landscape Architecture and Art. 2016. Vol. 9. №. 9. Pp. 48–56.
18. Riddhsgni N., Cultural Tourism and Architecture Heritage: Question of Authenticity // Journal of Community Department Research (Humanities and Social Sciences). 2018. Vol. 11. №. 3. Pp. 1–12.

Информация об авторах

Николаева Анна Сергеевна, аспирант. E-mail: 9835069@gmail.com. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4.

Поступила в апреле 2019 г.

© Николаева А.С., 2019

^{1,*}**Nikolaeva A.S.**

¹Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Russia, 190005, Saint-Petersburg, Vtoraya Krasnoarmeiskaya, 4

*E-mail: 9835069@gmail.com

FEATURES OF FORMATION THE COMPOSITION AND AESTHETIC IMAGE OF THE TOURIST COMPLEX ON BAIKAL

Abstract. The lake Baikal is a world-protected natural object. The environmental protection regime of the territory and the decrease in production in the regions adjacent to Lake Baikal entail an active development of tourism and the construction of tourist complexes. The nature of Baikal is the basis for the formation of architecture. Baikal landscapes and natural resources require efficient and careful use and renewal in conditions of constantly increasing anthropogenic pressure. The existing architecture of tourist complexes is inexpressive, as there is no formed complex approach to the design and selection of solutions. This article proposes an approach to the formation of the compositional and aesthetic appearance of the tourist complex for Baikal to improve efficiency, aesthetic expressiveness and to address the issue of integrating architecture into the nature of the Baikal region. In the course of the study, the author identifies the structural and compositional types of elements that make up the object. Compositional types are determined by the presence of natural resources, natural landscapes, rich historical and cultural heritage. Design types are determined by the requirement (principle) of "self-sufficiency" and the environmental regime of the territory. The author emphasizes following elements of the compositional appearance of the tourist complex: relief of the territory, landscape (geometry), local flora, small natural forms, large and small elements of alternative energy, historical

and cultural forms and motifs. These elements are combined in various combinations with the selection of the type of main volume, the type of dominant and the elements used for decorating, accentuation.

Keywords: architecture, tourist complex, compositional appearance, Lake Baikal, visual structure.

REFERENCES

1. Federal target program "Protection of Lake Baikal and the socio-economic development of the Baikal Natural Territory for 2012-2020" [*Federal'naya celevaya programma «Ohrana ozera Bajkal i social'no-ekonomicheskoe razvitie Bajkal'skoj prirodnoj territorii na 2012-2020 gody»*]. [Electronic resource]: approved. Decree of the Government of Ros. Federation from 21 aug. 2012 No. 847. Access from the ConsultantPlus legal system. (rus)
2. Baikal: Great Lake of the Great Country: project proposal for the priority direction [*Bajkal: Velikoe ozero Velikoj strany: proektnoe predlozhenie po prioritetnomu napravleniyu*]. Analytical Center for the Government of the Russian Federation. 2016 [Electronic resource] URL: <http://ac.gov.ru/files/content/10043/bajkal-2-4-pdf.pdf>. (rus)
3. Nikolaev A.S. Nature of Baikal as the basis for the formation of architecture of tourist complexes [*Priroda Bajkala kak osnova formirovaniya arhitektury turisticheskikh kompleksov*]. Bulletin of Eurasian science. 2018. Volume 10. No.3. C.60. [Electronic resource] URL: <https://esj.today/PDF/87SAVN318.pdf>. (rus)
4. Nikolaev A.S. Architectural and typological classification of tourist and recreational complexes on Lake Baikal [*Arhitekturno-tipologicheskaya klassifikaciya turistsko-rekreacionnykh kompleksov na Bajkale*]. Science and Education Bulletin. 2018. V. 2. No. 7 (43). Pp. 76–80. [Electronic resource] - URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_35168565_35610177.pdf. (rus)
5. Kurbatov Yu.I. Architectural forms and natural landscape: composite communication [*Arhitekturnye formy i prirodnyj landshaft: kompozicionnye svyazi*]. Leningrad: Publishing House of the Leningrad University, 1988. 134 p. (rus)
6. Aesthetic appearance of the Baikal coast [*Esteticheskij oblik Bajkal'skogo poberezh'ya*]. [Electronic resource]. The Baikal Basin Information Center - <http://bic.iwlearn.org/ru/atlas/atlas/142-esteticheskii-oblik-baikalskogo-poberezhya-map/esteticheskii-oblik-baikalskogo-poberezhya-map>. (rus)
7. Kolodin K.I. Features of the architectural and planning organization and shaping the objects of settlements located near water bodies [*Osobennosti arhitekturno-planirovochnoj organizacii i formobrazovaniya ob'ektov poselenij, raspolozhennykh vblizi vodoemov*]. New ideas of the new century. 2016. Volume 2. Pp. 141–145. [Electronic resource] URL: http://pnu.edu.ru/media/nionc/articles-2016/24_2.pdf. (rus)
8. Kolodin K.I. Formation of objects of the country environment [*Formoobrazovanie ob'ektov zagorodnoj sredy*]. Textbook for universities. M.: "Architecture - C". 2004. 256 p. (rus)
9. Kolodin K.I. The interior of the country street [*Inter'er zagorodnoj ulicy*]. Textbook for universities. M.: "Architecture - C". 2015. 416 p.
10. Rogozhnikova M.A. Landscape design of an architectural object [*Pejzazhnoe proektirovanie arhitekturnogo ob'ekta*]. [Electronic resource] - URL: <http://www.marhi.ru/AMIT/2012/3kvart12/rogozhnikova/abstract.php>. (rus)
11. Akiev R., Burtsev S., Busakhin A. and others. Catalog of technical solutions and practical recommendations for energy saving and energy efficiency of buildings and structures [*Katalog tekhnicheskikh reshenij i prakticheskikh rekomendacij po energosberezheniyu i povysheniyu energeticheskoy effektivnosti zdaniy i sooruzhenij*]. [Electronic resource] M: National Association of Builders, 2014. 139 p. URL: <http://docs.cntd.ru/document/493668276>. (rus)
12. Gancorova A., Energy efficiency in the development of landscape space. Scientific Journal of Latvia University of Agriculture. Landscape Architecture and Art. 2014. Vol. 3. №. 3. Pp. 57–65.
13. Nikolaev A.S. The principles of the architectural organization of tourist and recreational complexes on Lake Baikal [*Principy arhitekturnoj organizacii turistsko-rekreacionnykh kompleksov na ozere Bajkal*]. Bulletin of Eurasian science. 2019. Volume 11. No. 1. [Electronic resource]. URL: <https://esj.today/31SAVN119.html> (rus)
14. Sampaio C.G., Alvaroal Aalto and Alvaro Siza: The Athens Journal of Architecture. 2015. Vol. 1. No. 3. Pp. 207–220.
15. Purs I., Alle E. Natural Elements and the Phenomena of the Atmospheres of a Material. Proceedings of the Latvia University of Agriculture. Landscape Architecture and Art. 2014. Vol. 3. No. 3. Pp. 32–47
16. Harea O., Eplenyi A., Viticultural Landscape Patterns - Embroidery patterns, wineries into the landscape. Scientific Journal of Latvia University of Agriculture. Landscape Architecture and Art. 2017. Vol. 10. No. 10. Pp.7–14.
17. Zilgalvis J., Valle Rectory: The Research University of Agriculture. Landscape Architecture and Art. 2016. Vol. 9. No. 9. Pp. 48–56.
18. Riddhsni N., Cultural Tourism and Architecture Heritage: Question of Authenticity. Journal of the Community Department Research (Humanities and Social Sciences). 2018. Vol. 11. No. 3. Pp. 1–12.

Information about the authors

Nikolaeva, Anna S. PhD. E-mail: 9835069@gmail.com. Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, Saint-Petersburg, Vtoraya Красноармейская, 4.

Received in April 2019

Для цитирования:

Николаева А.С. Особенности формирования композиционно-эстетического облика туристических комплексов на Байкале // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 6. С. 83–89. DOI: 10.34031/article_5cfe5cec834b78.74952989

For citation:

Nikolaeva A.S. Features of formation the composition and aesthetic image of the tourist complex on Baikal. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 6. Pp. 83–89. DOI: 10.34031/article_5cfe5cec834b78.74952989

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/article_5d02031ece1b71.09384111

¹Кочергин Ю.С., ^{1,*}Золотарева В.В., ¹Шатохина Д.С.¹Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского
Украина, 83117, г. Донецк, ул. Щорса, 31

*E-mail: viktoria802@gmail.com

РЕГУЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНЫХ ПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ДИФЕНИЛОЛМЕТАНА С ПОМОЩЬЮ МОДИФИКАТОРОВ

Аннотация. В широком интервале концентраций исследовано влияние модифицирующих добавок политетраметилэфирного гликоля, дибутилфталата и низкомолекулярных каучуков марок СКН-11ХР и СКТН на деформационно-прочностные и адгезионные свойства полимеров на основе эпоксидированных производных дифенилолметана. Установлено, что концентрационные зависимости показателей прочности при растяжении, деформации при разрыве и работы разрушения материала имеют экстремальный характер. В области малых концентраций наблюдаются максимумы, интенсивность и положение которых зависят от химической природы модификаторов и режима отверждения композиции. Для образцов, отвержденных без подвода тепла извне, эффект упрочнения выражен более рельефно по сравнению с термообработанными образцами. Зависимость адгезионной прочности от концентрации модификатора имеет более сложный характер, причем во всем исследованном диапазоне концентраций модифицированные образцы по адгезионным характеристикам превосходят исходный композит. Показано, что эффект упрочнения при введении модификаторов в большей степени проявляется при отрицательных температурах испытания.

Ключевые слова: эпоксидный полимер, диглицидиловый эфир дифенилолметана, отвердитель, режим отверждения, деформационно-прочностные и адгезионные свойства, релаксационные переходы.

Введение. Ранее было показано [1, 2], что эпоксидные олигомеры и полимеры на основе диглицидиловых эфиров дифенилолметана имеют ряд преимуществ перед диановыми смолами. Они отличаются меньшей вязкостью, лучшей адгезионной прочностью, более высоким уровнем физико-механических свойств при пониженных температурах. В продолжение исследований этого вида эпоксидных смол целью настоящей работы явилось изучение влияния модификаторов, с успехом используемых в случае диановых эпоксидных смол, на свойства эпоксиполимеров на основе дифенилолметана.

Методология. В качестве объекта исследования был использован опытный образец смолы на основе дифенилолметана (продукт ЭДФМ-19) с эпоксидным числом 19,3. Модификаторами служили дибутилфталат (ДФБ) с показателями свойств по ГОСТ 8728-88, политетраметилэфирный гликоль (ПТМЭГ) с молекулярной массой (ММ) 2000, жидкий сополимер олигобутилена и акрилонитрила с концевыми хлоргруппами (каучук СКН-11ХР по ТУ 403489-84 с ММ = 3200, содержанием хлора – 1,95 %) и олигодиметилсилоксановый каучук СКТН марки А с концевыми гидроксильными группами (ГОСТ 13835-73). Отверждение смолы и ее смесей с модификаторами проводили триэтилентетраминометилфенолом УП-583Т по режимам 25 °С/240 ч (режим I) и 25 °С/72 ч. + 120 °С/3 ч (режим II).

Разрушающее напряжение при растяжении σ_r , относительное удлинение при разрыве ϵ_r и внутренние напряжения $\sigma_{вн}$ оценивали на динамометре типа Поляни с использованием пленочных образцов толщиной 100–150 мкм. Модуль упругости E рассчитывали по наклону начального участка кривой $\sigma - \epsilon$. Мерой работы разрушения A_r служила площадь под кривой нагрузка – удлинение. Температуру стеклования T_c измеряли при постоянной растягивающей нагрузке 1 МПа на специальном приборе [5]. Сопротивление сдвигу τ_v клеевых соединений определяли по ГОСТ 14759-69. Степень отверждения α измеряли методом экстрагирования в ацетоне в аппарате Сокслета. Тангенс угла механических потерь $\tan \delta$ и динамический модуль сдвига G' измеряли на крутильном маятнике МК-1 в температурном диапазоне от –120 до +130 °С на образцах размером 75×10×0,5 мм.

Основная часть. Как следует из рис. 1, зависимость параметра σ_r от концентрации модификаторов носит экстремальный характер. В области малых добавок наблюдается некоторое повышение прочности, после чего σ_r монотонно убывает с увеличением содержания модификатора. При этом оптимальная концентрация, соответствующая максимуму прочности, зависит от типа модификатора и режима отверждения композиции. В наибольшей степени эффект упрочнения проявляется в композициях, содержащих 2 мас. ч. СКТН и ПТМЭГ, особенно если системы

отверждались без подвода теплоты. Для ДБФ и СКН-11ХР увеличение σ_p происходит только для непрогретых образцов, а для термообработанных

композиций показатель прочности при использовании этих модификаторов во всем диапазоне концентраций убывает.

Таблица 1

Свойства модифицированных эпоксиполимеров

| Модификатор | Содержание, мас.ч. | ϵ_p , % | E , ГПа | T_c , °C | α , % | ρ , кг/м ³ |
|-------------|--------------------|------------------|-----------|------------|--------------|----------------------------|
| ПТМЭГ | 0 | 5,1/6,8 | 1,73/1,86 | 58/101 | 83,8/96,8 | 1220/1229 |
| | 2 | 5,9/7,7 | 1,72/1,92 | 61/106 | - | - |
| | 5 | 6,4/5,9 | 1,72/1,94 | 57/105 | - | - |
| | 7 | 5,7/5,7 | 1,68/1,91 | 57/105 | - | - |
| | 10 | 3,6/5,4 | 1,64/1,86 | 55/103 | 80,1/93,7 | 1216/1215 |
| | 15 | 3,5/5,3 | 1,61/1,59 | 53/100 | - | - |
| | 25 | 3,5/5,3 | 0,95/1,13 | 48/99 | - | - |
| СКТН | 2 | 5,3/8,1 | 1,65/1,64 | 60/102 | - | - |
| | 5 | 5,8/7,6 | 1,56/1,57 | 57/110 | - | - |
| | 7 | 6,5/6,4 | 1,54/1,57 | 58/105 | - | - |
| | 10 | 4,9/4,9 | 1,48/1,53 | 56/103 | 79,2/92,9 | 1205/1197 |
| | 15 | 3,2/4,9 | 1,40/1,55 | 54/103 | - | - |
| СКН-11ХР | 2 | 5,3/8,1 | 1,70/1,86 | 58/102 | - | - |
| | 5 | 5,3/9,1 | 1,68/1,78 | 56/106 | - | - |
| | 7 | 6,8/7,1 | 1,58/1,86 | 55/106 | - | - |
| | 10 | 5,9/6,9 | 1,61/1,80 | 55/105 | 80,2/91,8 | 1200/1202 |
| | 15 | 4,4/8,7 | 1,72/1,36 | 52/102 | - | - |
| ДБФ | 2 | 5,4/6,8 | 1,50/1,90 | 56/100 | - | - |
| | 5 | 6,8/6,9 | 1,34/1,91 | 53/91 | - | - |
| | 7 | 6,0/7,2 | 1,30/1,86 | 52/90 | - | - |
| | 10 | 5,4/7,6 | 1,21/1,78 | 51/89 | - | 1217/1220 |
| | 15 | 5,7/7,1 | 1,02/1,67 | 48/88 | - | - |
| | 25 | 7,6/6,8 | 0,78/1,50 | 48/84 | - | - |

Примечание: до черты – образцы отверждены по режиму I, после черты – по режиму II.

Деформация ϵ_p зависит от количества добавки более сложным образом (табл. 1). При малых концентрациях (С) величина ϵ_p возрастает с образованием максимума при $C = 2 \div 7$ мас. ч. (в зависимости от типа модификатора и режима отверждения), затем в интервале $7 < C < 15$ мас. ч. она убывает, а далее при $C > 15$ мас. ч. снова начинает увеличиваться. Исключения составляют образцы, содержащие ПТМЭГ, для которых при больших концентрациях модификатора ϵ_p сохраняет стабильные значения. Наблюдаемая закономерность изменения ϵ_p в зависимости от количества модификатора может быть объяснена следующим образом. При малых добавках действие модификатора направлено на уменьшение межмолекулярного взаимодействия за счет блокирования полярных групп (подобно тому, как это происходит при введении поверхностно-активных веществ [6,7]), т.е. система пластифицируется, вследствие чего ϵ_p растет. В области промежуточных концентраций, благодаря отсутствию ограничений, накладываемых физическими связями, создаются условия для большей свободы

конформационных перегруппировок молекулярных цепей эпоксида, что увеличивает вероятность контакта непрореагировавших реакционноспособных групп, и как следствие, приводит к большей плотности поперечного сшивания. Тот факт, что это предположение не подтверждается результатами определения степени отверждения эпоксиполимера методами экстрагирования (см. табл. 1), обусловлен, по-видимому, вымыванием модифицирующих добавок при выдержке образцов в ацетоне. Увеличение плотности химической сетки обуславливает уменьшение деформационной способности модифицированных систем. При больших концентрациях модификатора снова начинает преобладать эффект пластификации и ϵ_p возрастает. В случае ПТМЭГ отсутствие увеличения ϵ_p в области больших концентраций модификатора, по-видимому, связано с образованием физической сетки за счет концевых групп модификатора и гидроксильных групп эпоксидной матрицы, ограничивающей молекулярную подвижность.

Модуль упругости E для образцов, отверженных без термообработки (режим I), уменьшается при введении всех исследуемых модификаторов (табл. 1). Особенно резкое снижение наблюдается для ДБФ. В случае образцов, отверженных по режиму II, при малых концентрациях ПТМЭГ и ДБФ имеет место небольшое увеличение модуля, а затем при $C > 5$ мас.ч. E монотонно убывает. Для каучуков СКТН и СКН-11ХР уменьшение модуля происходит сразу после введения модификатора. Особенно резкое снижение наблюдается для СКТН.

Модификация не приводит к существенному уменьшению теплостойкости, если композиции отверждались при комнатной температуре (табл. 1), а в термообработанных образцах вызывает некоторое возрастание T_c (за исключением образцов, содержащих ДБФ).

Как видно из рис. 2, при модификации весьма ощутимо увеличивается адгезионная прочность. Особенно значительный эффект получен при использовании ПТМЭГ и ДБФ, когда удается повысить t_b более, чем в 2 раза.

В то же время модифицированные полимеры отличаются меньшей плотностью ρ (табл. 1). В большей степени это присуще образцам, содержащим СКТН и СКН-11ХР.

Что касается параметра A_p , то при температуре испытания, близкой к комнатной, выигрыш в работе разрушения довольно мал (рис. 3). Он составляет не более 40%. В большей мере увеличение A_p проявляется для образцов, содержащих ДБФ и СКТН (холодное отверждение), СКН-11ХР и СКТН (горячее отверждение). В то же время при пониженных и повышенных температурах испытания преимущества композиций, содержащих модификаторы, становятся более очевидными (табл. 2). Так, образцы, содержащие СКН-11ХР при -60 и -120 °С превосходят исходный полимер по величине A_p почти в 2 раза. Это обусловлено существенно большим возрастанием σ_r для модифицированных полимеров при понижении температуры по сравнению с немодифицированными. Отметим также, что и при повышенных температурах прочность модифицированных образцов выше. По значениям ϵ_r модифицированные образцы превосходят исходные при отрицательных температурах и в области развитого высокоэластического состояния (150 °С). В переходной области (вблизи T_c) деформационные свойства образцов различаются в меньшей степени (некоторое исключение составляет композиция с каучуком СКН-11ХР). Наличие модификаторов мало сказывается на внутренних напряжениях (см. табл. 2).

Таблица 2

Зависимость свойств модифицированных эпоксиполимеров от температуры испытания

| Показатель | Температура испытания, °С | Модификатор (7 мас. ч. на 100 мас. ч. эпоксидного олигомера) | | | |
|----------------------------|---------------------------|--|------|-------|----------|
| | | Исходный образец | СКТН | ПТМЭГ | СКН-11ХР |
| σ_p , МПа | -120 | 58,3 | 80,5 | 84,2 | 88,9 |
| | -60 | 59,7 | 81,3 | 77,8 | 89,7 |
| | 20 | 52,6 | 52,7 | 49,4 | 50,1 |
| | 80 | 3,4 | 6,2 | 6,4 | 5,4 |
| | 150 | 1,2 | 1,5 | 1,6 | 1,4 |
| ϵ_p , % | -120 | 4,3 | 5,3 | 4,4 | 5,5 |
| | -60 | 4,8 | 6,5 | 5,7 | 6,0 |
| | 20 | 5,0 | 6,5 | 5,7 | 6,8 |
| | 80 | 83,8 | 81,3 | 79,5 | 98,4 |
| | 150 | 15,3 | 22,0 | 24,7 | 25,2 |
| E , ГПа | -120 | 2,32 | 1,99 | 2,30 | 2,20 |
| | -60 | 2,20 | 1,93 | 1,90 | 2,22 |
| | 20 | 1,73 | 1,34 | 1,68 | 1,58 |
| | 80 | 0,05 | 0,37 | 0,08 | 0,29 |
| | 150 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| A_p , кДж/м ² | -120 | 1,9 | 3,1 | 2,8 | 3,7 |
| | -60 | 2,2 | 4,1 | 3,4 | 4,1 |
| | 20 | 2,0 | 2,6 | 2,2 | 2,6 |
| | 80 | 2,2 | 3,8 | 3,7 | 3,5 |
| | 150 | 0,15 | 0,19 | 0,21 | 0,20 |
| $\sigma_{вн}$, МПа | -120 | 54,0 | 47,1 | 54,3 | 55,8 |
| | -60 | 33 | 25,7 | 27,7 | 31,9 |
| | 20 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 0,8 |

Примечание: образцы отверждены по режиму I.

Разные модификаторы оказывают неодинаковое воздействие на релаксационные переходы, обнаруживаемые методом динамической механической спектроскопии. Если при введении ПТМЭГ и СКН-11ХР интенсивность низкотемпературного β -перехода увеличивается (табл. 3) пропорционально концентрации добавки, то при введении СКТН, наоборот, наблюдается уменьшение $\text{tg } \delta$ в максимуме β -пика. Температура β -пика (T_β) понижается при введении СКТН, возрастает при добавлении ПТМЭГ и практически

не изменяется при модификации СКН-11ХР. Температура высокотемпературного α -перехода (T_α) убывает во всех случаях пропорционально концентрации модификатора (исключением является СКТН; при малых его содержаниях T_α возрастает, т.е. проявляется эффект антипластификации). Интенсивность α -пика ($\text{tg } \delta_\alpha$) убывает при введении ПТМЭГ и СКТН, а при СКН-11ХР, наоборот, возрастает.

Таблица 3

Влияние модифицирующих добавок на релаксационные переходы в полимере на основе дифенилолметана

| Модификатор | Содержание модификатора, мас. ч. | T_β , °С | $\text{tg } \delta_\beta$ | T_α , °С | $\text{tg } \delta_\alpha$ |
|-------------|----------------------------------|----------------|---------------------------|-----------------|----------------------------|
| - | 0 | -60 | 0,034 | 64 | 1,04 |
| ПТМЭГ | 7 | -60 | 0,041 | 60 | 0,91 |
| | 25 | -51 | 0,046 | 51 | 0,81 |
| СКТН | 7 | -60 | 0,034 | 70 | 1,00 |
| | 25 | -72 | 0,028 | 49 | 0,71 |
| СКН-11ХР | 7 | -62 | 0,034 | 62 | 1,25 |
| | 25 | -62 | 0,069 | 60 | 1,16 |

Примечание: образцы отверждены по режиму I.

Исследованиями с помощью крутильного маятника установлено, что динамический модуль сдвига в температурном диапазоне между β - и α -переходами снижается пропорционально количеству модификатора. В этом интервале для значений G' соблюдается последовательность $G'_{\text{исх}} > G'_{\text{ПТМЭГ}} > G'_{\text{СКН-11ХР}} > G'_{\text{СКТН}}$, что достаточно хорошо коррелирует с результатами измерения модуля упругости E статическим методом (см. табл. 1).

Выводы. Таким образом, модификация эпокси-полимеров на основе диглицидиловых эфиров дифенилолметана низкомолекулярными каучуками и пластификаторами способствуют улучшению комплекса их свойств, особенно при отрицательных температурах испытания. Установлено, что зависимости показателей прочности при растяжении, деформации при разрыве и работы разрушения материала имеют экстремальный характер. В области малых концентраций (до 5 мас. ч.) наблюдаются максимумы, интенсивность и положение которых зависят от химической природы модификаторов и режима отверждения композиции. Для образцов, отвержденных без подвода тепла извне, эффект упрочнения выражен более рельефно по сравнению с термообработанными образцами. После достижения максимальных величин показатели данных свойств монотонно и достаточно быстро снижаются с ростом содержания модифицирующей добавки до значений, существенно меньших, чем у исходного полимера.

Зависимость адгезионной прочности τ_b от концентрации модификатора имеет более сложный характер. Для всех исследованных модификаторов, кроме дибутилфталата, при малых добавках наблюдаются отчетливые максимумы, после которых для образцов, содержащих политетраметилэфиновый гликоль и каучук СКН-11ХР, адгезионная прочность снижается, а затем снова возрастает до значений, больших, чем в точке максимума. Для каучука СКТН после максимума параметр τ_b монотонно снижается. В случае дибутилфталата максимум τ_b не проявляется, а наблюдается монотонный рост адгезионной прочности с увеличением содержания модификатора. Важно, что во всем исследованном диапазоне концентраций модифицированные образцы по адгезионным характеристикам превосходят исходный композит. Показано также, что эффект упрочнения в большей степени проявляется при отрицательных температурах испытания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кочергин Ю.С., Золотарева В.В. Свойства композитов на основе диглицидиловых эфиров дифенилолметана // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 4. С. 96–101.
2. Кочергин Ю.С., Золотарева В.В. Сравнительное исследование композиционных материалов на основе диглицидиловых производных дифенилолметана // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №11. С. 91–98.

3. Малкин А.Я., Аскадский А.А., Коврига В.В. Методы измерения механических свойств полимеров. М.: Химия, 1978. 336 с.

4. Кочергин Ю.С., Аскадский А.А., Слонимский Г.Л. и др. Исследование ползучести линейных и сетчатых полимеров на основе полиарилатов и эпоксидных полимеров // Высокомолекулярные соединения. Серия А. 1978. Т. 20. № 4. С. 880–887.

5. Кочергин Ю.С., Кулик Т.А. Регулирование свойств эпоксидно-каучуковых клеев с помощью наполнителей и ПАВ // Интенсификация

процессов склеивания: Материалы семинара, Л.:ЛДНТП, 1987. С. 21–31.

6. Кочергин Ю.С., Кулик Т.А., Прядко А.Ф. Влияние ПАВ на свойства эпоксидно-каучуковых композиций // Пластические массы. 1988. № 1. С. 44–47.

7. Хозин В.Г. Усиление эпоксидных полимеров. Казань: Изд-во ПИК «Дом печати», 2004. 446с.

8. Ефимов А.В., Козлов П.В., Бакеев Н.Ф. Явления пластификации и антипластификации в полимерных стеклах // Докл. АН СССР. 1974. Т. 230, №3. С. 639–641.

Поступила в марте 2019 г.

© Кочергин Ю.С., Золотарева В.В., Шатохина Д.С., 2019

Информация об авторах

Кочергин Юрий Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры общинженерных дисциплин. E-mail: ivano.tanya2011@yandex.ua. Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского. Украина, 83117, Донецк, ул. Щорса, 31.

Золотарева Виктория Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров. E-mail: viktoria802@gmail.com. Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского. Украина, 83117, Донецк, ул. Щорса, 31.

Шатохина Дарья Сергеевна, аспирант кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров. Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского. Украина, 83117, Донецк, ул. Щорса, 31.

¹*Kochergin Y.S., ¹*Zolotareva V.V., ¹Shatohina D.S.*

¹*Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky
Ukraine, 83117, Donetsk, st. Shchorsa 31*

**E-mail: viktoria802@gmail.com*

REGULATION OF PROPERTIES OF EPOXY POLYMERS BASED ON DIPHENYLMETHANE USING MODIFIERS

Abstract. *The influence of modifying additives of polytetramethylene glycol, dibutyl phthalate and low molecular weight rubbers of SCN-11HR and SCTN on deformation-strength and adhesion properties of polymers based on epoxidized derivatives of diphenylmethane is studied in a wide range of concentrations. It is established that concentration dependences of the parameters of tensile strength, strain at break and work of failure of the material are of extreme character. In the region of low concentrations, maxima are observed, the intensity and position of which depend on the chemical nature of the modifiers and the curing mode of the composition. For samples cured without external heat supply, the hardening effect is more pronounced in comparison with heat-treated samples. The dependence of the adhesive strength on the concentration of the modifier is more complex, and in the entire studied range of concentrations, the modified samples exceed the original composite in adhesion characteristics. It is shown that the hardening effect at the introduction of modifiers is more evident at negative test temperatures.*

Keywords: *epoxy polymer, diglycidyl ether of diphenylmethane, hardener, curing mode, deformation-strength and adhesive properties, relaxation transitions.*

REFERENCES

1. Kochergin Yu.S., Zolotareva V.V. Properties of composites based on diglycidyl ethers of diphenylmethane [Svojstva kompozitov na osnove diglicidilovyh efirov difenilolmetana]. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov. 2018. No. 4. Pp. 96–101. (rus)

2. Kochergin Yu.S., Zolotareva V.V. Comparative study of composite materials based on diglycidyl derivatives of diphenylmethane [Sravnitel'noe issledovanie kompozicionnyh materialov na osnove diglicidilovyh proizvodnyh difenilolmetana]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 11. Pp. 91–98. (rus)

3. Malkin A.Y., Askadsky A.A., Kovriga V.V. Methods of measurement of mechanical properties of polymers [*Metody izmereniya mekhanicheskikh svoystv polimerov*]. M.: Chemistry, 1978. 336 p. (rus)

4. Kochergin Yu. S., Askadsky A.A., Slonimsky G. L. et al. The study of creep of linear and reticulated polymers based polyarylates and epoxy polymers [*Issledovanie polzuchesti linejnyh i setchatyh polimerov na osnove poliarylato i epoksidnyh polimerov*]. High molecular compounds. Series A, 1978. Vol. 20. No. 4. Pp. 880–887. (rus)

5. Kochergin Yu.S. Kulik T.A. Regulation of the properties of epoxy-rubber adhesives with the help of fillers and surfactants [*Regulirovanie svoystv*

epoksidno-kauchukovyh kleev s pomoshch'yu napolnitelej i PAV]. Intensification of gluing processes: seminar, L.: LDNTP, 1987. Pp. 21–31. (rus)

6. Kochergin Yu.S., Kulik T.A., Pryadko A.F. Influence of surfactants on the properties of epoxy-rubber compositions [*Vliyanie PAV na svoystva epoksidno-kauchukovyh kompozicij*]. Plastic masses. 1988. No. 1. Pp. 44–47. (rus)

7. Khozin V.G. Strengthening of epoxy polymers [*Usilenie epoksidnyh polimerov*]. Kazan: publishing house of the press PIK, 2004. 446 p. (rus)

8. Efimov A.V., Kozlov P. V., Bakeev N. F. Plasticization and antiplasticization phenomenon in polymer glasses [*Yavleniya plastifikacii i antiplastifikacii v polimernyh steklah*]. Reports USSR Academy of sciences. 1974. Vol. 230. No. 3. Pp. 639–641. (rus)

Information about the authors

Kochergin, Yuri S. PhD, Professor. E-mail: ivano.tanya2011@yandex.ua. Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky. Ukraine, 83117, Donetsk, st. Shchorsa 31.

Zolotareva, Victoriya V. PhD, Assistant professor. E-mail: viktoria802@gmail.com. Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky. Ukraine, 83117, Donetsk, st. Shchorsa 31.

Shatohina, Dar'ya S. Graduate student. Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky. Ukraine, 83117, Donetsk, st. Shchorsa 31.

Received in Marsh 2019

Для цитирования:

Кочергин Ю.С., Золотарева В.В., Шатохина Д.С. Регулирование свойств эпоксидных полимеров на основе дифенилметана с помощью модификаторов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №6. С. 90–95. DOI: 10.34031/article_5d02031ece1b71.09384111

For citation:

Kochergin Y.S., Zolotareva V.V., Shatohina D.S. Regulation of properties of epoxy polymers based on diphenylmethane using modifiers. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 6. Pp. 90–95. DOI: 10.34031/article_5d02031ece1b71.09384111

DOI: 10.34031/article_5d0a380978a0d8.85307277

^{1,*}Кудеярова Н.П., ¹ Ожерельева А.Ю.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

*E-mail: Kudeyarova@intbel.ru

ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ГИПСА НА КАЧЕСТВО КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ ЯЧЕИСТОЙ СТРУКТУРЫ

Аннотация. В данной статье рассмотрено влияние добавки гипса на процесс гашения извести и качество композиционного вяжущего. Установлено, что скорость процесса гашения извести возможно регулировать различным водо-твердым отношением, температурой затворяемой воды и применением добавки природного гипса. Рассмотрено влияние данной добавки не только на кинетику процесса, но и на температурный фактор, дисперсность продукта и качество получаемых изделий из данного продукта гашения. При гидратации высоко активной извести температура гашения достигает высоких значений, при которых начинается процесс дегидратации двуводного гипса. Совмещение экзотермического процесса гашения извести с образованием среды насыщенного водяного пара при добавке к извести природного гипса образует полуводный гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, который не обезвоживается и не переходит в нерастворимую форму, сохраняя свои химические свойства. Экзотермический эффект кристаллизации ангидрита при этом отсутствует. Представлены результаты прочности композиционного вяжущего ячеистой структуры, исходя из которых следует, что образцы вяжущего на основе извести с добавкой природного гипса в автоклавных условиях характеризуется более высокой прочностью в сравнении с бездобавочными образцами вяжущего.

Ключевые слова: активность извести, модификация гипса, композиционное вяжущее, ячеистая структура, автоклавная обработка.

Введение. Процесс гашения извести сопровождается повышением температуры. По теоретическим расчетам реакции гидратации оксида кальция максимальная температура процесса может достигать 300 °С. Практически температура гашения извести зависит от многих факторов – активности извести, водотвердого соотношения извести и воды, температурных условий процесса, состава вяжущего и смеси и т.д. В технологическом процессе производства изделий ячеистой структуры из смесей на основе извести для регулирования скорости гашения извести в сырьевые смеси вводится определенное количество природного гипса, который начиная с 80 °С дегидратирует до полуводного гипса обладающим вяжущими свойствами. Исходя из этих свойств извести и гипса в научно-исследовательской работе были изучены вопросы об изменениях процессов гашения извести и дегидратации гипса, а также свойств продуктов гашения и их влияние на качество композиционного вяжущего [1–2].

Методология. При проведении исследований использовалась известь, полученная обжигом в лабораторных условиях при температуре 1100 °С в течении одного часа из химически чистого карбоната кальция и природный гипс.

Композиционное вяжущее приготавливалась из смеси извести, тонко измельченного кварцевого песка, цемента и для создания ячеистой структуры алюминиевой пасты в соотношении по указанной последовательности 1 : 3,2 : 0,8 : 0,0048, водотвердое отношение равнялось 0,4.

Для этого применяли портландцемент ОАО «Белгородский цемент» марки 500 удельной поверхности 300 м²/кг; кварцевый песок Вольского месторождения очищенный и измельченный до удельной поверхности 200 м²/кг и вода, нагретая до 40 °С. Компоненты перемешивались и увлажнялись, в последующем формовались образцы по пластичному методу. Готовая газобетонная смесь выливалась в смазанные формы и выдерживалась 3 часа при комнатной температуре. Затем снималась «горбушка» и образцы проходили автоклавную обработку по режиму 2-6-2 часа при давлении пара 10 атм [3].

В работе использовались химический, рентгенофазовый и дифференциально-термический методы анализа.

Основная часть. Известно, что при изменении условий процесса гашения извести изменяются количество выделяемого тепла и свойства продуктов гашения. Для извести первого сорта характерно быстрое выделение теплоты и в большом количестве. Высокая скорость химической реакции гидратации СаО может привести к разрушению на первых этапах формирования ячеистой структуры, которая и так ослаблена за счет высокой пористости. Поэтому при работе на быстрогающейся извести необходимо замедлить процесс гашения извести, что можно осуществить за счет введения добавки природного гипса. Используемая добавка гипса в технологи-

ческом процессе ячеистых изделий в зависимости от получаемой температуры может привести к изменениям процесса гашения извести [4].

В работе при гашении извести активностью 85 % использовалась вода с температурой 20 и 40 °С, количество воды принято в 1,5 раза выше теоретического расхода. Повышение температуры воды позволяет ускорить реакцию гидратации оксида кальция, температура реакции при этом достигла максимума 94,1 °С, что характерно для быстрогасящейся извести (время гашения составило 1,5 минуты). Повышение тепловыделения в этом температурном интервале создает условия для начала разложения двуводного гипса с получением полуводного гипса (вяжущей композиции) различных модификаций, которые по своим химическим свойствам резко отличаются. На основании этих теоретических данных можно предположить о возможности получения полуводного гипса с изменением процесса гашения извести и получаемых при этом продуктов гашения отличающихся химическими свойствами [5].

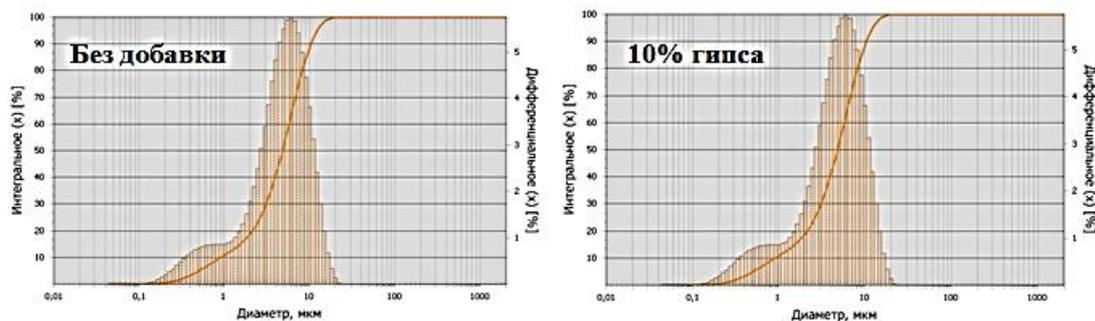


Рис. 1. Распределение частиц гидроксида кальция

Повышение температуры воды при гашении извести способствует получению более мелких частиц размером 1,03...10,51 мкм до 80 %. При добавке 10 % гипса количество частиц данного диапазона уменьшается до 77 % за счет роста более крупных частиц размером 10, 51 – 24, 70 мкм и увеличения их количества при замедлении процесса гашения извести [6].

Изменения фазового состава продуктов гашения с добавкой гипса можно проследить по рентгенофазовому анализу. На рентгенограммах (рис. 2) наблюдается уменьшение дифракционных отражений двуводного гипса и следы полуводного гипса, а также снижение дифракционного пика гидроксида кальция (2,63).

Полученные изменения фазового состава продуктов гашения извести в присутствии природного гипса изучались с использованием дифференциально-термического анализа (рис 3). На термограмме природного гипса просматриваются два эндотермических эффекта с температу-

Изменение температуры воды от 20 до 40 °С сокращает процесс гашения извести от 2-х до 1,5 минут без изменения температуры гашения. Введения добавки гипса от 7,5 до 10 % от массы извести процесс гашения несколько удлиняет (от 9,5 до 10 минут), однако в меньшем количестве при использовании горячей воды (не более чем в 2 раза). Температура гашения при этом достигает максимального значения 94 °С.

Интенсивное тепловыделение и образования при этом водяного пара приводит к значительному диспергированию получаемых продуктов гашения. Наличие замедлителя процесса гашения извести в виде двуводного гипса изменяет процесс. В силу высокой экзотермии процесса в обоих случаях наблюдается повышенная доля мелких частиц по сравнению с гашением водой низкой температуры. На рис. 1 приведены кривые распределения частиц $\text{Ca}(\text{OH})_2$, полученных методом лазерной гранулометрии.

рой 131,1 и 149,6 °С и экзотермический пик в области 349,3 °С. Эндотермические пики свидетельствуют о плавно протекающем процессе дегидратации $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ с образованием полуводного гипса, начало которого фиксируется при 76 °С. Экзотермический процесс связан с перестройкой кристаллической решетки с превращением нерастворимого ангидрита в растворимый.

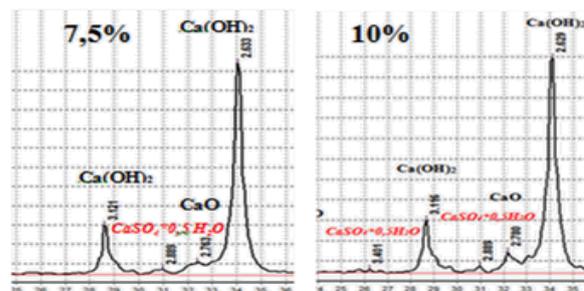


Рис. 2. Рентгенограммы продуктов гашения извести и с добавкой природного гипса в количестве 7,5 и 10 %

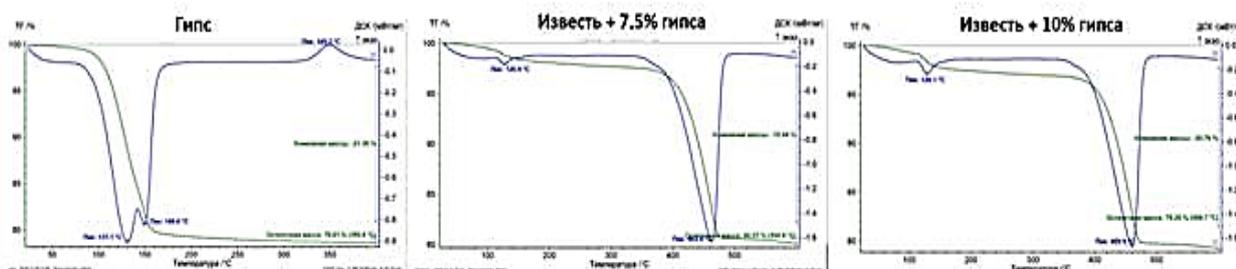


Рис. 3. Результаты ДТА природного гипса и погашеной извести с добавкой 7,5 и 10 % природного гипса

Наличие природного гипса в смеси изменяет ход процесса гашения извести. Во первых, учитывая факт быстрого начала гидратации активного оксида кальция (при первых контактах извести с водой) процесс разложения двуводного сульфата кальция протекает с ярко выраженным эндотермическим эффектом при понижении температуры до 126,9 °С в сравнении с разложением чистого гипса и разложением гидроксида кальция при 462,8 °С (добавка гипса 7,5 масс.%). Экзотермический эффект кристаллизации ангидрита при этом отсутствует.

Увеличение добавки гипса до 10 масс.% приводит к увеличению максимальной температуры разложения $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ до 129,1 °С и снижения температуры разложения $\text{Ca}(\text{OH})_2$ от 462,8 до 459,9 °С, что свидетельствует об изменении свойств продуктов гашения. Анализ полученных результатов показывает, что добавка гипса к извести сдвигает все температурные характеристики процесса гашения извести в сторону пониженных температур с исчезновением процесса кристаллизации ангидрита.

Из теоретических данных известно, что при обезвоживании природного гипса сначала образуется полуводный гипс, при обезвоживании которого получаемый растворимый ангидрит $\gamma\text{-CaSO}_4$, который при температурах выше 170 °С переходит в нерастворимый $\beta\text{-CaSO}_4$ [7–8]. В данных условиях гидратации извести с продолжающимся тепловыделением и образованием среды насыщенного водяного пара возникающий полуводный гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ возможно не обезвоживается, и не кристаллизуется, сохраняя свои свойства, т.е. не переходит в нерастворимую форму. Следовательно, образовавшийся при гашении извести полуводный гипс за счет выделяемого тепла на протяжении реакции гидратации оксида кальция не гидратирует и сохраняет свои химические свойства.

Совмещение экзотермического процесса гашения извести и эндотермического процесса дегидратации двуводного гипса сопровождающееся образованием полуводного гипса как вязущего материала может оказать положительное влияние на формирование сырьевой структуры

изделий на основе высоко активной извести. Кроме этого при воздействии температуры и сохранении влажной среды в этой системе могут образовываться комплексные соединения между продуктами гашения извести и растворимой фазой полуводного гипса [9–11].

Влияние добавки гипса при гашении извести исследовалось на образцах ячеистой структуры при следующем соотношении компонентов: известь-песок-цемент-алюминиевая паста равное 1-3,2-0,8-0,0048. Для приготовления смеси сырьевые компоненты усреднялись и увлажнялись, после чего в смесь вводилась приготовленная алюминиевая суспензия с температурой 40 °С, полученная смесь перемешивалась. Готовая газобетонная смесь укладывалась в форму и выдерживалась 3 часа при комнатной температуре для завершения газообразования и вспучивания массы. В этот период проходит процесс гидратации образовавшегося полуводного гипса (добавка гипса составила 7,5 и 10 % от массы извести), что может отразиться на качестве сырьевой ячеистой структуры и автоклавированных образцов. После обрезки «горбушки» сверх формы, образцы подвергались автоклавной обработке по режиму 2-5-2 часа при давлении водяного насыщенного пара 10 атм [12–13].

В процессе автоклавной обработки протекает взаимодействие извести и кварца с образованием гидросиликатов кальция и ускоренная гидратация портландцемента. Рентгенофазовый анализ образцов ячеистой структуры показал наличие несвязанного кварца и гидросиликатов кальция (рис. 4). По причине низкого содержания портландцемента его гидратные формы не нашли отражения. Однако ускоренная гидратация портландцемента в процессе автоклавной обработки находит свое отражение на повышении качества автоклавированных образцов. Содержание свободного оксида кальция не обнаружено, что свидетельствует о полном связывании извести в гидросиликаты кальция в процессе автоклавной обработки. На рентгенограмме фиксируется уменьшение интенсивности отражения кварца, что свидетельствует о его взаимодействии с известью с образованием низкоосновных гидросиликатов

кальция тоберморитового типа, которые характеризуются высокой прочностью.

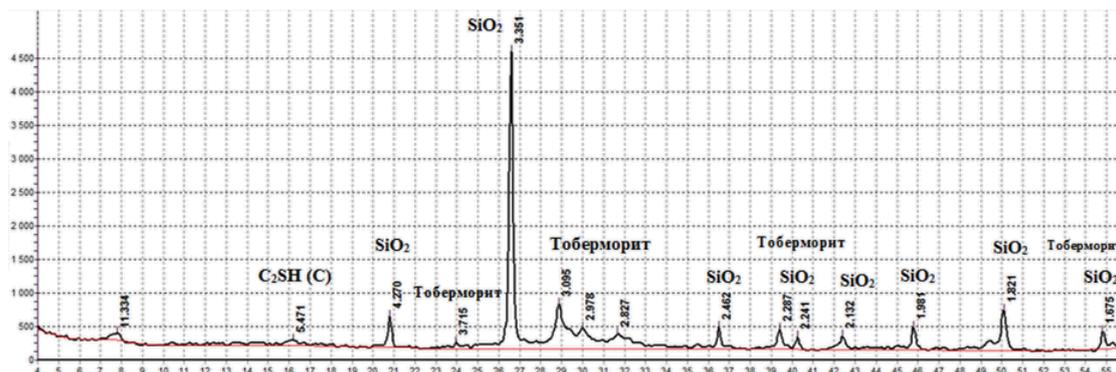


Рис. 4. Рентгенограмма образца ячеистой структуры с добавкой 7,5 % природного гипса от массы извести

Исследуемые образцы ячеистой структуры с добавкой природного гипса отличаются по прочности (табл. 1).

Таблица 1

Изменение прочности образцов ячеистой структуры

| Количество добавки гипса, % | Прочность образцов на сжатие, МПа |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 4,4 |
| 7,5 | 6,0 |
| 10 | 6,0 |

Образцы без добавки гипса характеризуются несколько пониженной прочностью до 4,4 МПа в сравнении с образцами с добавкой. Образцы с добавкой гипса 7,5 и 10,0 % от массы извести отличаются увеличением прочности до 6,0 МПа. Причиной повышения прочности образцов следует рассматривать увеличение количества гидросиликатов кальция в процессе автоклавной обработки за счет совместной гидратации портландцемента и интенсивного взаимодействия кварца с более мелкодисперсным гидроксидом кальция. Свободный гидроксид кальция отсутствует за счет интенсивного протекания реакции образования гидросиликатов кальция и предполагаемого образования комплексных соединений между гидроксидом кальция и растворимым полуводным гипсом [14–15]. Полученные данные по прочности образцов ячеистой структуры в процессе автоклавной обработки с добавкой гипса к извести характерны для ячеистых изделий плотностью не менее 500 кг/м³.

Выводы.

1. Добавка природного гипса замедляет процесс гашения быстрогасящейся извести активностью 85 % в 3–4 раза и в меньшем количестве при использовании горячей воды. Максимальная температура гашения извести составляет 94 °С.

2. При интенсивном процессе гидратации активного оксида кальция с добавкой двуводного гипса проходит процесс разложения $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ с образованием полуводного гипса с выраженным эндотермическим эффектом при температуре 126,9 °С, которая несколько ниже в сравнении с разложением двуводного гипса.

3. Совмещением экзотермического процесса гашения извести и эндотермического процесса дегидратации двуводного гипса находит отражение на свойствах продуктов гашения. Температура разложения гидроксида кальция при этом снижается и тем больше, чем выше добавка гипса, что отражается на изменении свойств продуктов гашения извести.

4. В условиях гашения извести с интенсивным тепловыделением и образованием среды насыщенного водяного пара возникающий полуводный гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ не обезвоживается и не переходит в нерастворимую форму, сохраняя свои химические свойства. Экзотермический эффект кристаллизации ангидрита при этом отсутствует.

5. Получаемые высокодисперсные продукты гашения извести и образование полуводного гипса при использовании добавки природного гипса к извести находят отражение на качестве вяжущего ячеистой структуры. Прочность автоклавированных образцов ячеистой структуры на основе извести с добавкой 7,5 % природного гипса от массы извести в 1,5 раза выше в сравнении с бездобавочными смесями композиционного вяжущего.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бойнтон Р.С. Химия и технология извести. М.: Стройиздат. 1972. 239 с.
2. Лугинина И.Г. Химия и химическая технология неорганических вяжущих материалов: учебное пособие, ч.1. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова. 2004. 240 с.

3. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ: Учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа. 1981. 334 с.
4. Машкин Н.А. Строительные материалы: учебное пособие. Новосибирск: НГАСУ. 2012. 200 с.
5. Кудярова Н.П. Свойства продуктов гидратации оксида кальция при изменении условий гашения извести // Известия вузов. Строительство. 2000. № 10. С. 70–74.
6. Кудярова Н.П., Ожерельева А.Ю. Влияние добавки гипса на скорость гашения и дисперсность получаемых продуктов // Материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2017. [Электронный ресурс].
7. Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В. Химическая технология вяжущих материалов. Учебник для вузов. М.: Высшая школа. 1980. 472 с.
8. Шпынова Л.Г. Исследование свойств извести // Строительные материалы. 1985. № 6. С. 26–27.
9. Котельников Ю.В. Состояние и перспективы развития производства извести // Строительные материалы. 2001. № 5. С. 38–39.
10. Глуховский В.Д. Основы технологии отделочных, тепло- и гидроизоляционных материалов. Киев: Вища школа. 1995. 288 с.
11. Бутт Ю.М., Рашкович Л.Н. Твердение вяжущих при повышенных температурах. М.: Стройиздат. 1965. 223 с.
12. Косенко Н.Ф., Макаров В.В. Исследование процесса замедления гидратации извести // Химия и химическая технология. 2007. №9. С.101.
13. Кафтаева М.В. Теория и практика ячеистых бетонов автоклавного твердения. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 150 с.
14. Potgieter J.H., Potgieter S.S. An empirical study of factors influencing lime slaking. Part II: lime constituents and water composition // Water SA. 2003. Vol.29. Pp 157–161.
15. Левченко В.Н. НААГ: 5 лет поступательного развития // НПК «Современный автоклавный газобетон». Краснодар. 2013. С. 4–8.

Информация об авторах

Кудярова Нина Петровна, кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры технологии цемента и композиционных материалов. E-mail: kudyarova@intbel.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Ожерельева Анастасия Юрьевна, магистр кафедры технологии цемента и композиционных материалов. E-mail: ozhereljewa2010@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в апреле 2019 г.

© Кудярова Н.П., Ожерельева А.Ю., 2019

^{1,*}*Kudyarova N.P., ¹Ozhereleva A.Y.*

¹*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, st.. Kostyukova 46
E-mail:Kudyarova@intbel.ru*

EFFECT OF GYPSUM ADDITIVE ON QUALITY OF COMPOSITIONAL BINDING FOR PRODUCTS OF CELLULAR STRUCTURE

Abstract. *The effect of gypsum additives on the process of lime slaking and the quality of the composite binder is discussed. It is established that a different water-solid ratio, the water temperature and the use of an additive of natural gypsum can regulate the rate of the lime slaking process. The effect of this additive on the kinetics of the process, the temperature factor, the dispersion of the product and the quality of the products obtained by slaking are considered. During the hydration of highly active lime, the slaking temperature reaches high values, at which the process of gypsum dehydration begins. The combination of the exothermic process of lime slaking and the formation of a medium of saturated water vapor with the addition of natural gypsum to lime forms the semi-aquatic gypsum $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$. It does not dehydrate, does not become insoluble and retains its chemical properties. There is no exothermic effect of crystallization of anhydrite. Strength results of composite binder cellular structure demonstrate that lime-based binder samples with the addition of natural gypsum under autoclave conditions are more solid than binder-free samples.*

Keyword: *lime activity, gypsum modification, compositional binder, cellular structure, autoclave treatment.*

REFERENCES

1. Boynton R.S. Chemistry and technology of lime. [*Himiya i tekhnologiya izvesti*]. M.: Stroyizdat. 1972, 239 p. (rus)
2. Luginina I.G. Chemistry and Chemical Technology of Inorganic Binding Materials: studies. allowance, part 1 [*Himiya i himicheskaya tekhnologiya neorganicheskikh vyazhushchih materialov*]. Belgorod: BGTU. 2004. 240 p. (rus)
3. Gorshkov V.S., Timashev V.V., Saveliev V.G. Methods of physico-chemical analysis of binders. [*Metody fiziko-himicheskogo analiza vyazhushchih veshchestv*]. A manual for universities. M.: High School. 1981, 334 p. (rus)
4. Mashkin N.A. Building materials: a studies. Allowance [*Stroitel'nye materialy*]. Novosibirsk: NGASU. 2012. 200 p. (rus)
5. Kudayarova N.P. Properties of the products of calcium oxide hydration with changing of lime slaking conditions [*Svoistva productov gydratazii oksida calcija pri izmenenii uslovij gashenija izvesty*]. Izvestiya VUZOV. Building. 2000. No. 10. Pp. 70–74. (rus)
6. Kudayarova N.P., Ozhereleva A.Yu. The effect of gypsum additives on the quenching rate and dispersion of the products obtained [*Vlijanie dobavki gypsa na skorost gaschenija i dispersnost polutschaemch productov*]. Materials of the International Scientific and Technical Conference of Young Scientists. Belgorod: Publishing House of BSTU. V.G. Shukhov, 2017. [Electronic resource]. (rus)
7. Butt Yu.M., Sychev M.M., Timashev V.V. Chemical technology of binding materials. [*Himicheskaya tekhnologiya vyazhushchih materialov*]: studies. allowance. M.: High School. 1980, 472 p. (rus)
8. Shpynova L.G. Study of the properties of lime [*Issledovanie svojstv izvesti*]. Construction materials. 1985. No. 6. Pp. 26–27. (rus)
9. Kotelnikov Yu.V. The state and prospects of development of lime production. [*Sostojanie i perspectiva razvitiya proizvodstva izvesti*]. Construction materials. 2001. No. 5. Pp. 38–39. (rus)
10. Glukhovskiy V.D. Fundamentals of technology finishing, heat and waterproofing materials. [*Osnovy tekhnologii otdelochnyh, teplo- i gidroizolyacionnyh materialov*]. Kiev: Vitsa School. 1995, 288 p. (rus)
11. Butt Yu.M., Rashkovich L.N. Hardening binders at elevated temperatures. M.: Stroizdat. 1965, 223 p. (rus)
12. Kosenko N.F. Makarov V.V. Study of the process of slowing down the hydration of lime. [*Issledovanie processa zamedlenija gydratazii izvesti*] Chemistry and Chemical Technology. 2007. No 9. Pp. 101 (rus)
13. Kaftaeva M.V. Theory and practice of autoclaved aerated concrete [*Teoriya i praktika yachestnyh betonov avtoklavnogo tverdeniya*]. Belgorod: BSTU publishing house. 2012, 150 p. (rus)
14. Potgieter J.H., Potgieter S.S. An empirical study of factors influencing lime slaking. Part II: lime constituents and water composition. Water SA. 2003. Vol. 29. Pp 157–161.
15. Levchenko V.N. NAAG: 5 years of progressive development [*NAAG: 5 let postupatel'nogo razvitiya*]. SIC “Modern autoclaved aerated concrete”. Krasnodar. 2013. Pp. 4–8. (rus)

Information about the authors

Kudayarova, Nina P. PhD, Professor. E-mail: kudayarova@intbel.ru. Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, ul. Kostyukov, 46.

Ozhereleva, Anastasiya Y. Master. E-mail: ozhereljewa2010@yandex.ru. Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, ul. Kostyukov, 46.

Received in April 2019

Для цитирования:

Кудеярова Н.П., Ожерельева А.Ю. Влияние добавки гипса на качество композиционного вяжущего для изделий ячеистой структуры // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 6. С. 96–101. DOI: 10.34031/article_5d0a380978a0d8.85307277

For citation:

Kudayarova N.P., Ozhereleva A.Y. Effect of gypsum additive on quality of compositional binding for products of cellular structure. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 6. Pp. 96–101. DOI: 10.34031/article_5d0a380978a0d8.85307277

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/article_5d07863d89d1e9.79636729

^{1,*}Поляков А.Н., ¹Додоров А.И.¹Оренбургский государственный университет
Россия, 430005, г. Оренбург, пр. Победа, д. 13

*E-mail: anp_temos@mail.ru

МЕТОДИКА ВЫБОРА ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ НЕСУЩИХ СИСТЕМ СТАНКОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИХ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА

Аннотация. В работе представлена методика выбора твердотельных конечно-элементных моделей для несущих систем станков. Методика базируется на анализе результатов компьютерного моделирования различных вариантов моделей несущих систем трех станков различной компоновки. Вариативность моделей определялась учётом тяговых устройств и стыков в соединениях. Несмотря на то, что современные САЕ-системы для моделирования неидеального контакта в сопряжениях предлагают специальные контактные конечные элементы, в работе использован традиционный подход для моделирования неидеального стыка в виде совокупности упругих элементов. Проведенные вычислительные эксперименты показали, что несмотря на то, что наиболее точная модель получается при использовании моделей тяговых устройств и стыков, но в этом случае расчётная модель требует значительных вычислительных ресурсов. Было установлено, что исключение из расчётной модели несущей системы станка тяговых устройств может приводить к увеличенной погрешности моделирования в задачах статики до 25 %. Результаты модального и динамического расчётов оказываются более устойчивыми к вносимым изменениям в расчётную модель станка, так как погрешность расчётных параметров не превышает 10 %. Также было установлено, что расчётные модели с затянутым стыком, при жесткости более $1,6 \cdot 10^{10}$ Н/м, мало отличаются от моделей с идеальным контактом. Таким образом, было показано, что при допустимой 25 %-ной погрешности моделирования предпочтительно использования расчётной модели несущей системы без учёта неидеального контакта и тяговых устройств.

Ключевые слова: несущая система станка, расчётная модель, жесткость стыков, идеальный и неидеальный контакт, САЕ-системы

Введение. Актуальность современных САЕ-систем в проектировании сложных изделий машиностроения и, в том числе станков, в настоящее время в эпоху всеобщей цифровизации не вызывает сомнения. Вместе с тем за последние пять лет наблюдается дефицит отечественных исследований в этой области. По данным базы данных РИНЦ (российский индекс национального цитирования) поисковый запрос по методам конечных элементов и САЕ-системам позволил найти не более 1000 источников, из которых не более 30 представляют собой опубликованные научные статьи в области станкостроения за последние пять лет. При этом работ, из которых хотя бы можно сформировать представление о реализуемых направлениях проводимых авторами исследований, оказалось еще меньше [1–12]. В первую очередь это объясняется серьезным снижением объема проектных работ, выполняемых в отрасли. Вместе с тем практическое осуществление сформулированного президентом

Российской Федерации «научно-технологического прорыва» неизбежно приведет к оживлению интереса к высокотехнологичным автоматизированным системам инженерного анализа, как важнейшего компонента современных передовых технологий. Например, для получения оценки актуальности этого направления исследований в мире, только в одном издательстве Springer поисковый запрос «machine tools CAE» (machine tools - металлорежущие станки, CAE – Computer Aided Engineering в технике принятый перевод с английского языка «компьютерный инженерный анализ» – прим. авторов) приводит к открытию доступа к более чем 26000 источникам.

Традиционным направлением применения САЕ-систем является получение оценок для различных характеристик несущей системы станка: статических, модальных, динамических и тепловых.

Например, в работе [2] был выполнен анализ модальных характеристик крупногабаритного фрезерно-сверлильно-расточного станка модели МСП6401 (республика Беларусь). Станок массой более 30 тонн оснащен подвижной стойкой, по которой перемещается каретка с горизонтальным ползуном. В работе представлены результаты численного моделирования и натурных испытаний станка. Конечно-элементная модель несущей системы станка учитывала не только жесткость корпусных деталей, но и податливость подшипников, приводов подачи и направляющих. Модальный анализ выявил восемь резонансных частот в диапазоне от 12 до 78 Гц.

По мнению авторов работы [5] жесткость упругой системы станка наиболее точно определяется в ходе натурных испытаний. Однако, ввиду высокой стоимости, трудоёмкости и сложности используемого для натурных испытаний оборудования, этот подход следует использовать в крайних случаях. В качестве не менее надёжного, но альтернативного подхода, авторы работы считают возможным использование CAE-систем. Вместе с этим, из текста работы сложно представить реализованную в исследовании конечно-элементную модель станка, а также не представлены количественные оценки полученных результатов исследования.

В работе [12] выполнен анализ жесткости станка модели 5320Ф4 (разработчики: МГТУ «СТАНКИН» и ОАО «САСТА»). Расчет деформаций базовых деталей системы выполнялся с использованием метода конечных элементов (МКЭ) приложения Simulation пакета SolidWorks. Расчетная модель построена с использованием комбинированной сетки конечных элементов, включающей стержневые, оболочечные, объемные и конечные элементы типа «пружина». В работе представлены количественные оценки полученных результатов.

Несущая система станка оказывает существенное влияние на производительность обработки. Поэтому особую важность приобретают механические характеристики несущей системы станка, особенно для прецизионного оборудования. Так в работе [13] предложен новый метод проектирования несущих систем станков. Метод реализован при проектировании ультрапрецизионного станка, реализующего процесс резания «летучим» резцом. Метод учитывает, на этапе проектирования, влияние, как полагают авторы, всех механических компонентов, в том числе и сервоприводов, на производительность обработки и шероховатость обрабатываемой поверхности. В работе представлена интегрированная динамическая модель несущей системы станка,

которая использована для оптимизации гидростатических направляющих станка. В качестве основной цели задачи оптимизации каретки направляющей принималось уменьшение её массы. Так как проектируемый станок оснащается линейными приводами, то жесткость каретки имеет существенное значение для функциональности этих приводов. Магнитное притяжение между статором и ротором привода составляет порядка 0,2 МПа, при малой жесткости каретки зазор между статором и ротором уменьшится ввиду деформации каретки, что может привести к повреждению линейного привода. В качестве базовой модели каретки использовалась конечно-элементная модель. В результате масса каретки сократилась с 436 до 225 кг. При этом жесткость направляющих даже незначительно увеличилась. Также в работе была построена конечно-элементная модель несущей системы станка для прогнозирования влияния динамики несущей системы станка на топографию обработки. При построении модели учитывалось влияние болтовых соединений и податливость опор. Для этого в модели использовались контактные элементы Conta173 и Target170. Пружины использовались в моделировании бесконтактных соединений – аэростатическом шпинделе и гидростатических направляющих.

Конструкция поперечины в современных компоновках станков типа «Гентри» имеет решающее значение для обеспечения их выходной точности [14]. Для решения этой проблемы авторы при построении оптимизационной модели использовали методы серого анализа и аналитической иерархии. В работе проводился конечно-элементный анализ при построении динамических характеристик поперечин четырех компоновок. По результатам решения задачи оптимизации была определена одна оптимальная компоновка поперечины. После проведения анализа чувствительности были выбраны приемлемые проектные параметры и создана оптимизационная модель поперечины. После решения задачи оптимизации было сформировано шесть групп с решениями не значительно отличающихся друг от друга. Оптимальное решение, из которых, было получено решением задачи оптимизации методом, основанным на сером реляционной анализе. Результаты натурных экспериментов показали рост значений для первых четырех собственных частот на 17,56 %, 19,36 %, 17,04 % и 19,58 % соответственно.

В работе [15] предложен новый метод многокритериальной оптимизации проектирования, направленный на улучшение статических и динамических характеристик элементов несущей си-

стемы станка, а также снижение их массы. Предложенный метод оптимизации базируется на адаптации методов ортогонального экспериментального проектирования и анализа поверхности отклика. При этом решение задачи оптимизации основано на модифицированном алгоритме роя частиц и методе серого реляционного анализа. Предложенный метод оптимизации был использован для проведения многокритериальной оптимизации салазок станка типа «Гентри». Построение поверхности отклика проводилось с использованием конечно-элементного анализа. После подтверждения точности модели оптимизации на поверхности отклика, используя алгоритм оптимизации роя частиц, было выделено пять групп равнозначных решений. Затем оптимальное проектное решение для салазок было выбрано с использованием серого реляционного анализа.

В работе [16] отмечается, что на этапе проектирования станка актуально иметь возможность прогнозирования термомеханического поведения его несущей системы. Производительность высокоскоростного станка зависит не только от его жесткости, но и его теплового поведения. Особое значение имеют механические и тепловые характеристики стыков несущей системы станка. Авторами представлена термомеханическая модель станка с использованием конечно-элементного анализа. В отличие от методов других исследователей, в которых особое внимание уделено изучению каких-то одних типов стыков, в предложенной авторами модели рассмотрены стыки различных типов. Для повышения точности расчета в модели реализован совместный учёт контактной жесткости и теплового контактного сопротивления стыков. Из натурных испытаний трехкоординатного бесконечного станка было установлено, что тепловая погрешность по оси X медленно меняется во времени. Ввиду симметричности несущей системы относительно оси Z максимальная величина тепловой погрешности составила 10 мкм. Максимальная величина тепловой погрешности по осям Y и Z составила 65 и 110 мкм, соответственно. Уровни установившихся значений были достигнуты почти после трёх часов непрерывной работы станка. Ошибка моделирования для температурного поля несущей системы станка составила чуть более 10 %, а для температурных деформаций – чуть менее 65 %. Убедительного объяснения такой погрешности моделирования авторами не представили.

В работе [17] представлен новый метод комбинации генов, базирующийся на сложной сети, используемый на этапе получения различных компоновочных решений при проектировании станков. Предложенный метод позволяет

представить компоновку станка как структуру, представленную несколькими генами, построенную в виде сети, имеющей отдельные узлы, рёбра и веса. Модель такой сети строится для описания взаимосвязей между структурными элементами несущей системы станка как между отдельными генами. Это объясняется тем, что возникающие свойства между отдельными компонентами несущей системы станка могут быть описаны на основе генного алгоритма. Для оценки эффективности построенной сети, используемой для определения возможных компоновочных решений станка, рассчитывались соответствующие показатели. В представленном исследовании метод конечных элементов использовался для проведения модального расчета сконфигурированной оптимальной компоновки. Сравнительный анализ модальных характеристик четырех итоговых компоновок токарно-фрезерного станка с инструментальным шпинделем, подтвердили эффективность предложенного авторами метода.

Жесткость станков при резании имеет большое значение в обеспечении точности обработки. Поэтому по-прежнему актуально исследование жесткости станка в его рабочем пространстве. В работе [18] представлен новый подход к построению поля статической жесткости станка в его рабочем пространстве. В рамках предложенного метода создается параметрическая модель для проектирования и оценки статической жесткости высокопроизводительного станка с ЧПУ с учетом статической жесткости в шести направлениях. Погрешности обработки прогнозируются при учете различных схем нагружения станка. Кроме того, в работе изучается влияние статической жесткости на погрешность обработки в шести направлениях на предмет получения возможных решений, приводящих к их уменьшению. Оценка эффективности разработанного метода проводилась путем сравнения результатов конечно-элементного анализа и натурных экспериментов прецизионного сверлильно-фрезерно-расточного обрабатывающего центра горизонтальной компоновки ТНМ46100 (производитель Shenji Group, Китай). Натурные испытания проводились при концевом фрезеровании со скоростью резания равной 50 м/мин и рабочей подачей – 0,05 мм/зуб. Максимальные расхождения экспериментальных и расчетных данных составили около 7,6 %.

Работа [19] даёт хорошее представление о проводимых исследованиях в области мониторинга температурной погрешности тяжелых станков за период с 1973 года по настоящее время. Наряду с работами, связанными с натурными исследованиями, приведены результаты

исследований, в которых использованы плоские и объемные конечно-элементные модели.

В работе [20] представлен известный подход, в котором решается задача параметрической оптимизации несущей системы станка, представленной конечно-элементной моделью. В качестве объекта исследования использован четырехосевой горизонтальный обрабатывающий центр с архитектурой несущей системы «box-in-box» («коробка в коробке»). Решение задачи оптимизации позволило свести к минимуму массу станка при обеспечении необходимой жесткости несущей системы. Конечно-элементная модель была построена на твердотельных и пружинных элементах. Для создания геометрической модели несущей системы станка авторы использовали Pro/ENGINEER. Построение сеточной модели и численное моделирование реализовывали в системе Ansys. Для решения задачи параметрической оптимизации для конечно-элементной модели использован специальный коммерческий продукт iSIGHT (разработчик Dassault Systems). Этот продукт объединяет компоненты CAD и CAE с помощью командных и текстовых файлов. Так пакетный файл «GoProE.bat» вызывает Pro/ENGINEER для чтения файла проектных переменных конструкций и обновления геометрической модели. Затем модель автоматически экспортируется в формат Parasolid. Запуск следующего командного файла «GoAnsys.bat» приводит к запуску ANSYS, исполнению APDL-файла и формированию результатов конечно-элементного моделирования. Таким образом, программный продукт iSIGHT выступает в качестве контроллера, который управляет циклом «геометрическая модель – инженерный анализ – перестроение геометрической модели».

В работе [21] представлены основные направления в области конструирования металлорежущих станков, а также существующие и перспективные направления создания интеллектуальных станков, обеспечивающие высокую производительность и точность обработки. В работе обсуждается роль моделирования эксплуатационных свойств при совершенствовании конструкции современных станков и повышении точности обработки. Большое внимание в работе уделено техническим и экономическим аспектам энергоэффективности станков и процессам резания. Авторы отмечают, что в настоящее время численное моделирование особенно эффективно на ранних этапах проектирования станков. При этом уровень развития систем компьютерного моделирования позволяет достаточно точно производить оценку статических, динамических и тепловых свойств, источников возмущений и их взаимного влияния на деформации и смещения в

управляемых осях станка. При этом в настоящее время особое значение в компьютерном моделировании станков приобретают полные модели, описывающие статические, динамические и тепловые процессы. Современные системы моделирования базируются на больших специализированных базах данных и объединяют множество программных инструментов. В работе представлен пример такой системы, организованной в среде SIMULINK с внедренными конечно-элементными моделями. Система разработана для проведения комплексного анализа несущей системы станка и его системы управления. Авторы приводят к выводу, что передовые знания в области проектирования станка и совершенствование их механических, мехатронных, управляющих и других комплексных рабочих функций являются ключом в определении различных направлений развития перспективных образцов станков с ЧПУ.

Появление производственных систем, основанных не просто на согласованном использовании в технологическом процессе нескольких станков, но имеющих общее рабочее пространство, ставит новые задачи по обеспечению заданной точности позиционирования. В работе [22] рассмотрена такая производственная система, состоящая из двух одинаковых пятиосевых станков. Представлен новый метод, реализующий прогнозирование и компенсацию квазистатических погрешностей обработки, сформированных при изменяющейся температуре окружающей среды в диапазоне от 20 до 30 °С. В работе метод конечных элементов использован для моделирования несущих систем станков и общего рабочего пространства. При этом авторы использовали твердотельные элементы (Brick element) как для моделирования несущих систем станков, так и общего рабочего пространства. Величина компенсации тепловой ошибки при этом составила более 70 %.

Таким образом, представленный обзор позволяет сформулировать следующие выводы:

- метод конечных элементов, как основа современных CAE-систем, по-прежнему остаётся актуальным и востребованным в мировой практике научных исследований;

- наблюдается тренд к интеграции CAE-систем с различными автоматизированными системами вычислений, например, Simulink;

- в конечно-элементном моделировании станков наблюдается тенденция как в усложнении используемых геометрической моделей, так и описании различных физических процессов, оказывающих влияние на выходные параметры станка;

– остаётся по-прежнему востребованной решение задачи оптимизации несущей системы станка по совокупности критериев, при этом решение задачи оптимизации выполняется с использованием конечно-элементного представления несущей системы станка;

– при разработке конечно-элементной модели предпочтительными являются твердотельные элементы;

– расчетные модели несущих систем станков учитывают неидеальный стык в соединениях и сопряжениях поверхностей.

Сформулированные из анализа современных исследований выводы, а также собственная практика математического моделирования несущих систем станков, отраженная в отдельных работах [11, 23], позволила сформулировать проблему исследования в области конечно-элементного моделирования несущих систем станков: рассмотреть эффективность упрощения расчетной конечно-элементной модели. При этом в качестве критерия эффективности используется погрешность моделирования по сравнению с полной или наиболее сложной моделью. Количественная оценка устанавливается равной 10 %.

Решение данной проблемы связано с тем, что с одной стороны проведение конечно-элементного анализа характеризуются существенными затратами вычислительной мощности. С другой стороны, всё больший объем исследований в мире направлен на решение различного рода оптимизационных задач, эффективность которых существенно зависит как от количества выполняемых итераций, так и от их длительности. При прочих равных условиях это приводит к требованию минимизации размера конечно-элементной модели, используемой на каждой итерации.

Методология исследования. При проведении исследования были построены расчетные модели трех станков: сверлильно-фрезерно-расточной 400V (НПО «Станкостроение», Стерлитамак), HAAS TM-1P и HAAS ST-10Y (HAAS, США). Станки установлены в лаборатории кафедры технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов Оренбургского государственного университета. В разной степени станки авторами были исследованы на холостом и рабочих ходах [24].

На первом этапе исследований был разработан план проведения вычислительных испытаний (табл.1).

Таблица 1

План вычислительного эксперимента

| Модели станков | Виды моделей и типы расчетов | | | | | | | | | |
|------------------------|------------------------------|------------|---|---|---|------------------------------|------------|---|---|---|
| | На упругих опорах без стыков | | | | | На упругих опорах со стыками | | | | |
| | С винтами | Без винтов | | | | С винтами | Без винтов | | | |
| | | A | X | Y | Z | | A | X | Y | Z |
| 400V, TM-1P, ST-10Y | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C |
| | M | M | M | M | M | M | M | M | M | M |
| | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D |

Примечание: А – без всех винтов; X – винт по оси X; Y – винт по оси Y; Z – винт по оси Z; C – статический; M – модальный; D – динамический.

В предлагаемом исследовании под полной моделью понималась конечно-элементная модель, в которой: была реализована геометрическая модель, максимально приближенная к конструкции станка; смоделирована винтовая передача в качестве тягового устройства по соответствующей оси станка; смоделированы стыки.

Рассматривались следующие варианты упрощения расчётной модели: отсутствие моделей винтов (категория «без винтов», табл. 1); отсутствие моделей стыков в соединениях и сопряжениях поверхностей (категория «без стыков», табл. 1).

При моделировании несущих систем станков на предварительном этапе используют жёсткие опоры, т.е. опоры с нулевой податливостью.

Но так как этот этап используется только для контроля корректности разработанной базовой расчетной модели, то в табл. 1 используется категория «на упругих опорах».

Дополнительные варианты расчётных моделей формировались при учёте всех винтов или только по отдельным координатам. Также варьировались количественные параметры для жесткости в сопряжениях и опорных элементах. При этом экспериментальные значения жесткости стыка в сопряжениях контактирующих поверхностей в открытой печати фиксировались в диапазоне от $1,5 \cdot 10^7$ до $1,6 \cdot 10^{10}$ Н/м [18, 25]. Для направляющих качения средние значения

можно принять на уровне $2 \cdot 10^9$ Н/м [18]. Максимальные значения, из заявленных в работе значений жесткости, принимались для затянутых стыков. Жесткость опорных элементов варьировалась в диапазоне от $3 \cdot 10^6$ до $3 \cdot 10^8$ Н/м. Базовый расчет выполнялся при значениях жесткости опорных элементов, равной $3 \cdot 10^7$ Н/м.

На втором этапе исследований проводилась серия расчётов с вариацией различных жесткостных параметров и занесение результатов расчётов в табл. 2.

Таблица 2

Результаты моделирования

| Модели станков | | Виды моделей и типы расчетов | | | | | | | | | |
|--|-------------|--|--|--|---|--|--|---|--|--|--|
| | | На упругих опорах без стыков | | | | | На упругих опорах со стыками | | | | |
| | | В, для k_{on1} , k_{on2} , k_{on3} | Без винтов | | | | В, для k_{cm1} , k_{cm2} , k_{cm3} | Без винтов | | | |
| А, для k_{on1} , k_{on2} , k_{on3} | X | | Y | Z | А, для k_{cm1} , k_{cm2} , k_{cm3} , k_{on2} | X | | Y | Z | | |
| 400V | С, мкм | 28,3 94,3 24,6 | 34,9 95,3 31,5 | 27,3 | 30,0 | 28,4 | 29,2/35,8 82,0/95,4 | 37,4/43,6 86,5/96,6 | 28,2 | 31,3 | 28,2 |
| | Частоты, Гц | 119/24 180/51 | 63/7 126/17 188/25 267/39 281/41 288/43 | 63/24 126/51 188/75 266/117 281/124 287/129 | 42/16 115/43 156/65 212/86 229/103 279/127 | 64 127 189 264 284 289 | 63/61/49/24 124/110/64/51 86/183/156/74 265/245/163/117 281/255/186/123 282/263/209/129 | 63/61/48/24 124/108/61/51 188/183/155/75 263/238/158/117 278/252/177/123 281/258/205/129 | 63/62 125/116 188/186 265/254 280/267 284/272 | 64/62,4 125/116 189/187 261/251 279/268 286/271 | 70/69 153/136 199/194 270/259 |
| | С, мкм | 16,0 53,5 16,1 | 15,4 54,5 15,7 | – | 15,8 | 16,0 | 5,7/15,7/15,8/15,2 | 16,3 17,0 20,7 16,8 | – | 16,8 | 15,8 |
| | Частоты, Гц | 82/45 99/57 217/108 256/181 | 82/45 99/57 217/109 256/181 | – | 82 99 216 256 | 82 99 216 256 | 82/82/49/44 98/98/77/56 216/214/142/108 255/251/180/180 | 81/74/49/44 98/93/77/56 214/198/142/108 252/232/180/179 | – | 81/82 98/98 216/216 255/255 | 82/82 99/99 215/214 254/252 |
| ST-10Y | С, мкм | 83,3 87,5 85,4 | 85,8 89,3 85,4 | 83,7 | – | 91,2 | 84,9 87,6 95,7 83,9 | 84,9 84,9 116,0 95,7 | 83,7 | – | 91,4 |
| | Частоты, Гц | 129/55 181/72 185/83 237/139 276/151 | 129/55 183/73 186/83 245/139 276/151 | 129/55 181/72 184/83 235/138 274/150 | – | 98/55 126/68 186/83 215/117 241/139 259/158 | 128/123/86/55 180/172/121/72 185/182/162/83 237/229/197/138 274/254/207/150 | 129/124/91/54 181/173/120/72 185/182/158/83 242/227/183/138 273/251/199/150 | 127/121 164/159 183/180 233/225 268/251 297/286 | – | 89/61 125/115 185/180 214/211 237/217 255/230 |

Примечание: А – модель без всех винтов; В – модель с винтами; Х – модель без винта по оси Х; Y – модель без винта по оси Y; Z – модель без винта по оси Z;
 $k_{cm1}, k_{cm2}, k_{cm3}$ – три варианта значений жесткости стыка, Н/м: $k_{cm1} = 1,6 \cdot 10^{10}$, $k_{cm2} = 2 \cdot 10^9$, $k_{cm3} = 2 \cdot 10^8$; $k_{on1} = 3 \cdot 10^7$, $k_{on2} = 3 \cdot 10^6$, $k_{on3} = 3 \cdot 10^8$.

Статический расчёт («С», табл.1) для моделей без стыков выполнялся для трёх значений жёсткости опорных элементов k_{on1}, k_{on2} и k_{on3} . Значения для соответствующих параметров жесткости представлены в табл. 2. Статический расчет для моделей со стыками проводился при вариации трех параметров жесткости стыков $k_{cm1}, k_{cm2}, k_{cm3}$ и двух параметров жесткости опорных элементов k_{on1}, k_{on2} . Вариация параметров жесткости в этом случае осуществлялась следующим образом: при неизменяемом параметре

жесткости опорного элемента k_{on1} проводилась серия расчётов для трех параметров жесткости $k_{cm1}, k_{cm2}, k_{cm3}$. Четвертый расчет проводился для параметра жесткости k_{on2} и жесткости стыка k_{cm2} .

Модальный расчет («М», табл.1) для моделей без стыков выполнялся для параметра жесткости k_{on1} и k_{on2} . Модальный расчет для моделей со стыками проводился при той же вариации параметров жесткости, что и статический.

Динамический расчёт («Д», табл.1), учитывая большой объём вычислений, проводился при меньшем числе вариаций параметров жесткости. В расчётах использовали только два варианта параметров жёсткости для стыков k_{cm1}, k_{cm2} и два параметра жесткости для опорных элементов k_{on1}, k_{on2} .

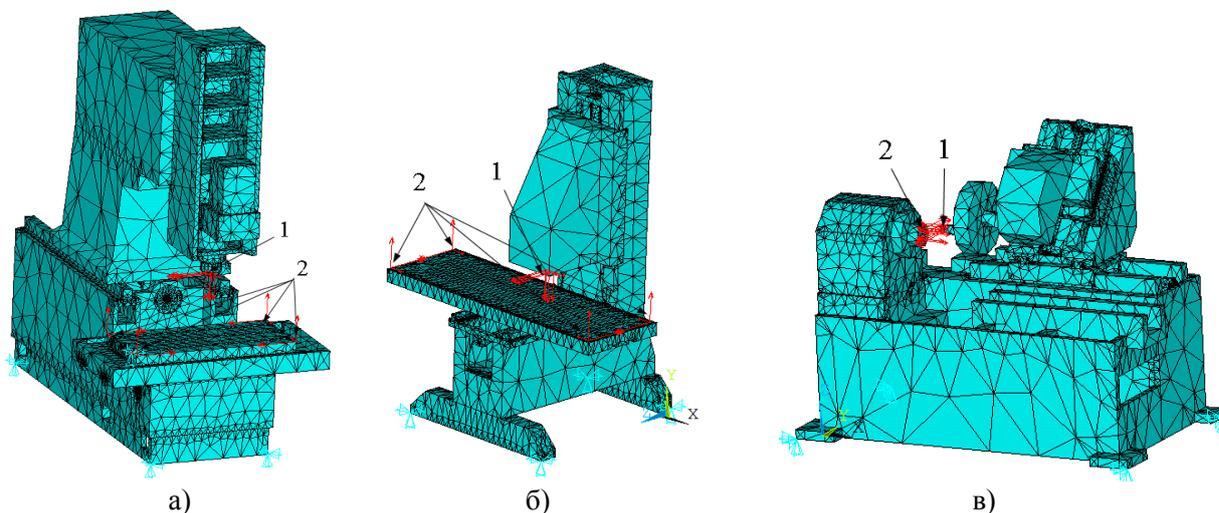


Рис. 1. Расчётные модели несущих систем станков с нагрузкой: а–400V; б–ТМ-1Р; в– ST-10Y

При построении моделей использовались два типовых элемента Solid185 и Combin14. Элемент Solid185 – твердотельный восьмиузловой элемент, имеющий три степени свободы в каждом узле, используемый во всех типах задач инженерного анализа станка. Элемент Combin14 – пружина с продольной жесткостью, используется как для моделирования опорных элементов станка, так и в сопряжениях поверхностей при моделировании неидеального стыка [11, 26]. Этот элемент также может быть использован при решении различных типов задач инженерного анализа станка.

Число конечных элементов в наиболее сложной расчетной модели станка 400V составило чуть менее 221500, при почти 50000 узлов. Для самой упрощенной модели этого станка число элементов составило около 76000, что почти в три раза меньше, чем в полной модели. Число узлов составило чуть более 21000, что более чем в два раза меньше, чем в полной модели. Эти сокращения размерности расчетных моделей позволяют существенно снизить вычислительные затраты как по длительности вычислений, так и по объему используемой виртуальной памяти. Это особенно актуально при выполнении динамического расчета несущей системы станка и многовариантных вычислений. Длительность расчета одной итерации в динамическом расчете для самой компактной из представленных моделей составила 10,2 с (станок ТМ-1Р, число узлов

– 14511). Объем использованной виртуальной памяти для результатов динамического расчета при 100 итерациях составил чуть более 8 Гбайт. При динамическом расчете полной модели станка 400V требовалось более 56 Гбайт, при длительности расчета одной итерации более 25 с (вычисления выполнялись на одном компьютере).

Основная часть. Разработанные расчётные модели трех станков представлены на рис. 1, результаты вычислений сведены в табл. 2. Приложенные нагрузки на рис. 1 пронумерованы.

В табл. 2 прочерки в результатах расчета обусловлены конструктивными упрощениями геометрической модели несущей системы станка за счёт исключения тягового устройства вдоль соответствующей оси. С одной стороны это приводило к некоторому несоответствию расчётной модели с реальной конструкцией. С другой стороны это упрощение в моделях является допустимым, если не ставится задача выявления влияния конструктивных особенностей станка на его эксплуатационные параметры. Аналогичные допущения известны и в мировой практике [27].

Анализ результатов статического расчёта для модели 400V показал, что для наиболее полной модели, учитывающей тяговые устройства по всем осям и стыки, максимальные перемещения составили 29,2 мкм, а для такой же модели, но с идеальными стыками (в табл.2 категория «без стыков») расчёт показал 28,3 мкм. Расхождение результатов моделирования не превысило 5 %. Исключение из моделей винтов действительно привело к некоторому росту перемеще-

ний, более 20 %. Однако, увеличение податливости стыков приводит к снижению этого расхождения. При этом, исключение из модели одного из тяговых устройств не приводит к устойчивым и заметным изменениям деформированного состояния станка.

На рис. 2 представлено контурное представление результатов статического расчета для четырех вариантов расчётных моделей станка 400V. Их анализ показывает, что независимо от полноты учёта конструктивных элементов и особенностей соединений сопрягаемых деталей,

принципиальных изменений в характере деформированного состояния не наблюдается.

Для двух других моделей станков результаты статического расчета вообще не выявили влияние неидеальных стыков на изменения статических характеристик станка при высоких значениях жесткости стыков.

Снижение жесткости стыков в диапазоне от $2 \cdot 10^8$ до $2 \cdot 10^9$ Н/м приводит к заметному росту перемещений.

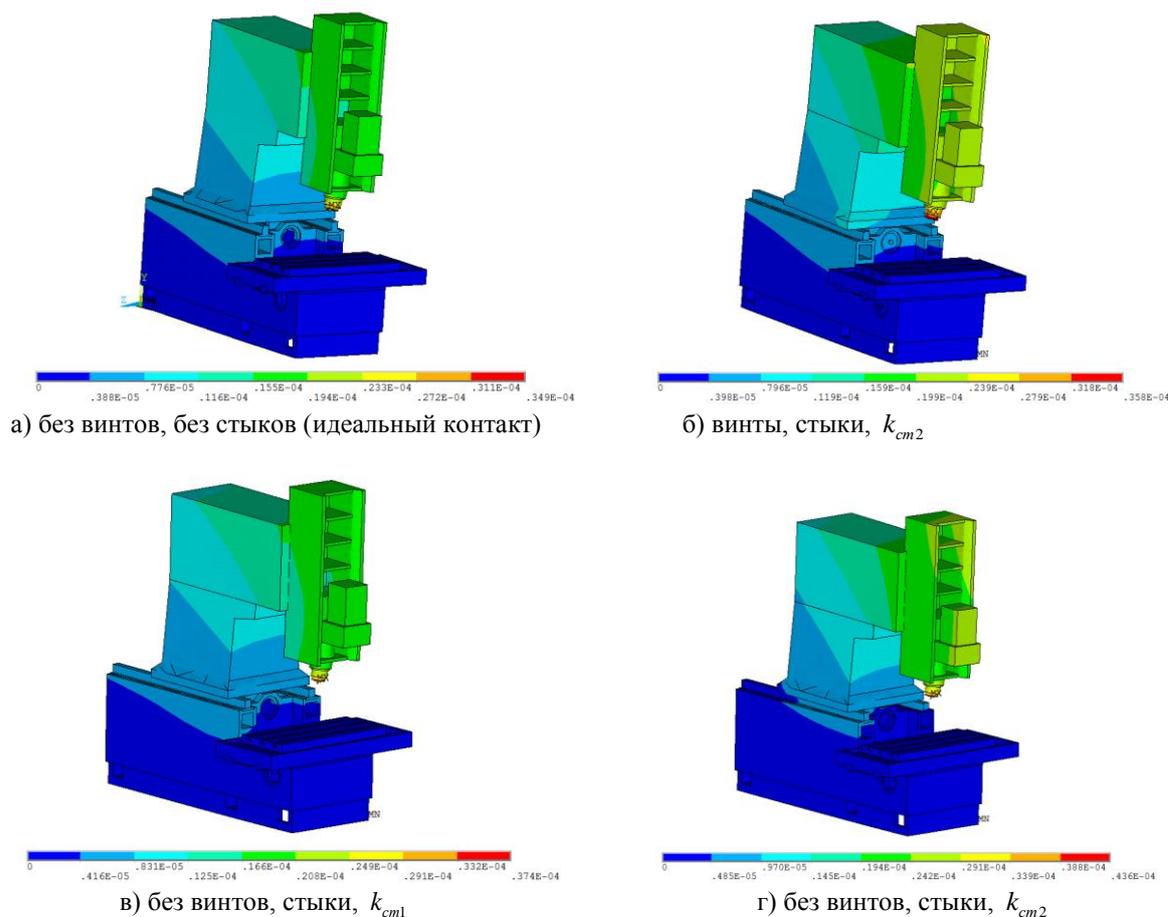


Рис.2. Деформированное состояние станка 400V

Анализ результатов модального расчёта выявил следующие закономерности:

– для расчётных моделей станка 400V, в которых отсутствовали модели тяговых устройств, наблюдались малосущественные различия в модальных параметрах несущей системы станка, для затянутых стыков;

– для расчётных моделей, учитывающих неидеальный контакт в сопрягаемых соединениях, учёт тягового устройства не выявил существенных изменений в модальных параметрах несущей системы станка;

– наиболее заметные изменения модальных параметров несущей системы станка наблюдались для сильно ослабленных стыков в диапазоне жесткости стыков от $2 \cdot 10^8$ до $2 \cdot 10^9$ Н/м.

– снижение жесткости опорных элементов станка оказывало более значительное влияние на изменение соответствующих модальных параметров, чем изменение жесткости стыков.

Для расчётных моделей станков HAAS TM-1P и ST-10Y было установлено, что изменение модальных параметров минимально для перехода от более подробной модели к менее подробной. Например, исключение из расчётной модели тяговых устройств, в варианте, не учитывающем стыки, практически не привело к изменениям модальных параметров. Для моделей, учитывающих неидеальный контакт, рассогласование модальных параметров не превысило 10 % .

Для анализа результатов динамического расчёта были построены амплитудно-частотные характеристики (АЧХ). Их анализ показал, что, несмотря на некоторые качественные расхождения АЧХ в моделях, представленных в табл.2, их количественная оценка мало меняется.

На рис. 3 представлены АЧХ для различных моделей несущей системы станка 400V с идеальным контактом в соединениях (рис. 3, а и 3, г) и затянутыми стыками (рис. 3, б и рис. 3, в) Для затянутого стыка жесткость в соединениях составляет $1,6 \cdot 10^{10}$ Н/м [25].

Например, на рис. 3, а представлена АЧХ для модели несущей системы станка, содержащей модели тяговых устройств и реализующей идеальный контакт в соединениях. Модальный расчёт показал, что в диапазоне от 0 до 300 Гц были выявлены только две собственные частоты. Это было подтверждено в ходе анализа построенного

графика АЧХ по результатам динамического расчёта – проявилось только два пика на соответствующих частотах.

На рис. 3, б график АЧХ для наиболее полного варианта модели несущей системы станка содержит пять ярко выраженных пиков, хотя модальный анализ показал наличие шести собственных частот. Это означает, что одна из собственных частот, равная 265 Гц, в рассматриваемой точке системы не проявилась.

Уменьшение жесткости опорных элементов привело к существенному сдвигу влево спектра частот и пиков на графике АЧХ, соответственно (рис. 3, в).

Интересный результат был получен для варианта несущей системы с идеальным контактом, но без учёта тяговых устройств (рис. 3, г). АЧХ в этом варианте модели принципиально отличалась от АЧХ, полученных для вариантов моделей, учитывающих неидеальный контакт.

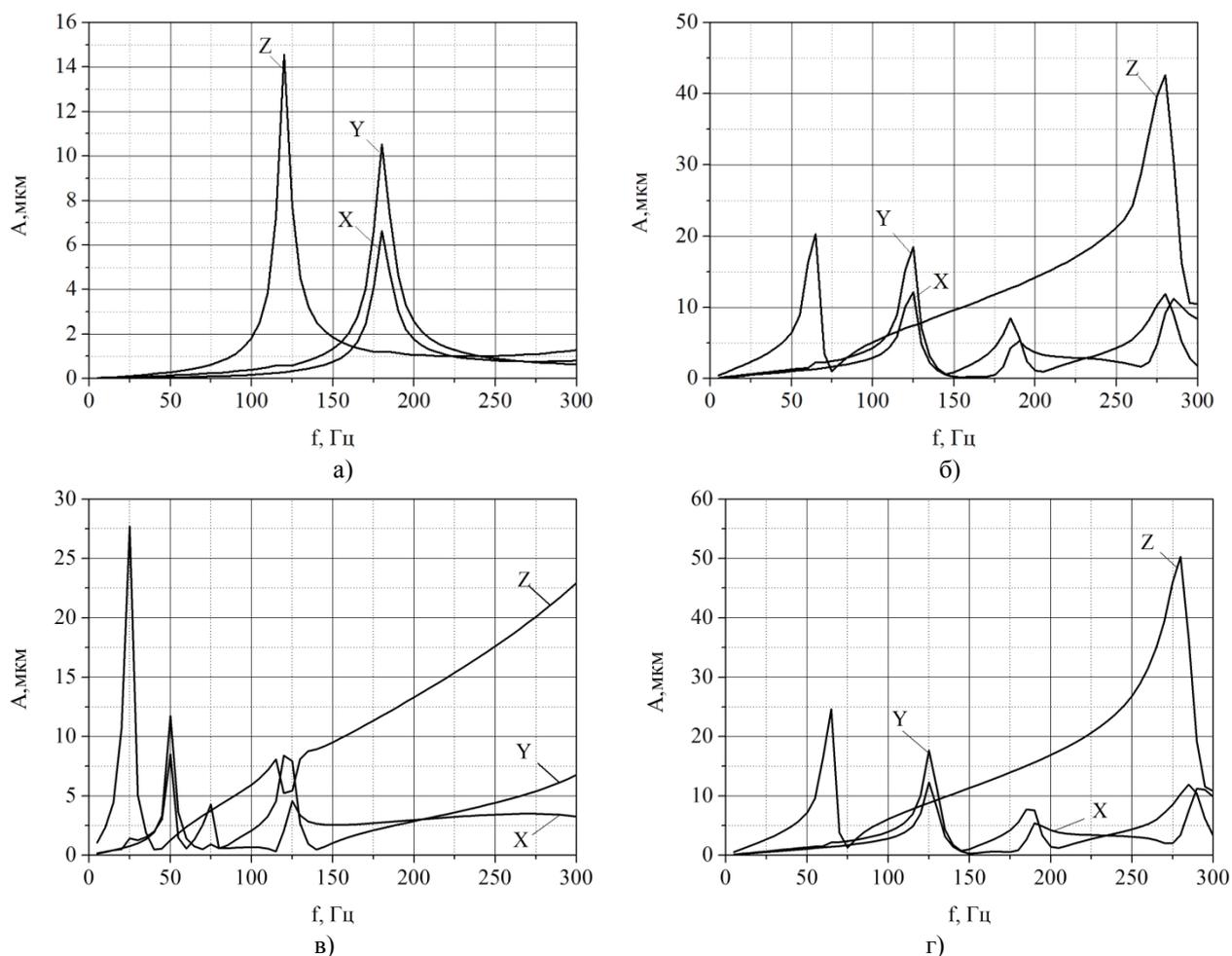
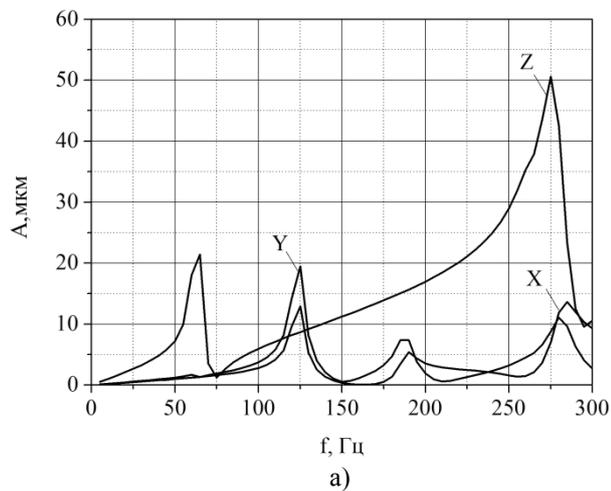


Рис. 3. Результаты динамического расчета 400V, жесткость стыка k_{cm1} : а – в модели учтены все винты, но без стыков; б – в модели учтены все винты и стыки, $k_{cm1} = 1,6 \cdot 10^{10}$ Н/м; в – в модели учтены все винты и стыки, $k_{cm1} = 1,6 \cdot 10^{10}$ Н/м, $k_{on2} = 3 \cdot 10^6$ Н/м; г – модель без стыков без винтов

На рис. 4 приведены графики АЧХ для четырех вариантов моделей несущих систем станка 400V, различающихся учётом тяговых устройств

по соответствующим координатам станка. Во всех представленных на рис. 4 вариантах моделей жесткость стыков составляла k_{cm1} .

На рис. 4, а представлен график АЧХ для варианта модели, в которой стыки учтены, но исключены все модели тяговых устройств. График АЧХ в этом случае мало отличается от графика АЧХ для варианта модели, наоборот учитывающей все тяговые устройства (рис. 3, б). Как показал анализ последующих графиков АЧХ (рис. 4,



б, в, г), исключение из модели одного из тяговых устройств, приводило к некоторому качественному изменению вида графика АЧХ. Наиболее заметное изменение имеет график АЧХ для варианта модели, в которой исключено тяговое устройство по оси Z.

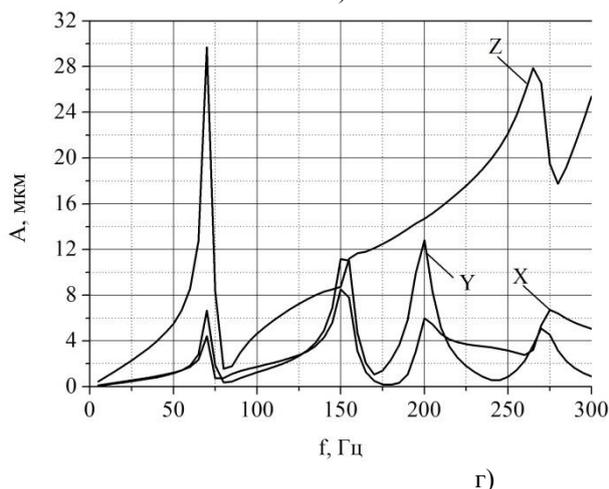
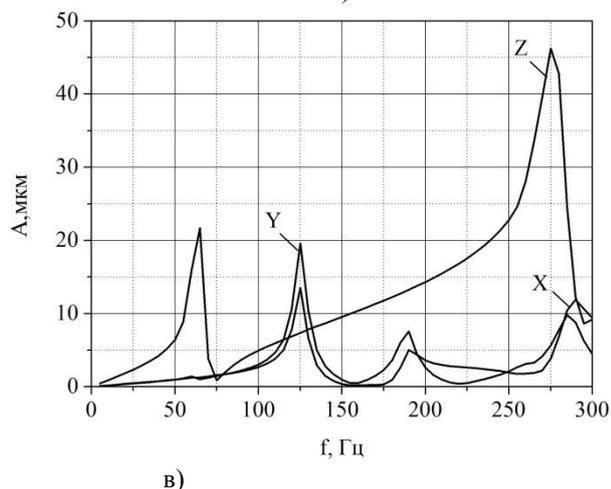
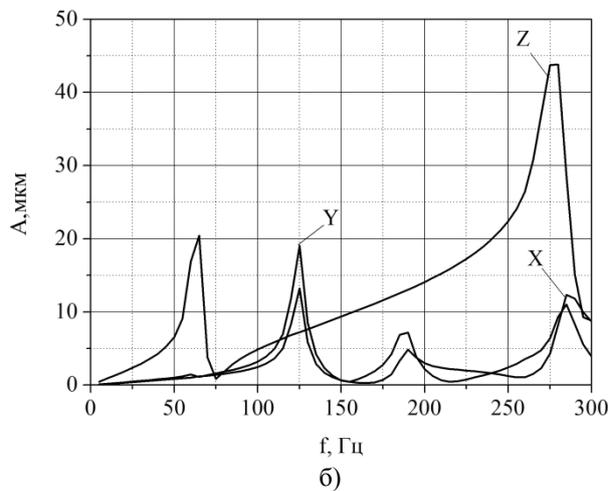


Рис. 4. Результаты динамического расчета 400V, жесткость стыка k_{cm1} : а – модель без винтов со стыками; б – модель без винта вдоль оси X со стыками; в – модель без винта вдоль оси Y со стыками; г – модель без винта вдоль оси Z со стыками

Во всех, представленных на рис. 3 и рис. 4, результатах моделирования максимальная величина динамических перемещений элементов несущей системы станка не превысила 50 мкм, что хорошо укладывается в диапазон шероховатостей для чернового фрезерования от $Ra\ 25$ до $Ra\ 6,3$. Это означает, что независимо от используемого варианта модели несущей системы, черновая обработка реализуется для всех вариантов моделей, так как динамические характеристики оценивались при максимальных значениях сил резания.

На рис. 5 представлены результаты расчётов для жесткости стыков k_{cm2} . В этом случае величина динамических перемещений возросла в отдельных вариантах моделей почти в два раза. Однако, анализ графиков АЧХ показывает, что в

диапазоне частот вращения шпинделя от 0 до 3000 об/мин черновая обработка может быть реализована приблизительно с одинаковой шероховатостью независимо от применяемых в моделировании моделей несущей системы станка.

Были выполнены дополнительные расчёты при действии сил, характерных для отделочной обработки (графики не приведены, так как они отличались только количественно). В этом случае амплитуды динамических перемещений упали почти на порядок. Характер сформированных АЧХ показал, что, при частотах вращения шпинделя до 12000 об/мин можно обеспечить шероховатость, не превышающей значений $Ra\ 0,63$. При этом, существуют области увеличенных динамических податливостей в диапазоне от 3000 до 7000 об/мин, в которых шероховатость увеличится до $Ra\ 0,8$.

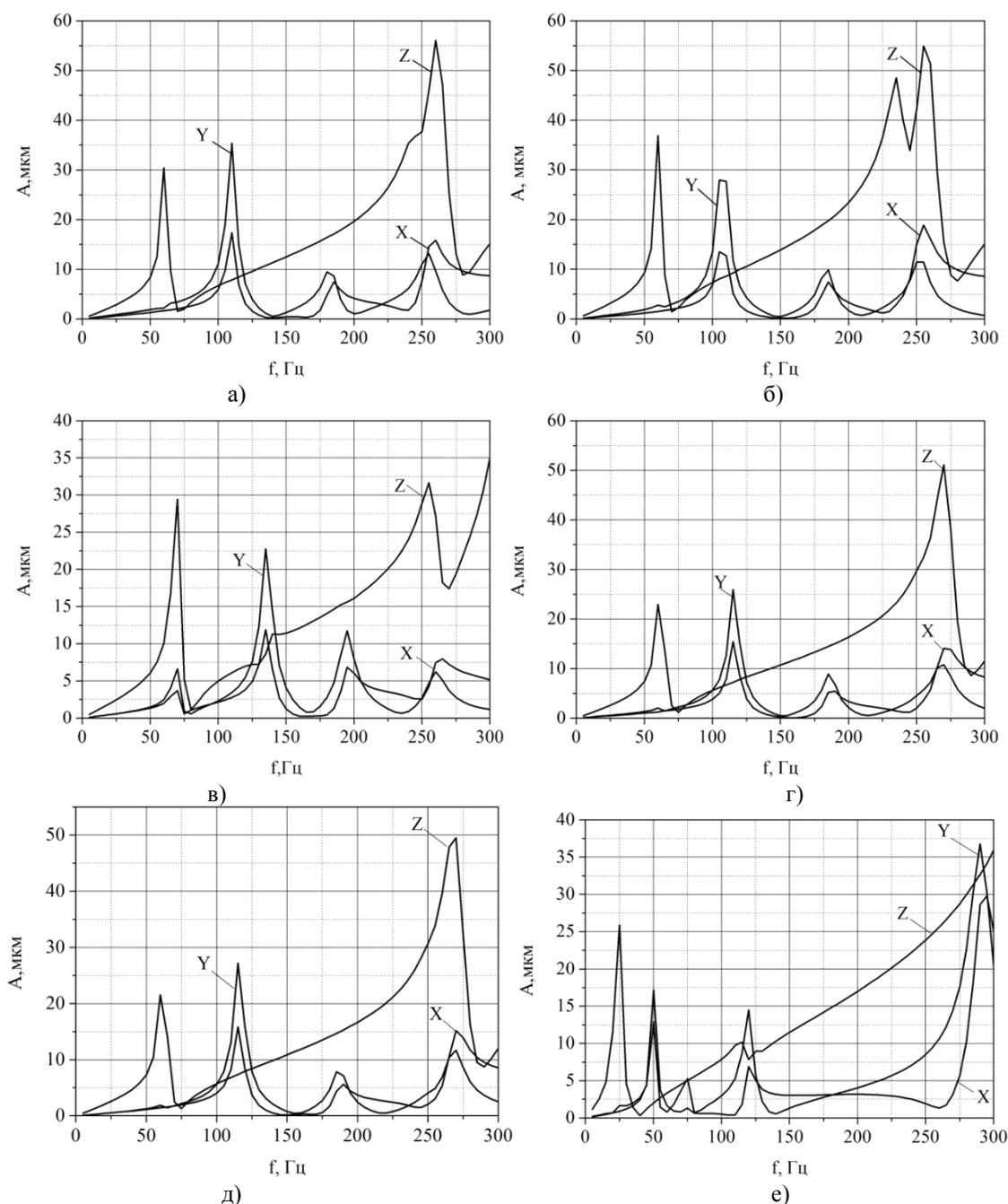


Рис. 5. Результаты динамического расчета 400V, жесткость стыка k_{cm2} : а – все винты и стыки; б – модель без винтов со стыками; в – модель без винта вдоль оси Z со стыками; г – модель без винта вдоль оси X со стыками; д – модель без винта вдоль оси X со стыками; е – в модели учтены все винты и стыки, k_{on2}

Отсутствие заметных вибраций во всем диапазоне частот на станке 400V было подтверждено и натурными экспериментами, ранее проведенными и представленными в работе [28].

Результаты динамических расчетов для несущих систем станков HAAS TM-1P и ST-10Y подтвердили результаты, полученные для 400V. При этом, за счет использованных упрощений в моделях несущих систем (учет только двух тяговых устройств), АЧХ несущих систем этих станков получились менее чувствительны к различным структурным и параметрическим изменениям их моделей.

Выводы. Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать общие заключения по эффективности моделирования несущих систем станков, использующих твердотельные конечные элементы:

- наиболее точная модель получается при использовании в модели несущей системы станка тяговых устройств и стыков; в этом случае расчетная модель требует значительных вычислительных ресурсов;

- исключение из расчетной модели тяговых устройств может приводить к увеличенной погрешности моделирования в задачах статики до 20–25 %; в этом случае результаты модального и

динамического расчётов показывают более устойчивые результаты к вносимым изменениям в расчётную модель, так как погрешность расчётных параметров не превышает 10 %; поэтому если результаты статического расчёта в рассматриваемом случае анализа мало актуальны, то предпочтительно использовать расчётные модели с идеальным контактом в соединениях и не учитывающие тяговые устройства;

– расчётные модели с затянутым стыком, при жесткости более $1,6 \cdot 10^{10}$ Н/м, мало отличаются от моделей с идеальным контактом; поэтому при таких параметрах жесткости стыков предпочтительней использовать расчётные модели с идеальным контактом;

Обобщенный анализ представленных заключений позволяет сформулировать итоговое заключение по выбору расчётной модели несущей системы станка на базе твердотельных конечных элементов – при допустимой 25 %-ной погрешности моделирования предпочтительно использования расчётной модели несущей системы без учёта неидеального контакта и тяговых устройств.

Выполненные исследования показали, что без принципиальной потери точности упрощенные модели могут быть использованы при проведении инженерного анализа несущих систем станка.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зубенко В.Л., Емельянова И.В., Емельянов Н.В. Методика применения CAD/CAM/CAE – систем в научных исследованиях // Приволжский научный вестник. 2013. №2. С. 18–23.
2. Василевич Ю.В., Довнар С.С., Шумский И.И. Модальный анализ несущей системы тяжелого горизонтального многоцелевого станка с помощью метода конечных элементов // Наука и техника. 2014. №4. С. 14–24.
3. Подгорный Ю.И., Скиба В.Ю., Кириллов А.В., Максимчук О.В., Лобанов Д.В., Глейм В.Р., Жигулев А.К., Саха О.В. Выбор конструктивных параметров несущих систем машин с учетом технологической нагрузки // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2015. №4 (69). С. 51–60.
4. Сабиров Ф.С., Кочинёв Н.А., Шемякин С.С. Влияние технологической оснастки на динамические характеристики шпиндельного узла токарного станка // Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2015. №4 (35). С. 64–68.
5. Гречишников В.А., Хусаинов Р.М., Ахкиямов Д.Р., Юрасов С.Ю., Юрасова О.И. Выявление главных осей деформаций упругой системы металлорежущего станка средствами конечно-элементного моделирования // СТИН. 2016. №1. С. 10–14.
6. Малков И.В., Кроль О.С., Синдеева Е.В. Моделирование формообразующего узла многооперационного станка // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2016. Т. 22. №3. С. 471–480.
7. Кульга К.С., Виноградов П.В., Гаитова А.А. Применение CAD/CAE -систем при проектировании компоновок многоцелевых станков с ЧПУ // СТИН. 2015. №9. С. 5–10.
8. Кульга К.С., Виноградов П.В., Гаитова А.А. Повышение эффективности проектирования компоновок многоцелевых станков с ЧПУ на основе CAD/CAE-систем // Вестник машиностроения. 2016. №7. С. 14–18.
9. Емельянов Н.В., Зубенко В.Л., Емельянова И.В. CAD, CAE технологии проектирования с учетом сил трения подвижных соединений узлов токарных станков с ЧПУ // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18. №4. С. 279–284.
10. Каменев С.В., Марусич К.В. Методика автоматизированного построения тепловой модели шпиндельного узла с использованием CAE-системы // Интернет-журнал Науковедение. 2017. Т. 9. №6. С. 1–10.
11. Никитина И.П., Поляков А.Н. Методика модернизации станков фрезерной группы с ручным управлением // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №5. С. 82–89.
12. Гиловой Л.Я., Молодцов В.В. Зубофрезерные станки повышенной жесткости // Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2018. №2 (45). С. 8–14.
13. Liang Y., Chen W., Sun Y. et al. A mechanical structure-based design method and its implementation on a fly-cutting machine tool design // Int J Adv Manuf Technol. 2014, vol. 70, no. 9–12, pp. 1915–1921. DOI: 10.1007/s00170-013-5436-5.
14. Liu S., Li Y., Liao Y. et al. Structural optimization of the cross-beam of a gantry machine tool based on grey relational analysis // Struct Multidisc Optim. 2014. Vol. 50. № 2. Pp. 297–311. DOI: 10.1007/s00158-013-1041-3.
15. Liu S. Multi-objective optimization design method for the machine tool's structural parts based on computer-aided engineering // Int J Adv Manuf Technol. 2015. Vol. 78. №. 5–8. Pp. 1053–1065. DOI: 10.1007/s00170-014-6700-z.
16. Fang B., Gu T., Ye D. et al. An improved thermo-mechanical model for vertical machining center // Int J Adv Manuf Technol. 2016. Vol. 87. №. 9–12. Pp. 2581–2592. DOI: 10.1007/s00170-016-8651-z.
17. Zhao L., Diao G., Yan P. et al. A gene recombination method for machine tools design based on complex network // Int J Adv Manuf Technol.

2016. Vol. 83. № 5–8. Pp. 729–741. DOI: 10.1007/s00170-015-7591-3.

18. Gao X., Li B., Hong J. et al. Stiffness modeling of machine tools based on machining space analysis // *Int J Adv Manuf Technol*. 2016. Vol. 86. № 5–8. Pp. 2093–2106. DOI: 10.1007/s00170-015-8336-z.

19. Zhou Z., Gui L., Tan Y. et al. Actualities and Development of Heavy-Duty CNC Machine Tool Thermal Error Monitoring Technology // *Chin. J. Mech. Eng.* 2017. Vol. 30. № 5. Pp. 1262–1281. DOI: 10.1007/s10033-017-0166-5.

20. Wang J., Niu W., Ma Y. et al. A CAD/CAE-integrated structural design framework for machine tools // *Int J Adv Manuf Technol*. 2017. Vol. 91. № 1–4. Pp. 545–568. DOI: 10.1007/s00170-016-9721-y.

21. Jędrzejewski J., Kwasny W. Development of machine tools design and operational properties // *Int J Adv Manuf Technol*. 2017. Vol. 93. № 1–4. Pp. 1051–1068. DOI: 10.1007/s00170-017-0560-2.

22. Zhao D., Bi Y., Ke Y. An efficient error prediction and compensation method for coordinated five-axis machine tools under variable temperature // *Int J Adv Manuf Technol*. 2018. Vol. 96. № 9–12. Pp. 4431–4443. DOI: 10.1007/s00170-018-1923-z.

23. Polyakov A.N., Kamenev S.V. More Efficient Use of CAE Systems in Machine Tool Design// *Russian Engineering Research*. 2010. Vol. 30. Pp. 67–71.

24. Поляков А.Н., Гончаров А.Н., Марусич К.В. Методика реализации алгоритмов компенсации температурной погрешности станка с ЧПУ // *Справочник. Инженерный журнал с приложением*. 2018. № 3 (252). С. 23–29.

25. Левина З.М., Решетов Д.Н. Контактная жесткость машин. М.: Машиностроение, 1971. 264 с.

26. Крутов А.В., Молодцов В.В. Моделирование и расчет направляющих качения модульного типа // *СТИН*. 2010. №12. С. 5–11.

27. Zhong G., Xu J., Jinling T., Lifei Z. Optimization Design of the Structure for Miniature Engraving Machine based on Orthogonal Experiment and Grey Correlation Analysis // *Global Journal of Technology & Optimization*. 2016. Vol. 7. No. 1. Pp. 7. DOI: 10.4172/2229-8711.1000188.

28. Поляков А.Н., Гончаров А.Н., Каменев С.В. Методика экспериментальной оценки температурной погрешности станка на рабочем ходу // *СТИН*. 2017. №11. С. 29–32.

Информация об авторах

Поляков Александр Николаевич, доктор технических наук, заведующий кафедрой технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов, профессор. E-mail: anp_temos@mail.ru. Оренбургский государственный университет. Россия, 460018, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13.

Додоров Александр Иванович, аспирант кафедры технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов. Оренбургский государственный университет. Россия, 460018, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13.

Поступила в марте 2019 г.

© Поляков А.Н., Додоров А.И., 2019

^{1,*}*Polyakov A.N., ¹Dodorov A.I.*

¹*Orenburg State University*

Russia, 460018, Orenburg, av. Pobedy, 13

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

THE METHOD OF SELECTION THE SOLID FINITE ELEMENT MODELS OF LOAD-BEARING SYSTEMS OF MACHINE TOOLS WHEN PERFORMING ENGINEERING ANALYSIS

Abstract. *The paper presents a methodology for the selection of a solid finite element models for load-bearing systems of machine tools. The technique is based on the analysis of the results of computer simulation of different models of load-bearing systems of three machines with different layouts. The variability of the models is determined taking into account the traction devices and joints in the conjunctions. The traditional approach for modeling the non-ideal joint in the form of elastic elements set is used, despite the fact that modern CAE systems for modeling non-ideal contact in mates offer special contact finite elements. The conducted computational experiments demonstrate that the most accurate model is obtained by using models of traction devices and joints. In this case, the computational model requires significant computational resources. It is found that the exception of the design model of the bearing system of the machine traction devices can*

lead to an increased modeling error in static problems up to 25 %. The results of modal and dynamic calculations are more resistant to changes in the design model of the machine, as the error of the design parameters does not exceed 10 %. In addition, the computational models of tightened joint, with a stiffness of more than $1,6 \cdot 10^{10}$ N/m, are not much different from models with ideal contact. It is shown that with an acceptable 25% modeling error, it is preferable to use a computational model of the load-bearing system without taking into account the non-ideal contact and traction devices.

Keywords: load-bearing system of the machine tool, a computational model, stiffness of joints, ideal and non-ideal contact, CAE-systems.

REFERENCES

- Zubenko V.L., Emel'yanova I.V., Emel'yanov N.V. Methods of application of CAD / CAM/CAE-systems in research [*Metodika primeneniya CAD/CAM/CAE – sistem v nauchnyh issledovaniyah*]. Volga scientific Bulletin. 2013. No. 2. Pp. 18–23. (rus)
- Vasilevich Yu.V., Dovnar S.S., Shumskij I.I. Modal analysis of the bearing system of a heavy horizontal multipurpose machine using the finite element method [*Modal'nyj analiz nesushchej sistemy tyazhelogo gorizontalnogo mnogocelevego stanka s pomoshch'yu metoda konechnyh elementov*]. Science and technology. 2014. No. 4. Pp. 14–24. (rus)
- Podgorniy Yu.I., Skiba V.Yu., Kirillov A.V., Maksimchuk O.V., Lobanov D.V., Glejm V.R., Zhigulev A.K., Saha O.V. Selection of design parameters of bearing systems of machines taking into account the technological load [*Vybor konstruktivnykh parametrov nesushchih sistem mashin s uchetom tekhnologicheskoy nagruzki*]. Metal processing (technology, equipment, tools). 2015. No. 4 (69). Pp. 51–60. (rus)
- Sabirov F.S., Kochinyov N.A., Shemyakin S.S. Influence of technological equipment on the dynamic characteristics of the spindle unit of the lathe [*Vliyanie tekhnologicheskoy osnastki na dinamicheskie karakteristiki shpindel'nogo uzla tokarnogo stanka*]. Bulletin of MSTU «STANKIN». 2015. No. 4 (35). Pp. 64–68. (rus)
- Grechishnikov V.A., Husainov R.M., Ahkiyamov D.R., Yurasov S.Yu., Yurasova O.I. Identification of the main axes of deformation of the elastic system of the machine tool by means of finite element modeling [*Vyavlenie glavnyh osey deformacij uprugoj sistemy metallovezhushchego stanka sredstvami konechno-elementnogo modelirovaniya*]. STIN. 2016. No. 1. Pp. 10–14. (rus)
- Malkov I.V., Krol' O.S., Sindeeva E.V. Modeling formative site of multifunction machine [*Modelirovanie formoobrazuyushchego uzla mnogooperacionnogo stanka*]. Bulletin of Tambov state technical University. 2016. Vol. 22. No. 3. Pp. 471–480. (rus)
- Kul'ga K.S., Vinogradov P.V., Gaitova A.A. Application of CAD / CAE-systems in the design of layouts of multi-purpose CNC machines [*Primenenie CAD/CAE -sistem pri proektirovanii komponentov mnogocelevykh stankov s CHPU*]. STIN. 2015. No. 9. Pp. 5–10. (rus)
- Kul'ga K.S., Vinogradov P.V., Gaitova A.A. Improving the efficiency of designing layouts of multi-purpose CNC machines based on CAD / CAE-systems [*Povyshenie effektivnosti proektirovaniya komponentov mnogocelevykh stankov s CHPU na osnove CAD/CAE-sistem*]. Vestnik mashinostroeniya, 2016. No. 7. Pp. 14–18. (rus)
- Emel'yanov N.V., Zubenko V.L., Emel'yanova I.V. CAD, CAE design technologies taking into account the friction forces of mobile connections of CNC lathe units [*CAD, CAE tekhnologii proektirovaniya s uchetom sil treniya podvizhnykh soedinenij uzlov tokarnykh stankov s CHPU*]. Proceedings of the Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences. 2016. Vol. 18. No. 4. Pp. 279–284. (rus)
- Kamenev S.V., Marusich K.V. The method of automatic construction of thermal models of spindle Assembly with use CAE-systems [*Metodika avtomatizirovannogo postroeniya teplovoj modeli shpindel'nogo uzla s ispol'zovaniem CAE-sistemy*]. Internet journal of the Science studies. 2017. Vol. 9. No. 6. P. 1–10. (rus)
- Nikitina I.P., Polyakov A.N. Methods of modernization of milling group machines with manual control [*Metodika modernizatsii stankov frezernoy gruppy s ruchnym upravleniem*]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 5. Pp. 82–89. (rus)
- Gilovoj L.Ya., Molodcov V.V. Gear hobbing machines of increased rigidity [*Zubofrezernye stanki povyshennoj zhestkosti*]. Bulletin of MSTU «STANKIN». 2018. No. 2 (45). Pp. 8–14. (rus)
- Liang Y., Chen W., Sun Y. et al. A mechanical structure-based design method and its implementation on a fly-cutting machine tool design. Int J Adv Manuf Technol. 2014. Vol. 70. No. 9–12. Pp. 1915–1921. DOI: 10.1007/s00170-013-5436-5.
- Liu S., Li Y., Liao Y. et al. Structural optimization of the cross-beam of a gantry machine tool based on grey relational analysis. Struct Multidisc Optim. 2014. Vol. 50. No. 2. Pp. 297–311. DOI: 10.1007/s00158-013-1041-3.
- Liu S. Multi-objective optimization design method for the machine tool's structural parts based on computer-aided engineering. Int J Adv Manuf

Technol. 2015. Vol. 78. No. 5–8. Pp. 1053–1065. DOI: 10.1007/s00170-014-6700-z.

16. Fang B., Gu T., Ye D. et al. An improved thermo-mechanical model for vertical machining center. *Int J Adv Manuf Technol.* 2016. Vol. 87. No. 9–12. Pp. 2581–2592. DOI: 10.1007/s00170-016-8651-z.

17. Zhao L., Diao G., Yan P. et al. A gene recombination method for machine tools design based on complex network. *Int J Adv Manuf Technol.* 2016. Vol. 83. No. 5–8. Pp. 729–741. DOI: 10.1007/s00170-015-7591-3.

18. Gao X., Li B., Hong J. et al. Stiffness modeling of machine tools based on machining space analysis. *Int J Adv Manuf Technol.* 2016. Vol. 86. No. 5–8. Pp. 2093–2106. DOI: 10.1007/s00170-015-8336-z.

19. Zhou Z., Gu L., Tan Y. et al. Actualities and Development of Heavy-Duty CNC Machine Tool Thermal Error Monitoring Technology. *Chin. J. Mech. Eng.* 2017. Vol. 30. No. 5. Pp. 1262–1281. DOI: 10.1007/s10033-017-0166-5.

20. Wang J., Niu W., Ma Y. et al. A CAD/CAE-integrated structural design framework for machine tools. *Int J Adv Manuf Technol.* 2017. Vol. 91. No. 1–4. Pp. 545–568. DOI: 10.1007/s00170-016-9721-y.

21. Jedrzejewski J., Kwasny W. Development of machine tools design and operational properties. *Int J Adv Manuf Technol.* 2017. Vol. 93. No. 1–4. Pp. 1051–1068. DOI: 10.1007/s00170-017-0560-2.

22. Zhao D., Bi Y., Ke Y. An efficient error prediction and compensation method for coordinated five-axis machine tools under variable temperature.

Int J Adv Manuf Technol. 2018. Vol. 96. No. 9–12. Pp. 4431–4443. DOI: 10.1007/s00170-018-1923-z.

23. Polyakov A.N., Kamenev S.V. More Efficient Use of CAE Systems in Machine Tool Design. *Russian Engineering Research.* 2010. Vol. 30. Pp. 67–71.

24. Polyakov A.N., Goncharov A.N., Marusich K.V. Methods of implementation of algorithms for compensation of temperature error of CNC machine [*Metodika realizacii algoritmov kompensacii temperaturnoj pogreshnosti stanka s CHPU*]. Handbook. Engineering journal with the app. 2018. No. 3 (252). Pp. 23–29. (rus)

25. Levina Z.M., Reshetov D.N. Contact stiffness of machines [*Kontaktnaya zhestkost' mashin*]. M.: Mechanical Engineering. 1971. 264 p. (rus)

26. Krutov A.V., Molodcov V.V. Modeling and calculation of rolling guides of modular type [*Modelirovanie i raschet napravlyayushchih kacheniya modul'nogo tipa*]. *STIN.* 2010. No. 12. Pp. 5–11. (rus)

27. Zhong G., Xu J., Jinling T., Lifei Z. Optimization Design of the Structure for Miniature Engraving Machine based on Orthogonal Experiment and Grey Correlation Analysis. *Global Journal of Technology & Optimization.* 2016. Vol. 7. No. 1. P. 7. DOI: 10.4172/2229-8711.1000188.

28. Polyakov A.N., Goncharov A.N., Kamenev S.V. Methods of experimental evaluation of the temperature error of the machine on the run [*Metodika eksperimental'noj ocenki temperaturnoj pogreshnosti stanka na rabochem ходу*]. *STIN.* 2017. No. 11. Pp. 29–32. (rus)

Information about the authors

Polyakov, Aleksandr N. PhD, Professor. E-mail: anp_temos@mail.ru. Orenburg State University. Russia, 460018, Orenburg, av. Pobedy, 13.

Dodorov, Aleksandr I. Postgraduate student. Orenburg State University. Russia, 460018, Orenburg, av. Pobedy, 13.

Received in March 2019

Для цитирования:

Поляков А.Н., Додоров А.И. Методика выбора твердотельных конечно-элементных моделей несущих систем станков при проведении их инженерного анализа // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 6. С. 102–116. DOI: 10.34031/article_5d07863d89d1e9.79636729

For citation:

Polyakov A.N., Dodorov A.I. The method of selection the solid finite element models of load-bearing systems of machine tools when performing engineering analysis. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov.* 2019. No. 6. Pp. 102–116. DOI: 10.34031/article_5d07863d89d1e9.79636729

DOI: 10.34031/article_5cff727a8146c8.12747970

¹Жадановский Б.В., ^{1,*}Синенко С.А., ¹Пахомова Л.А., ¹Мухин А.В.¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
Россия, 129337, Москва, Ярославское ш., 26

*E-mail: sasin50@gmail.com

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫБОРА САМОХОДНЫХ КРАНОВ

Аннотация. В работе изложены основы автоматизированного подбора самоходных строительно-монтажных кранов по их параметрическому соответствию монтируемым конструкциям. На основе созданного программного комплекса решаются задачи подбора крана, определяется положение осей движения и места стоянок крана при монтаже одноэтажных промышленных зданий. В статье рассмотрена организация и технология использования самоходных кранов на пневматическом ходу. Уделено особое внимание кранам на шасси различных видов автомобилей отечественного и зарубежного производства. Рассмотрены зоны допустимых стоянок кранов при производстве монтажных и погрузо-разгрузочных работ. Приведены рекомендации по определению максимально и минимально допустимых вылетов крюка с помощью приведенных алгоритмов. Дан состав программного комплекса, сервисные программы, подпрограмма подбора крана, подпрограмма проверки возможности подъема груза краном с заданной стрелой и модификацией, подпрограмма определения зоны стоянки крана, служебные программы, программа создания и ведения библиотек характеристик кранов. В статье приводится описание алгоритмов и разработанных программ для ЭВМ. Результаты расчетов, описанных в работе, могут быть использованы на стадии разработок ПОС, ППР, при анализе новых технологических решений. Содержащиеся рекомендации и предложения предназначены для научно-исследовательских, проектных, строительных организаций.

Ключевые слова: выбор самоходного крана, технические характеристики, программы для расчёта параметров, алгоритм подбора, программный комплекс выбора.

Введение. В связи с тем, что строительно-монтажные работы с использованием самоходных кранов в отечественном строительстве ведутся в различных природно-климатических условиях нашей страны целесообразно методику выбора кранов выполнять не только с учетом грузоподъемности, дальности подачи и высоты отметок установки и монтажа конструкций. В этом случае целесообразно с учетом методики учитывать природно-климатические условия на объекте производства работ (грунтовые условия, тип основания грунта), положительные и отрицательные температуры наружного воздуха, скорость ветра и другие факторы влияния на целесообразность использования той или иной модификации самоходного стрелового крана [1–5].

Методика выбора на основе автоматизированных систем самоходных строительно-монтажных кранов в настоящее время осуществляется, в общем и целом, по созданным программным комплексам. Подбор машин в отечественном строительстве для применения в конкретных условиях строительной площадки с учетом природно-климатических факторов влияния и технических характеристик грузоподъемных монтажных кранов выполняется на этапе организационно-технического проектирования. Результаты выбора предназначаются для использования на стадии разработки проекта организации строительства (ПОС) и проекта производства работ (ППР) [1–5].

Алгоритмы выбора кранов имеют свои специфические особенности, приведенные в данной работе с учетом последующей работы самоходных кранов различной модификации. Число модификаций самоходных строительно-монтажных кранов с данной стрелой, как отечественных так и зарубежных, равно числу возможных высот установки этой стрелы. В системе их классификации принять также, что они имеют модификации соответствующие каждой стреле.

При работе алгоритма возможны два случая. Грузы с заданными параметрами (вес, полуширина, высота строповочного приспособления) необходимо поднять на заданную высоту. При этом производится перебор стрел и модификаций крана. При нахождении стрелы и модификации, обеспечивающих подъем всех грузов, работа алгоритма заканчивается. Грузы необходимо подать на ранее смонтированные конструкции и установить на заданной высоте. Отметка установки и высота смонтированных конструкций известны. В этом случае также производится перебор стрел и модификаций рассматриваемого крана. Проверка возможности монтажа набора грузов каждой модификацией данного крана производится в следующем порядке.

Для каждого груза сначала определяют интервал вылетов, на котором кран может осуществить подачу его за смонтированные конструкции. Для этого проверяют возможность подъема

некоторого фиктивного груза, имеющего нулевые вес и высоту строповочного приспособления, полуширину, равную дальности подачи, и высоту подъема, равную высоте смонтированных конструкций. При проверке определяют интервал вылетов, в котором возможен подъем и установка (монтаж). Затем возможность подъема действительного груза проверяют в этом интервале вылетов. Следует отметить, что часто несколько грузов монтируют с одинаковой подачей и при одинаковой высоте смонтированных конструкций. Такие грузы целесообразно группировать и рассматривать один фиктивный груз для группы действительных [1–6].

Работа алгоритма заканчивается либо после нахождения выбора стрелы и модификации крана, достаточного для монтажа всего набора грузов, либо после окончания перебора стрел и модификаций.

Алгоритм подбора крана. Алгоритм предназначен для выбора крана из имеющегося набора, способного смонтировать данный комплект грузов. Для этого крана определяется также необходимая стрела и модификация.

Задача решается путем перебора кранов набора. При этом необходимо учесть, что:

часто встречаются задачи, в которых необходимо подобрать кран какого-либо определенного типа (например, башенный), в связи с чем каждому крану целесообразно присвоить признак принадлежности к тому или иному типу; из всех кранов, способных смонтировать данный набор грузов, следует выбрать тот, который по каким-либо причинам наиболее предпочтителен, для чего каждому крану присваивается приоритет – натуральное число, характеризующее относительную степень предпочтительности данного крана, а выбирается тот, у которого значение приоритета меньше.

Алгоритм определения зоны стоянки крана. Определение допустимой зоны стоянки крана для монтажа элементов при наличии, помехи в подстреловом пространстве является важной задачей в области подбора строительно-монтажных кранов и оптимизации процессов монтажа. Поэтому для решения этой задачи целесообразна разработка специального алгоритма. Базой для данного алгоритма служат описанные выше методы параметрического выбора кранов. Зона стоянки крана заданной модификации определяется с учетом необходимости заноса груза за ранее смонтированные конструкции высотой H_z на расстоянии D_z (м). Кроме того, должно учитываться минимальное допустимое расстояние R_k (м) от крана до ранее смонтированных конструкций [6–10].

Зона стоянки может быть представлена в виде многоугольника (рис. 1), симметричного относительно горизонтальной оси.

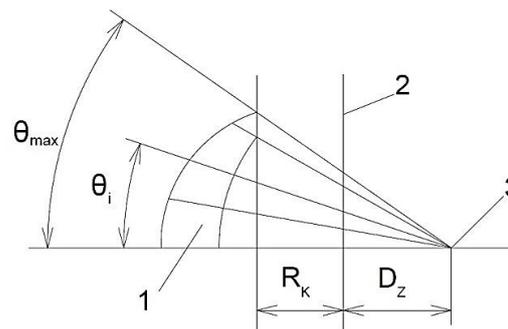


Рис. 1. Зона допустимых стоянок крана при выполнении монтажных работ:

1 – зона стоянки крана; 2 – ранее смонтированные конструкции;

3 – центр тяжести монтируемого груза;

θ_i и θ_{max} – угол минимального и максимального допустимого вылета крюка; R_k – расстояние от крана до смонтированной конструкции; D_z – расстояние заноса груза

Определение максимально и минимально допустимых вылетов крюка для каждого угла θ_i производится с помощью описанных выше алгоритмов. Определение угла θ_{max} осуществляется методом половинного деления интервала [6–10].

Состав программного комплекса. Комплекс состоит из подпрограмм параметрического выбора кранов программы ведения каталогов (библиотек) характеристик кранов.

Имеются следующие программы параметрического выбора: сервисные подпрограммы – обеспечивают ввод и вывод информации о кранах, корректировку этой информации в памяти и т.д., освобождают пользователя от необходимости знать внутренние структуры данных комплекса.

Ряд служебных программ:

- подпрограмма подбора крана, способного смонтировать заданный набор грузов;
- подпрограмма проверки возможности монтажа набора грузов заданным краном;
- подпрограмма проверки возможности подъема заданным краном с заданной стрелой и модификации заданного груза;
- подпрограмма определения допустимой зоны стоянки крана.

Сервисные программы. Создание набора кранов. Подпрограмма осуществляет ввод в память ЭВМ необходимой для расчетов исходной информации по строительно-монтажным кранам.

Входными параметрами подпрограммы являются номер вводного устройства и количество кранов в наборе.

Подготовка исходной информации осуществляется автоматизировано с помощью программы ведения библиотек характеристик кранов. Подпрограмма присваивает вводимым кранам приоритеты, равные их порядковым номерам в наборе.

Печать оглавления набора кранов. Подпрограмма распечатывает в табличной форме информацию о кранах: порядковый номер в наборе, марку, приоритет, максимальную грузоподъемность, длины стрел и гуськов и т.д.

Входными параметрами подпрограммы являются номера кранов, информацию о которых необходимо распечатать.

Присвоение приоритета крану. Подпрограмма позволяет изменять приоритет кранов в созданном наборе. Входными параметрами являются номер крана и новое значение его приоритета.

Выдача информации по крану. Подпрограмма обеспечивает получение подробной информации о кранах набора.

Входными параметрами являются номера кранов, его стрелы и модификации; выходными – марка крана, приоритет, признак принадлежности к тому или иному типу (пневмоколесный, башенный и т.п.), максимальная грузоподъемность, длина стрелы и гуська и др.

Выдача числа стрел. Подпрограмма дает возможность узнать количество стрел указанного крана набора. Входным параметром является номер крана в наборе, выходным – число его стрел.

Выдача числа модификаций. Подпрограмма дает возможность узнать количество модификаций заданной стрелы указанного крана.

Входными параметрами являются номер крана, стрелы, выходными – число модификаций.

Подпрограмма подбора крана. Подпрограмма обеспечивает выбор крана, способного смонтировать заданный набор грузов, определение номера необходимой стрелы и модификации.

Входными параметрами являются параметры набора грузов: количество грузов, их масса, полуширина, высота строповочного приспособления, требуемая высота подъема. При необходимости может быть задана также величина отметки монтажа грузов на ранее смонтированные конструкции и высота этих конструкций, а также требуемый тип крана [11–13].

Выходными параметрами являются номера крана, его стрелы и модификации.

Если для монтажа можно использовать несколько различных кранов, то подпрограмма выбирает тот из них, который имеет самое меньшее значение приоритета.

Подпрограмма проверки возможности монтажа набора грузов заданным краном. Подпрограмма позволяет, проверить возможность монтажа набора груза заданным краном и, если монтаж возможен, определить номер необходимой стрелы и модификации.

Входными параметрами являются перечисленные выше характеристики набора, грузов и номер рассматриваемого крана.

Выходными параметрами являются номера необходимой стрелы и модификации.

Подпрограмма проверки возможности подъема груза краном с заданной стрелой и модификацией. Подпрограмма осуществляет проверку возможности подъема единичного груза заданным краном с заданной стрелой модификацией в указанных пределах изменения вылета крюка. При необходимости определяется также интервал вылетов крюка, в котором возможен подъем.

Входными параметрами являются характеристики рассматриваемого груза и номера крана, стрелы и модификации.

Выходными параметрами являются границы интервала допустимых для подъема груза вылетов крюка или информация о возможности подъема.

Подпрограмма определения зоны стоянки крана. Подпрограмма позволяет определить границы зоны допустимых стоянок заданного крана с заданной стрелой и модификацией при монтаже единичного груза.

Входными параметрами являются характеристики монтируемого груза, дальность его заноса за ранее смонтированные конструкции, высота этих конструкций, а также номер крана, стрелы и модификации [11–13].

Выходными параметрами являются координаты границы зоны допустимых стоянок крана (см. рис. 1).

Служебные подпрограммы. В состав комплекса входят три служебных подпрограммы, осуществляющие вычисление грузоподъемности крана и высоты подъем груза на заданном вылете и решение уравнений методом половинного деления интервала.

Программа создания и ведения библиотек характеристик кранов. Подпрограммы параметрического выбора требуют достаточно подробного описания характеристик строительно-монтажных кранов. Очевидно, что подобная информация должна вводиться в ЭВМ однократно, постоянно храниться на машинных носителях и использоваться по мере необходимости.

Программа создания и ведения библиотек характеристик кранов обеспечивает выполнение

всех операций по работе с информацией о кранах, записанной на магнитных дисках. Использование этой программы обеспечивает легкий и удобный доступ к информации о кранах, ее корректировку, дополнение, замену, позволяет автоматизировать подготовку данных для подпрограмм, параметрического выбора [11–15].

Программа позволяет выполнять следующие операции:

1. Создание библиотек характеристик кранов. При этом указывается размер библиотеки, максимальное число кранов в ней, имя библиотеки.

2. Обработка характеристик кранов и включение их в библиотеку. Осуществляется контроль корректности вводимой информации, аппроксимация грузовых характеристик, включение информации в библиотеку. Результаты расчетов выводятся на печать.

3. Удаление характеристик определенных кранов из библиотеки.

4. Распечатка на терминале состояния библиотеки (имя библиотеки, ее размер, число кранов в библиотеке, наличие свободного места и др.).

5. Распечатка оглавления библиотеки. На терминал или печатающее устройство выдаются сведения о том, характеристики каких кранов есть в библиотеке.

6. Краткая распечатка информации о кранах. На терминал или печатающее устройство выдаются краткие характеристики указанных (или всех имеющихся в библиотеке) кранов: марки длины стрел и гуськов, максимальная грузоподъемность и др.

7. Выдача полной информации об указанных кранах. Информация выдается в форме, которую можно непосредственно (без промежуточной обработки) использовать при работе подпрограмм параметрического выбора кранов.

8. Включение информации, выданной программой, в библиотеку. Наличие этой возможности обеспечивает перепись данных из одной библиотеки в другую, корректировку данных.

9. Упорядочение имеющихся в библиотеке данных по заданному признаку. Это позволяет выдавать имеющуюся в библиотеке информации в определенном порядке, например, в порядке возрастания грузоподъемности кранов.

10. Выдача на терминал списка команд, принимаемых программой.

Вывод. Методологические основы и программные комплексы, описанные в данной статье, позволяют автоматизировать процесс выбора самоходных кранов, что, в свою очередь, позволяет повысить производительность выполнения строительного-монтажных работ, сократить

сроки создания проектной документации. Результаты, полученные в данной статье, помогут проектным организациям и производителям работ выполнять их с высоким качеством, безопасно и в установленные сроки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Олейник П.П., Бродский В.И., Кузьмина Т.К. Организационные формы мобильного строительства М.: Изд-во АСВ. 2015. 84 с.

2. Олейник П.П., Жадановский Б.В., Синенко С.А. Возведение монолитных конструкций зданий и сооружений. М.: Изд-во НИУ МГСУ. 2018. 493 с.

3. Копылов В.Д. Устройство монолитных бетонных конструкций при отрицательной температуре. М.: Изд-во АСВ. 2014. 184 с.

4. Ершов М.Н., Лapidус А.А., Теличенко В.И. Технологические процессы в строительстве. М.: Изд-во АСВ. 2016. 1072 с.

5. Олейник П.П. Организация, планирование и управление в строительстве. М.: Изд-во АСВ. 2016. 125 с.

6. Вайнштейн М.С., Жадановский Б.В., Синенко С.А., Афанасьев А.А. Выбор средств механизации производства строительного-монтажных работ // Научное обозрение. 2015. №13. С. 123–127.

7. Олейник П.П., Бродский В.И. Организация работ по демонтажу зданий и сооружений // Механизация строительства. 2016. №2. С. 28–32.

8. Ширшиков Б.Ф., Бродский В.И. Организационно-технологические решения по безопасности труда в проектах производства работ. М.: Изд-во АСВ. 2015. 100 с.

9. Казарян Р.Р., Лёвин Б.А. Основы организации планирования и управления автомобильными дорогами. М.: Российский университет транспорта (МИИТ). 2018. 255 с.

10. Олейник П.П., Бродский В.И. Организация строительного производства. Подготовка и производство строительного-монтажных работ. М.: Изд-во МГСУ. 2014. 96 с.

11. Zhadanovskiy Boris, Sinenko Sergey. The methodic of calculation for the need of basic construction machines on construction site when developing organizational and technological documents // E3S Web of Conferences. High-Rise Construction 2017, HRC 2017. 2018. Pp. 03077.

12. Oleynik P.P., Sinenko S.A., Zhadanovskiy B.V., Brodskiy V.I., Kuzhin Marat. Construction of a complex object // Matec Web of Conferences. 5th International Scientific Conference "Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education", IPICSE 2016. 2016. Pp. 04059.

13. Oleynik P.P., Brodskiy V.I., Grigorieva L.S. Determining the degree of mobility of building systems // Applied mechanics and materials. 2014. Pp. 2253-2256.

14. Oleynik P., Kuzmina T. Modelling the reduction of project making duration // Matec Web of Conferences. RSP 2017 - 26th R-S-P Seminar 2017

Theoretical Foundation of Civil Engineering. 2017. Pp. 00129.

15. Sinenko S. The method of using current regulations and standards in designing management and technologies of construction // Matec Web of Conferences. 21st Innovative Manufacturing Engineering and Energy International Conference, IManE and E 2017. 2017. Pp. 09007.

Информация об авторах

Жадановский Борис Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации строительного производства. E-mail: muhinav15@gmail.com. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Синенко Сергей Анатольевич, доктор технических наук, профессор кафедры технологии и организации строительного производства. E-mail: sasin50@gmail.com. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Пахомова Лилия Алексеевна, старший преподаватель кафедры технологии и организации строительного производства. E-mail: liliya_7172@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Мухин Андрей Валерьевич, бакалавр кафедры технологии и организации строительного производства. E-mail: muhinav14@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Поступила в апреле 2019 г.

©Жадановский Б.В., Синенко С.А., Пахомова Л.А., Мухин А.В., 2019

¹Zhadanovskiy B.V., ^{1,*}Sinenko S.A., ¹Pahomova L.A., ¹Mukhin A.V.

¹Moscow State University of Civil Engineering (National Research)

Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe highway, 26

*E-mail: sasin50@gmail.com

METHODICAL BASES OF SELECTION THE MOBILE CRANES

Abstract. The basics of the automated selection of mobile construction cranes on the parametric conformity of the mounted structures are outlined. The tasks of crane selection are solved based on the software package created: the position of the axes of movement and the position of the crane stops during the installation of one-storey industrial buildings is determined. The organization and technology of using mobile cranes on a pneumatic move is considered. Special attention is paid to cranes on the chassis of various types of cars of domestic and foreign production. The zones of admissible parking of cranes during installation and cargo handling operations are studied. The recommendations for determining the maximum and minimum allowable hook lifting using the above algorithms are given. The composition of the software package, service programs, a crane selection subroutine, a subroutine for checking the possibility of lifting a crane with a given arrow and modification, a subroutine for determining the crane parking area, service programs, a program for creating and maintaining libraries of crane characteristics are given. The article describes the algorithms and developed computer programs. The results of the calculations described in the work can be used at the stage of development the POS, PPR and in the analysis of new technological solutions. The recommendations and proposals are intended for research, design and construction organizations.

Keywords: mobile crane's selection, technical characteristics, programs for calculating parameters, selection algorithm, software selection package.

REFERENCES

1. Oleynik P.P., Brodskiy V.I., Kuzmina T.K. Organizacionnie formy mobilnogo stroitelstva [Organizational forms of mobile construction]. M.: Publishing House ASV. 2015, 84 p. (rus)

2. Oleynik P.P., Zhadanovskiy B.V., Sinenko S.A. Vozvedenie monolitnih zdaniy i sooruzheniy

[The construction of monolithic structures of buildings and structures]. M.: Publishing House of National Research University MGSU. 2018, 493 p. (rus)

3. Kopylov V.D. Ustroistvo monolitnih betonnih konstrukciy pri otricatelnoy temperature [The installation of monolithic concrete structures at low

temperatures]. M.: Publishing House ASV. 2014, 184 p. (rus)

4. Ershov M.N., Lapidus A.A., Telichenko V.I. Technologicheskie processi v stroitelstve. [*Technological processes in construction*]. M.: Publishing House ASV. 2016, 1072 p. (rus)

5. Oleynik P.P. Organizatsia, planirovanie i upravlenie v stoitelstve. [*Organization, planning and management in construction*]. M.: Publishing House ASV. 2016, 125 p. (rus)

6. Weinstein M.S., Zhadanovskiy B.V., Sinenko S.A., Afanasyev A.A. The choice of means of mechanization of the production of construction and installation works [*Vibor sredstv mehanizatsii proizvodstva stroitelno-montajnih rabot*]. Scientific Review. 2015. No. 13. Pp. 123–127. (rus)

7. Oleynik P.P., Brodskiy V.I. Organization of work on the dismantling of buildings and structures [*Organizatsiya rabot po demontaju zdaniy i sooruzheniy*]. Mechanization of construction. 2016. No. 2. Pp. 28–32. (rus)

8. Shirshikov B.F., Brodskiy V.I. Organizatsionno-tehnologicheskie resheniya po bezopasnosti truda v proektakh proizvodstva rabot [*Organizational and technological solutions for occupational safety in work projects*]. M.: Publishing House ASV. 2015, 100 p. (rus)

9. Ghazaryan R.R., Lyovin B.A. Osnovi organizatsii planirovaniya i upravleniya avtomobilnimi dorogami [*Fundamentals of the organization of planning and management of roads*]. M.: Russian University of Transport (MIIT). 2018, 255 p. (rus)

10. Oleynik P.P., Brodskiy V.I. Organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva. Podgotovka i proizvodstvo stroitel'no-montajnih rabot [*The organization of construction production. Preparation and production of construction and installation works*]. M.: Publishing House MGSU. 2014, 96 p. (rus)

11. Zhadanovskiy Boris, Sinenko Sergey. The methodic of calculation for the need of basic construction machines on construction site when developing organizational and technological documents. E3S Web of Conferences. High-Rise Construction 2017, HRC 2017. 2018. Pp. 03077.

12. Oleynik P.P., Sinenko S.A., Zhadanovskiy B.V., Brodskiy V.I., Kuzhin Marat. Construction of a complex object. Matec Web of Conferences. 5th International Scientific Conference "Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education", IPICSE 2016. 2016. Pp. 04059.

13. Oleynik P.P., Brodskiy V.I., Grigorieva L.S. Determining the degree of mobility of building systems. Applied mechanics and materials. 2014. Pp. 2253–2256.

14. Oleynik P., Kuzmina T. Modelling the reduction of project making duration. Matec Web of Conferences. RSP 2017 - 26th R-S-P Seminar 2017 Theoretical Foundation of Civil Engineering. 2017. Pp. 00129.

15. Sinenko S. The method of using current regulations and standards in designing management and technologies of construction. Matec Web of Conferences. 21st Innovative Manufacturing Engineering and Energy International Conference, IManE and E 2017. 2017. Pp. 09007.

Information about the authors

Zhadanovskiy, Boris V. PhD, Assistant professor. E-mail: muhina15@gmail.com. Moscow State University of Civil Engineering (National Research). Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe highway, 26.

Sinenko, Sergey A. DSc, Professor. E-mail: sasin50@gmail.com. Moscow State University of Civil Engineering (National Research). Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe highway, 26.

Pahomova, Liliya A. Senior lecturer. E-mail: liliya_7172@mail.ru. Moscow State University of Civil Engineering (National Research). Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe highway, 26.

Mukhin, Andrey V. Bachelor student. E-mail: muhina14@mail.ru. Moscow State University of Civil Engineering (National Research). Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe highway, 26.

Received in April 2019

Для цитирования:

Жадановский Б.В., Синенко С.А., Пахомова Л.А., Мухин А.В. Методические основы выбора самоходных кранов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 6. С. 117–122. DOI: 10.34031/article_5cff727a8146c8.12747970

For citation:

Zhadanovskiy B.V., Sinenko S.A., Pahomova L.A., Mukhin A.V. Methodical bases of selection the mobile cranes. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 6. Pp. 117–122. DOI: 10.34031/article_5cff727a8146c8.12747970

DOI:10.34031/article_5d079791aeaae3.67485144

¹Серебрянный В.В., ¹Бошляков А.А., ^{1,*}Огородник А.И.¹Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Россия, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

*E-mail: alexander.ogorodnik@bmstu.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ ЗАХВАТНЫХ УСТРОЙСТВ РОБОТОВ

Аннотация. На сегодняшний день актуальна задача повышения технических характеристик исполнительных модулей осязательных захватных устройств роботов. Во многом качество работы таких модулей определяется исполнительным двигателем и механической передачей, которая может внести дополнительные упругость, люфт и трение в систему. Внесение упругости, люфта и трения в контур управления в свою очередь приводит к понижению быстродействия и точности мехатронного модуля, а также может вызвать автоколебания. Однако, благодаря значительному прогрессу в производительности аппаратного обеспечения мехатронных и робототехнических систем, появляется возможность точнее оценивать и контролировать силомоментные параметры состояния в выходном звене, а также осуществлять активную алгоритмическую компенсацию эффектов трения и упругости. Такая оценка силомоментных параметров состояния системы проводится за счет использования детальных математических моделей и позволяет реализовывать силомоментное управление без использования специальных датчиков, что особенно важно в осязательных захватных устройствах из-за предъявляемых требований к масса-габаритным параметрам изделия. Поэтому целью данной работы является создание математической модели исполнительного модуля робота с рациональным соотношением сложности и точности, параметры которой можно легко идентифицировать из паспортных данных составных элементов или результатов эксперимента и которую можно использовать для косвенной оценки сил и моментов развиваемых приводом. В рамках статьи были рассмотрены различные математические модели трения. На основе данного анализа была предложена модифицированная модель трения, позволяющая проводить оценку параметров состояния механической передачи в реальном времени. Она была встроена в общую математическую модель мехатронного модуля. Теоретические данные, полученные на основе анализа общей модели исполнительного модуля, оказались близки к экспериментальным. Рассмотренная математическая модель исполнительного модуля может быть использована для идентификации параметров состояния мехатронного модуля в реальном времени и реализации силомоментного управления на основе косвенных измерений. Кроме того, полученная модель позволяет проводить детальное математическое моделирование робота с учетом динамики отдельных исполнительных модулей.

Ключевые слова: трение, мехатронный модуль, привод, люфт, упругость, редуктор, механическая передача.

Введение. Благодаря широкому применению мехатронных модулей и робототехнических систем остается актуальной задача описания и исследования их динамики. Кроме того, в следствии развития новых подходов к управлению исполнительными модулями выдвигаются новые требования к математическим моделям приводов с механическими передачами и появляется необходимость в улучшении этих математических моделей.

Активное развитие робототехнических систем и исполнительных модулей с силомоментным управлением увеличивает важность задачи идентификации и компенсации сил и моментов трения, поскольку трение существенно влияет на качество силомоментного управления [1]. Большинство методов компенсации трения требуют применения математических моделей, позволяющих производить достаточно точную оценку тре-

ния [2–6]. Вопрос математического моделирования трения глубоко проработан и существует множество математических моделей трения [7], однако существующие работы в данном направлении часто рассматривают моделирование трения отдельно от моделирования механической передачи исполнительного модуля, в следствии чего опускаются некоторые важные вопросы интеграции модели трения в общую модель механической передачи. В частности, вопросы исключения алгебраических петель и устойчивости численного решения.

Важным остается вопрос об оптимизации существующих математических моделей для оценки трения в реальном времени и уменьшения вычислительной сложности решения данной задачи. Существующие аппаратное обеспечение встраиваемых систем позволяет решать задачи идентификации и компенсации трения в сложных механических системах в реальном времени

с помощью статических моделей трения [2], [8]. Динамические модели трения позволяют точнее решать данные задачи [3], [9–11], однако для использования их в алгоритмах встраиваемых систем реального времени необходимо модифицировать динамические модели, чтобы гарантировать конвергенцию решения при заданном шаге численного интегрирования.

Для практического применения математической модели исполнительного модуля также важна простая идентификация параметров математической модели из технических данных составляющих изделий и сборочных единиц или результатов эксперимента.

В связи с этим, целью данной работы является создание математической модели исполнительного модуля, позволяющей проводить оценку и анализ влияния возмущающих сил, в частности сил трения и описывающей динамику машин и устройств, в которые встроены исполнительный модуль. Предложенная математическая модель исполнительного модуля должна позволять проводить оценку и компенсацию сил трения в реальном времени, а параметры математической модели должны быть легко идентифицируемыми и иметь простой физический смысл. Для достижения поставленной цели в модели исполнительного привода необходимо: учесть зависимость сил трения от момента передаваемого механической передачей; составить такую модель, чтобы избежать алгебраических петель при интеграции математической модели исполнительного модуля в общую модель робота

или мехатронного модуля; рассмотреть и модифицировать существующие модели трения, чтобы гарантировать конвергенцию численного решения при заданном шаге интегрирования; выявить зависимости, определяющие выбор шага интегрирования для достижения устойчивого численного решения и рассмотреть методику идентификации параметров разработанной математической модели исполнительного модуля.

1 Трение

Трение в приводах является сложным процессом, существенно влияющим на динамику исполнительных модулей [12–16] и зависящим от множества факторов, таких как температура, сила контакта, свойства смазки, относительные перемещения, скорости и ускорения трущихся поверхностей. Особенную сложность вызывает описание трения на скоростях близких к нулевым, где сила трения изменяется скачкообразно. В результате наличия трения в системе, могут наблюдаться следующие эффекты: Штрибек эффект, прерывистое движение, упругость при относительном микросмещении, гистерезис сил трения в зависимости от относительного перемещения трущихся поверхностей, лаг сил трения, гистерезис сил трения на кривой Штрибека, залипание.

Штрибек-эффект [7] проявляется в виде увеличения сил трения с уменьшением скорости относительного перемещения в области малых скоростей, а кривая зависимости силы трения от скорости называется кривой Штрибека рис. 1а.

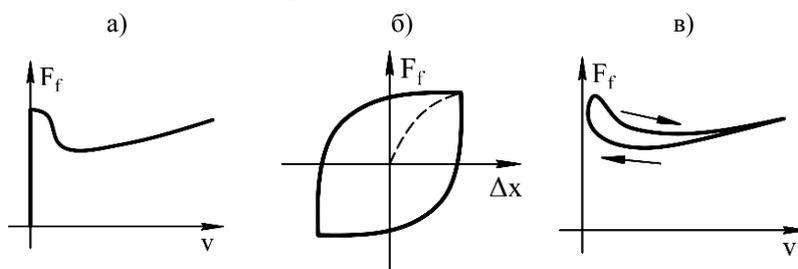


Рис. 1. График кривой Штрибека - а, График гистерезиса сил трения в зависимости от смещения и скорости соответственно – б и в

Трение в машинах и устройствах, особенно с активными системами управления или стабилизации, может вызывать прерывистое движение. Оно выражается в попеременном страгивании и залипании тел в месте контакта и вызвано нелинейной характеристикой трения (рис. 1а).

Для случая, когда необходимо моделировать динамические процессы в системе на «ползучих» скоростях и при малых перемещениях важно учитывать, что трение до момента страгивания ведет себя как упругость. При микроперемещениях сила трения стремится вернуть трущиеся тела в исходное положение. Это связано с взаи-

модействием трущихся поверхностей через шероховатости и смазку. Такой эффект называется упругим микросмещением. Если относительное перемещение становится больше упругой деформации шероховатости, то будет возникать неупругая деформация и на фазовой плоскости зависимости силы трения от относительного перемещения это будет проявляться в виде гистерезиса (рис. 1б).

Зависимость трения от относительного перемещения трущихся поверхностей вызывает лаг трения – запаздывание трения относительно скорости. Лаг трения возникает по причине того, что для появления трения необходимо сформировать

некоторое смещение трущихся поверхностей что проявляется в виде гистерезиса на кривой Штрибека (рис. 1в).

Еще одним эффектом трения, который существенно влияет на динамику машин и устройств, является эффект залипания, выражающийся в увеличении силы трения страгивания по мере увеличения времени покоя. Залипание в явном виде учитывается, например, в семи параметрической модели Армстронга [7].

Для математического описания рассмотренных эффектов трения разработаны различные модели, которые делятся на два класса: статические модели и динамические модели трения. Динамические модели трения отличаются от статических тем, что они содержат внутренние переменные состояния. Оба типа моделей актуальны поскольку обладают своими преимуществами и недостатками, а выбор наиболее подходящего типа модели зависит от конкретной задачи.

1.1 Статические модели трения

Статические математические модели трения в отличие от динамических менее детально описывают трение. Однако в большинстве задач их точности достаточно для моделирования динамики устройств. Тогда на первый план выходят такие положительные качества статических моделей как простота, невысокая сложность численного моделирования и относительно простая идентифицируемость параметров. Поэтому выбор статической модели трения является рациональным, если она обеспечивает необходимую точность математического описания.

Статические модели трения, используемые для моделирования динамических систем, аппроксимируют кривую Штрибека некоторой зависимостью. На рис. 2 изображены типовые зависимости сил трения от скорости используемые в математических моделях трения.

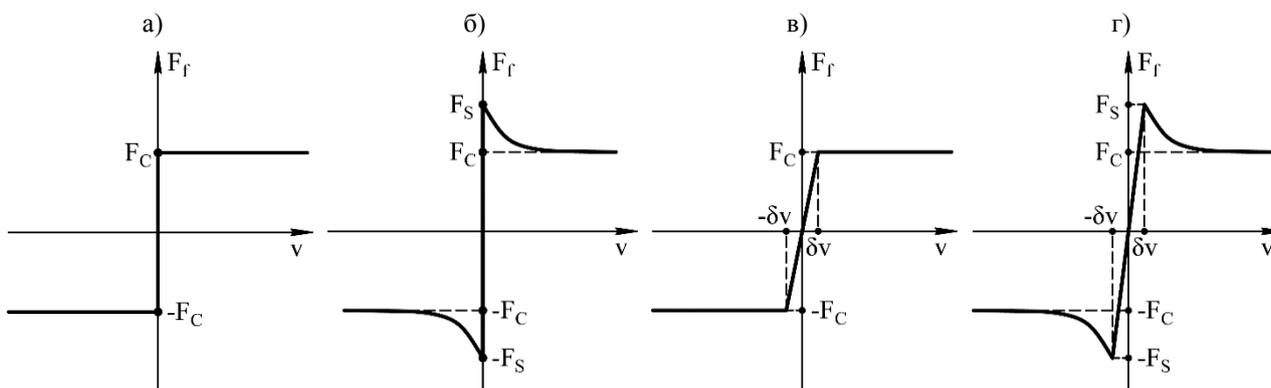


Рис. 2. Зависимости силы трения от скорости для различных моделей трения

Базовой математической моделью трения является модель кулоновского трения. Её зависимость максимальной силы трения от скорости изображена на рис. 2а и описывается уравнением $F_f(v) = F_C \text{sign}(v)$. Для уточнения модели кулоновского трения, при описании трения на малых скоростях, изменяют функцию $F_f(v)$, которая описывает зависимость трения от скорости. Это позволяет учесть эффект Штрибека и тот факт, что максимальное трение покоя F_S больше трения скольжения F_C . Такая математическая модель будет описываться уравнением:

$$F_f(v, F_E) = \begin{cases} F_f(v), & v \neq 0 \\ \min(|F_E|, F_S) \text{sign}(F_E), & v = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где F_E – суммарная внешняя сила, v – относительная скорость скольжения. Типовой график кривой Штрибека для данной модели изображен на рис. 2б, а самые распространённые функции, описывающие зависимость силы трения скольжения приведены в таблице 1.

Таблица 1

Функции, применяемые для описания зависимости силы трения от скорости

| | |
|---------------------------|--|
| Лоренцевская зависимость: | $F_f(v) = \left(F_C + (F_S - F_C) \frac{1}{1 + (v/v_S)^2} \right) \text{sign}(v)$ |
| Зависимость Тастина: | $F_f(v) = \left(F_C + (F_S - F_C) e^{- v /v_S} \right) \text{sign}(v)$ |
| Гаусова зависимость: | $F_f(v) = \left(F_C + (F_S - F_C) e^{-(v/v_S)^2} \right) \text{sign}(v)$ |
| Обобщенная зависимость: | $F_f(v) = \left(F_C + (F_S - F_C) e^{-(v /v_S)^\beta} \right) \text{sign}(v)$ |

Однако необходимо отметить, что базовая кулоновская модель трения и все ее вариации имеющие особую точку в области нулевых скоростей приводят при численном моделировании реверсивных систем к ошибкам, так как переменная v будет описываться вещественным числом с плавающей точкой и кроме как случайным образом не может стать равна 0. Таким образом возможны постоянные переключения силы трения между двумя значениями F_C и $-F_C$ в некоторой дельта области скорости v , размер которой будет определяться выбранным шагом решателя при численном моделировании. Это усложняет интеграцию данного семейства моделей в общую модель механизма или устройства и вызывает появление алгебраических петель, являющихся крайне нежелательными при моделировании. Использование модели Карнопа [7], где вводится некоторая дельта область малых скоростей в которой сила трения равна нулю не решает проблему, так как особые точки кривой Штрибека не устраняются и около них возникают переключения. Все это приводит к необходимости модификации модели кулоновского трения и аналогичных моделей для обеспечения устойчивого численного решения и упрощение ее интеграции в общие модели.

Наиболее универсальным методом обеспечения устойчивости численного решения является сглаживание (линеаризация) перехода зависимости силы трения от скорости в точке $v = 0$ [1]. Для этого выделяется некоторая дельта область $v \in (-\delta_V, \delta_V)$ в которой характеристика линеаризуется или заменяется другой кривой, которая дифференцируема и имеет по крайней мере ограниченную первую производную. Пример модификации характеристик, изображенных на рис. 2а и 2б приведен на рис. 2в и 2г соответственно.

Модифицированная кулоновская модель, график которой изображен на рис. 2в, будет описываться уравнением:

$$F_f(v) = F_C \min(k|v|, 1) \operatorname{sign}(v), \quad (2)$$

где k – коэффициент крутизны характеристики, определяемый из соотношения $k = 1/\delta_V$.

В математических моделях, учитывающих Штрибек-эффект, также легко убирается особая точка при $v = 0$. Предполагая, что кривая Штрибека изображенная на рис. 2г симметрична относительно начала координат, а область δ_V мала по сравнению с областями граничной и частичной смазываемости данная зависимость будет описываться уравнением:

$$F_f(v) = \begin{cases} F_f^0(|v| - \delta_V) \operatorname{sign}(v), & |v| > \delta_V \\ kv, & |v| \leq \delta_V \end{cases} \quad (3)$$

где $F_f^0(v)$ – нечетная функция, описывающая кривую Штрибека с не устраненной особой точкой, k – коэффициент крутизны характеристики, определяемый из соотношения $k = 1/\delta_V$.

1.2 Динамические модели трения

Для моделирования и проведения расчётов динамики машин и механизмов в случае не реверсивного движения достаточно статических стационарных и не стационарных математических моделей трения. Однако в области робототехники и мехатроники, где используются следящие системы, для которых характерно реверсивное движение и движение с малыми скоростями актуально более детальное описание трения. Особенно важно такое описание для систем силомоментным очувствлением, поскольку благодаря развитию вычислительных средств появляется возможность осуществлять идентификацию и компенсацию трения в реальном времени на основе более точных динамических математических моделей.

Одной из наиболее удачных динамических моделей трения, сочетающих одновременно достаточную точность и низкую сложность, является модель ЛуГре (LuGre) [17], [18]. Модель ЛуГре является развитием модели Даля [7] и позволяет дополнительно учитывать эффект Штрибека, использовать произвольную функцию, аппроксимирующую зависимость трения от скорости. Для модели гарантируются диссипативность и устойчивость при выборе коэффициентов в соответствии с методиками [19]. Модель ЛуГре описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} F_f = \sigma_0 z + \sigma_1 \frac{dz}{dt} + f(v) \\ \frac{dz}{dt} = v - \sigma_0 \frac{v}{g(v)} z, \end{cases} \quad (4)$$

где σ_0, σ_1 – параметры определяющие жесткость и демпфирование трения, $g(v)$ – кривая Штрибека, $f(v)$ – зависимость характеризующая вязкое трение.

Для обеспечения диссипативности модели [19] должно выполняться соотношение:

$$\sigma_1(v) \leq 4\sigma_0 g(v)/|v| \quad (5)$$

В [19], предлагается определять коэффициент демпфирования из уравнения $\sigma_1(v) = \sigma_1(0)e^{(v/v_c)^2}$, однако поскольку рассматриваемые модели должны быть простыми и позволять проводить оценку параметров состояния системы, выберем следующую зависимость:

$$\sigma_1(v) = \min(\sigma_1(0), 4\sigma_0 g(v)/|v|) \quad (6)$$

Декремент затухания для данной модели трения определяется из формулы [19]:

$$\zeta = (\sigma_1(0) + f'(0))/(2\sqrt{\sigma_0}) \quad (7)$$

Для отсутствия колебательности в решении $\sigma_1(0)$ должно иметь такое значение, чтобы выполнялось неравенство $\zeta \geq 0,5$.

Поскольку текущие модели рассматриваются в контексте их применения для оценки параметров состояния механической передачи в реальном времени, необходимо обеспечить быстрое и стабильное решение системы дифференциальных уравнений, описывающих трение. Запишем систему (20) в операторной форме, полагая, что скорость изменяется много медленнее, чем сила трения:

$$F_f = \frac{\frac{\sigma_1}{\sigma_0} p + 1}{\frac{g(|v|)}{\sigma_0 |v|} p + 1} g(|v|) \text{sign}(v) + f(v) \quad (8)$$

В данном дифференциальном уравнении присутствует постоянная времени $T_f = \frac{g(|v|)}{\sigma_0 |v|}$, которая определяет производную изменения силы и влияет шаг квантования, при котором будет найдено устойчивое численное решение. Причем T_f пропорционально уменьшается с увлечением скорости. Максимально допустимый шаг решателя должен быть в несколько раз меньше минимальной постоянной времени в математической модели $T_{solve} \ll T_f$. Следовательно, постоянная времени T_f определяет вычислительную сложность численного решения. Для составления математической модели трения, удовлетворяющей цели данной статьи, проведем модификацию классической модели ЛуГре. Ограничим постоянную времени T_f , чтобы возможно было проводить вычисления в реальном времени с фиксированным шагом квантования. Для этого определим параметр σ_0 как функцию от скорости в следующем виде:

$$\sigma_0(v) = \min\left(\sigma_0(0), \frac{g(v)}{|v|T_{min}}\right), \quad (9)$$

где T_{min} – минимально допустимая постоянная времени. В свою очередь пороговая скорость v_{th} на которой динамическая модель будет переходить в статическую будет являться решением уравнения:

$$v_{th} = \frac{g(v_{th})}{\sigma_0(0)T_{min}} \quad (10)$$

Причем, если принять допущение $v_{th} \gg v_s$ для кривых Штрибека из таблицы 1 и рис. 2г приближенную пороговую скорость v_{th} можно найти из выражения:

$$v_{th} = \frac{F_c}{\sigma_0(0)T_{min}} \quad (11)$$

Тогда окончательно получим модифицированную модель ЛуГре пригодную для идентификации трения в механической передаче:

$$\begin{cases} F_f = \sigma_0(v)z + \sigma_1(v) \frac{dz}{dt} + f(v) \\ \frac{dz}{dt} = v - \sigma_0(v) \frac{v}{g(v)} z \\ \sigma_1(v) = \min\left(\sigma_1(0), \frac{4\sigma_0 g(v)}{|v|}\right) \\ \sigma_0(v) = \min\left(\sigma_0(0), \frac{g(v)}{|v|T_{min}}\right) \end{cases} \quad (12)$$

Для анализа применяются также более точные модели, чем модель ЛуГре, например, эласто-пластичная модель [7], [20–22], модель Лёвена [23], модель Максвелла [24]. Однако они имеют больше параметров, требующих идентификацию, имеют более сложные зависимости и поэтому менее пригодны для реализации вычислений в реальном времени.

2 Математическая модель исполнительного модуля мехатронной системы с учетом трения, люфта и упругости в механической передаче.

Рассмотрим кинематическую схему элементарного звена с передаточным отношением i_R , предложенную в работе [1] и изображенную на рис. 3. Предположим, что упругость звена (У) описывается законом Гука, внутреннее трение в материале (Т) вязкое, а люфт (Л) не зависит от углового положения звеньев. Будем считать, что вал звена 1 (В1) вращает электропривод, формирующий входной момент для механической передачи, а на вал звена 2 (В2) установлена нагрузка и действует внешнее возмущающее воздействие.

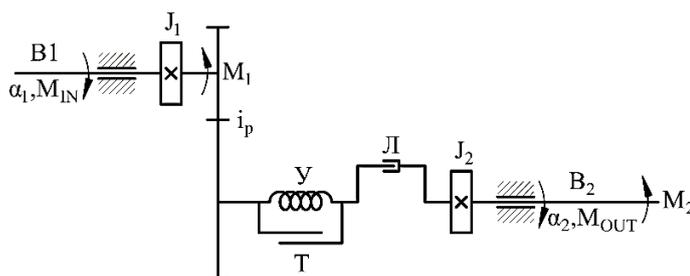


Рис. 3. Кинематическая схема элементарного звена механической передачи

На основе принятых допущений составим систему дифференциальных уравнений, описывающих динамику звена механической передачи.

Крутящие моменты, действующие на вал 1 формируют ускорение в соответствии с формулой:

$$J_1 \varepsilon_1 = M_{IN} - M_1, \quad (13)$$

где M_{IN} – входной крутящий момент механической передачи, действующий на вал 1, M_I – крутящий момент противодействия со стороны звена 2, J_1 – момент инерции звена 1, включающий момент инерции ротора двигателя и первую часть момента инерции механической передачи, ε_1 – угловое ускорение звена 1.

Определим угол скручивания механической передачи θ , приведенный к выходу:

$$\theta = \alpha'_1 - \alpha_2, \quad (14)$$

где α'_1 – приведенное угловое положение входного звена к выходу.

Тогда крутящий момент M'_1 передающийся с помощью сил упругости в вязкого трения на выходное звено определяются во формуле:

$$M'_1 = K_{V1} b'(\theta) \frac{d\theta}{dt} + cb(\theta), \quad (15)$$

где c – жесткость механической передачи, K_{V1} – приведенный коэффициент вязкого трения материала механической передачи, $b(\theta), b'(\theta)$ – функции, описывающие влияние люфта θ_{Bh} , изображенные на рис. 4 и вычисляемые по формулам:

$$b(\theta) = \begin{cases} \theta - \theta_{Bh}, & \theta > \theta_{Bh} \\ \theta + \theta_{Bh}, & \theta < -\theta_{Bh} \\ 0, & |\theta| \leq \theta_{Bh} \end{cases} \quad (16)$$

$$b'(\theta) = \begin{cases} 1, & |\theta| > \theta_{Bh} \\ 0, & |\theta| \leq \theta_{Bh} \end{cases} \quad (17)$$

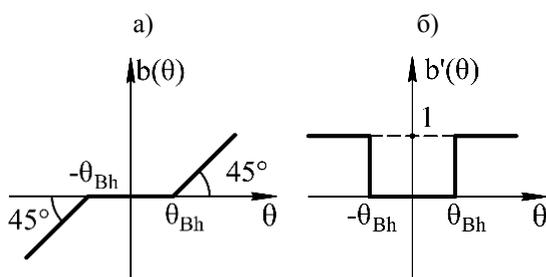


Рис. 4. Графики функций (16) и (17), описывающие влияние люфта θ_{Bh} в механической передаче

Крутящий момент M'_1 – является приведенным к выходному звену и определяется по формуле:

$$M'_1 = M_1 i_R \quad (18)$$

Тогда ускорение выходного звена определяется из уравнения:

$$J_2 \varepsilon_2 = M'_1 + M_{OUT} - M'_F - M_2, \quad (19)$$

где J_2 – суммарный момент инерции нагрузки и второй части приведенного момента инерции механической передачи к выходному звену, ε_2 – ускорение выходного звена, M_{OUT} – внешний возмущающий момент, M'_F – крутящий момент трения, M_2 – крутящий момент противодействия со стороны следующего звена, если моделируется цепь механических передач.

Момент трения M'_F имеет две основные составляющие: независимую и зависящую линейно от передаваемого механической передачей момента поскольку увеличиваются силы реакции опор [1]. Исходя из этого, можно записать выражение, определяющее силу трения:

$$M'_F = \begin{cases} (|M'_1| K_{ML} + 1) M_F(t, \Omega_2, z) + f(\Omega_2) \\ f(\Omega_2) = K_{V2} \Omega_2 \end{cases}, \quad (20)$$

где K_{ML} – коэффициент пропорциональности между передаваемым моментом и моментом трения, $M_F(t, \Omega_2, z)$ – статическая или динамическая модель описания трения, K_{V2} – коэффициент вязкого трения. Для решения поставленной задачи наиболее подходящими являются модели трения, соответствующие уравнениям (3) и (12) с кривой Штрибека описываемой обобщенной зависимостью из таблицы 1. Тогда статическая модель трения примет вид:

$$M_F(\Omega_2) = \begin{cases} M_C + (M_S - M_C) e^{-(|\Omega_2| - \delta_{\Omega_2})^\beta}, & |\Omega_2| > \delta_{\Omega_2} \\ M_S / \delta_{\Omega_2} \cdot \Omega_2, & |\Omega_2| \leq \delta_{\Omega_2} \end{cases} \quad (21)$$

где $\Omega_2 \in [-\delta_{\Omega_2}, \delta_{\Omega_2}]$ – линеаризуемая область.

А динамическая описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} M_F = \sigma_0(\Omega_2) z + \sigma_1(\Omega_2) \frac{dz}{dt} + f(\Omega_2) \\ \frac{dz}{dt} = \Omega_2 - \sigma_0(\Omega_2) \frac{\Omega_2}{g(\Omega_2)} z \\ \sigma_0(\Omega_2) = \min \left(\sigma_0(0), \frac{g(\Omega_2)}{|\Omega_2| T_{min}} \right) \\ \sigma_1(\Omega_2) = \min \left(\sigma_1(0), \frac{4\sigma_0 g(\Omega_2)}{|\Omega_2|} \right) \\ g(\Omega_2) = M_C + (M_S - M_C) e^{-(\Omega_2 / \Omega_{2S})^\beta} \\ f(\Omega_2) = K_{V2} \Omega_2 \end{cases} \quad (22)$$

где T_{min} – константа, ограничивающая снизу постоянную времени модели трения для того, чтобы гарантировать конвергенцию решения при заданном шаге численного интегрирования. Скорость перехода начиная с которой ограничиваться скоростью изменения трения приближенно определяется по формуле:

$$\Omega_{2th} = \frac{T_{qc}}{\sigma_0(0) T_{min}} \quad (23)$$

Результирующая модель исполнительного мехатронного модуля с учетом линейной модели

двигателя будет описываться системой дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{aligned} U &= L \frac{di}{dt} + Ri + k_E \frac{d\alpha_1}{dt} \\ M_{ДВ} &= k_M i \\ J_1 \frac{d^2\alpha_1}{dt^2} &= M_{ДВ} - M_1 \\ \alpha_1' &= \frac{\alpha_1}{i_R} \\ \theta &= \alpha_1' - \alpha_2 \\ M_1' &= K_{V1} b'(\theta) \frac{d\theta}{dt} + cb(\theta) \\ M_1' &= M_1 i_R \\ J_2 \frac{d^2\alpha_2}{dt^2} &= M_1' + M_{OUT} - M_F' - M_2 \\ M_F' &= (|M_1'| K_{ML} + 1) M_F \left(t, \frac{d\alpha_2}{dt}, z \right), \end{aligned} \right. \quad (24)$$

где U, i, L, R – напряжение, ток, индуктивность и сопротивление в цепи якоря двигателя, k_E, k_M – постоянные противоЭДС и крутящего момента исполнительного двигателя, $b(\theta), b'(\theta)$ – функции описываемые системами уравнений (16) и (17) соответственно, $M_F \left(t, \frac{d\alpha_2}{dt}, z \right)$ – модель трения описываемая системами уравнений (21) или (22).

На рис. 5 изображена структурная схема математической модели механической передачи, соответствующая системе уравнений (24).

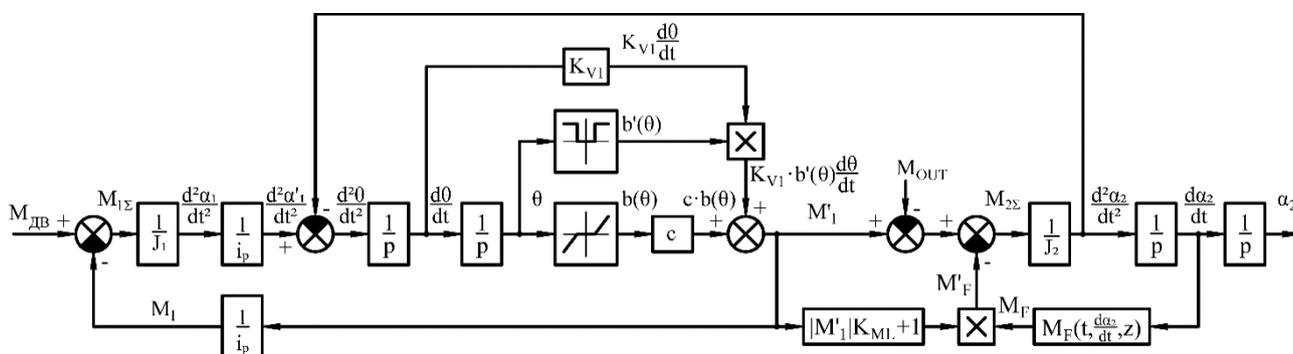


Рис. 5. Структурная математической модели механической передачи с учетом трения, люфта и упругости

3 Определение параметров математической модели исполнительного модуля

Большинство параметров модели исполнительного модуля из системы уравнений (24) определяется по паспортным данным соответствующих изделий, однако нахождение параметров моделей трения из (21) и (22) затруднено. Поэтому рассмотрим определение параметров моделей трения и сравним экспериментальные данные с теоретическими зависимостями.

Некоторые производители механических передач приводят зависимость КПД от входного $\eta(M_1')$ или выходного $\eta(M_{OUT})$ крутящих моментов. Такую кривую также можно получить по результатам эксперимента. Проведем идентификацию параметров K_{ML} и M_C моделей трения (21) или (22). В таблице 2 приведены данные измерения КПД η механической передачи при определенном входном крутящем моменте, приведенном к выходу по средством умножения на передаточное отношение.

Таблица 2

Данные измерения зависимости КПД от приведенного к выходу входного момента

| | | | | | | | | | | |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $M_1', \text{ Нм}$ | 0,1 | 0,11 | 0,15 | 0,2 | 0,24 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 |
| $\eta, \text{ ед.}$ | 0,461 | 0,500 | 0,600 | 0,664 | 0,700 | 0,732 | 0,766 | 0,786 | 0,801 | 0,810 |

Рассмотрим установившийся процесс ($\varepsilon_2 = 0$) для однозвенной или одноступенчатой передачи ($M_2 = 0$). Тогда из уравнения (38) получим:

$$M_1' - M_F' = M_{OUT} \quad (25)$$

В установившемся процессе КПД определяется из формулы:

$$\eta = \frac{M_{OUT}}{M_1} = \frac{M_1' - M_F'}{M_1} = \frac{M_1' - (|M_1'| K_{ML} + 1) M_F}{M_1} \quad (26)$$

Тогда из (25) и (26) предполагая $M_1' > 0$, $|\Omega_2| \gg \delta_{\Omega_2}$ и $|\Omega_2| \gg \Omega_{2S}$ получим соотношения для идентификации параметров:

$$\eta = \frac{M_1'(1 - K_{ML} M_C) - M_C}{M_1'} \quad (27)$$

$$\eta = \frac{M_{OUT}(1-K_{ML}M_C)}{M_{OUT}+M_C} \quad (28)$$

Таким образом уравнение (27) задает зависимость $\eta(M'_1)$, а (28) зависимость $\eta(M_{OUT})$. Используя метод наименьших квадратов по зависимости (27) и данным из таблицы 2, находим ис-

комые параметры. На рис. 6 показана идентифицированная зависимость $\eta(M'_1)$. Из формулы (27), с помощью MATLAB, определены математические ожидания величин $K_{ML} = 3,266$, $M_C = 0,04052$, причем величины лежат в доверительном интервале 95% $K_{ML} \in (3,204; 3,328)$, $M_C \in (0,04022; 0,04082)$.

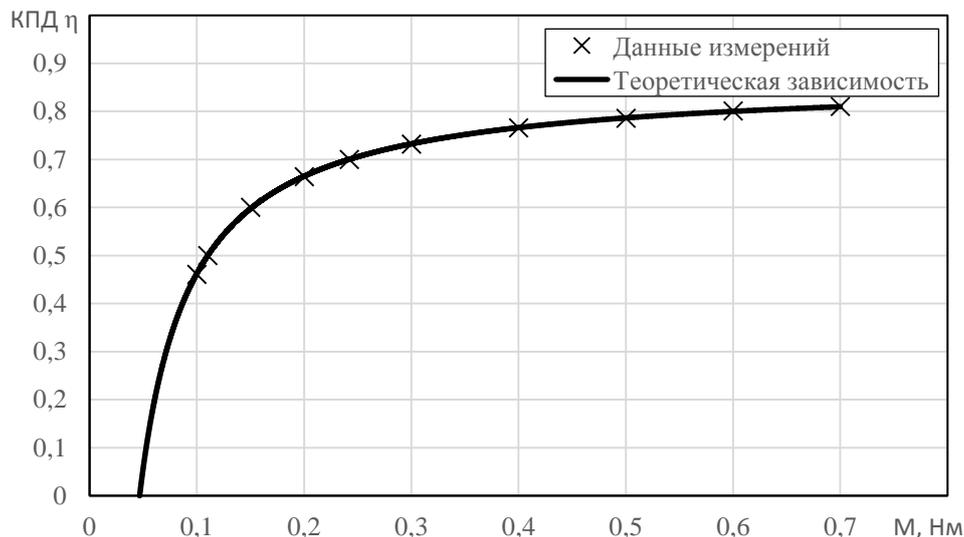


Рис. 6. Теоретическая и экспериментальная зависимость КПД от приведенного входного крутящего момента механической передачи

Момент трения покоя M_S может быть определен из момента страгивания редуктора или вместе с параметром Ω_{2S} идентифицирован методом наименьших квадратов из кривой Штрибека (зависимости момента трения от скорости).

Размер линеаризуемой области δ_{Ω_2} определяет погрешность вычисления скорости около нуля и максимальный шаг численного интегрирования, при котором будет наблюдаться устойчивое численное решение. Поэтому область линеаризации необходимо сделать меньше допустимой погрешности вычисления скорости $\delta_{\Omega_2} < \Omega_{2погр}$, а шаг интегрирования находить из соотношения:

$$dt < \frac{2\delta_{\Omega_2} \cdot J_2}{k \cdot M_S}, \quad (29)$$

где k – коэффициент, зависящий от решателя. Рекомендуется принимать $k > 6 \div 10$.

Определение параметров динамической модели трения (22) можно привести аналогичным образом, только с тем различием, что для определения величины σ_1 требуются динамические испытания. Параметр динамической модели σ_0 характеризует жесткость соединения трения и может быть измерен по упругому относительному микросмещению трущихся поверхностей.

4 Математическое моделирование исполнительных модулей захватных устройств роботов

Для верификации полученных математических моделей приводов была проведена идентификация параметров модели (24) привода захватного устройства как со статической моделью трения (21), так и с динамической (22) и проведено моделирование характерных явлений. В результате идентификации были получены следующие значения параметров модели: $L = 0,746\text{мГн}$, $R = 7,25\text{Ом}$, $k_E = 0,0453\text{В} \cdot \text{с/рад}$, $k_M = 0,0452\text{Нм/А}$, $J_1 = 9,49 \cdot 10^{-7}\text{кг} \cdot \text{м}^2$, $i_R = 28$, $K_{V1} = 0,146\text{Нм} \cdot \text{с/рад}$, $c = 1003\text{Нм/рад}$, $J_2 = 0,0021\text{кг} \cdot \text{м}^2$, $K_{ML} = 3,266$, $M_C = 0,0405\text{Нм}$, $M_S = 0,0467\text{Нм}$, $\delta_{\Omega_2} = 10^{-4}\text{рад/с}$, $\Omega_{2S} = 10,47\text{рад/с}$, $K_{V2} = 0\text{Нм} \cdot \text{с/рад}$, $\sigma_0 = 100\text{Нм/рад}$, $\sigma_1 = 0,923\text{Нм} \cdot \text{с/рад}$, $T_{min} = 2 \cdot 10^{-6}\text{с}$.

На рис. 7 представлено моделирование гистерезиса момента трения в области упругих микросмещений без взаимного проскальзывания поверхностей. Моделировалось перемещение при воздействии крутящего момента $M = a(t) \cdot \sin(\omega t)$, где амплитуда $a(t)$ линейно возрастает, но не превышает момент страгивания

M_s . Из рис. 7 видно, что полученная динамическая модель учитывает гистерезис сил трения при

микродвижениях. Для статической модели петля гистерезиса вырождается в линию.

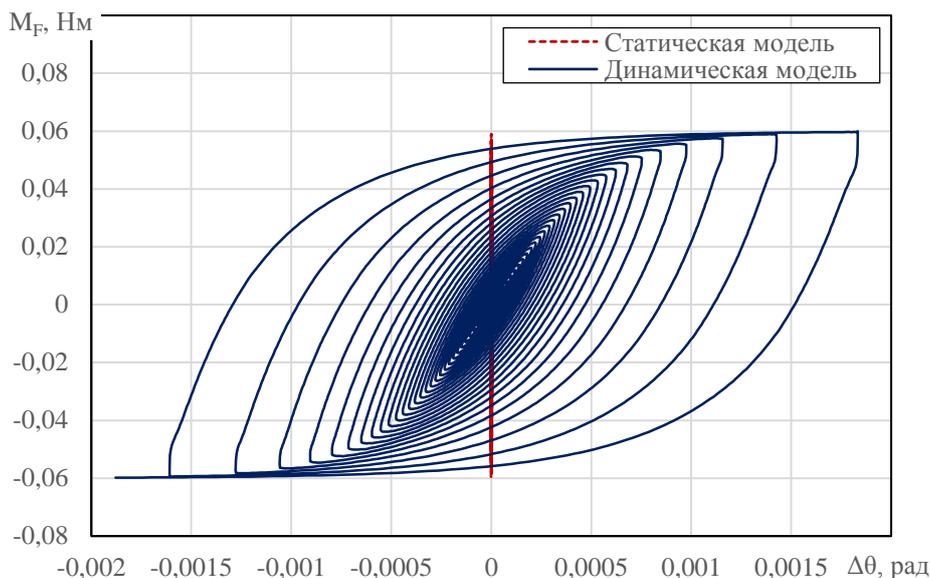


Рис. 7. График момента трения при упругом микроперемещении без проскальзывания

На рис. 8 представлено сравнение зависимостей силы трения от скорости. Относительная скорость в месте контакта менялась по закону $\Omega = a \cdot \sin(\omega t) + b$. Из рисунка видно, что обе

модели учитывают эффект Штрибека, однако динамическая модель, кроме этого, обеспечивает учет гистерезиса, вызванного лагом трения, а также корректно описывает трение при микроперемещениях без скольжения. Ω_2 , рад/с

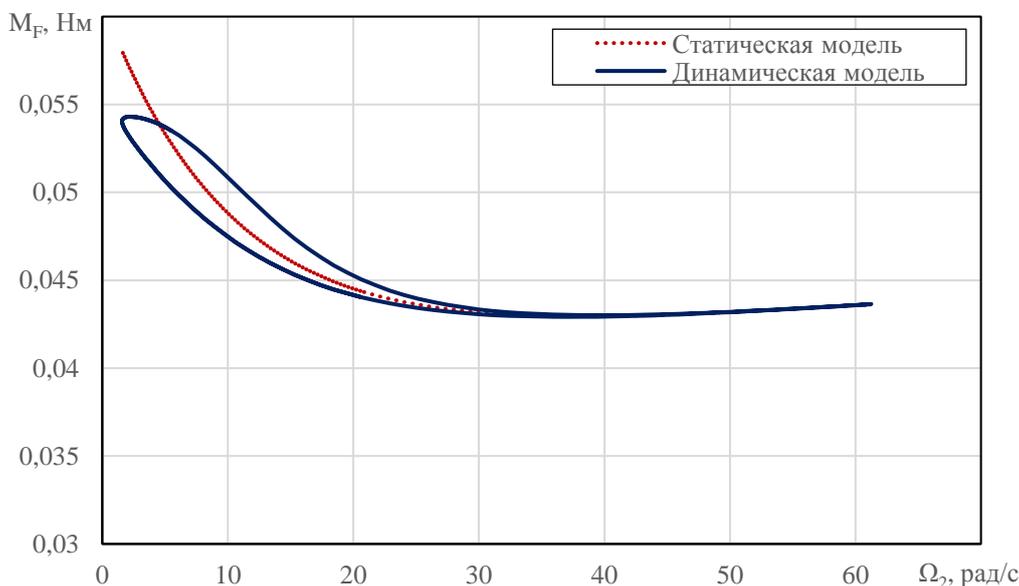


Рис. 8. Зависимость силы трения от угловой скорости

Заключение. В рамках статьи были рассмотрены статические и динамические математические модели трения пригодные для моделирования динамики мехатронных модулей. За основу статической модели трения в мехатронном модуле была взята модель кулоновского трения с обобщенной зависимостью Штрибека линеаризованной в области нулевых скоростей, а за основу динамической модели была взята модель

ЛуГре. Модель трения ЛуГре была модифицирована таким образом, чтобы обеспечить конвергенцию численного решения при заданном шаге интегрирования, что позволяет ее использовать в системах реального времени в отличие от классической модели [19].

Так же была предложена обобщенная модель механической передачи мехатронного модуля учитывающая люфт, упругость, трение, а

также зависимость трения от нагрузочного момента, отличающаяся отсутствием алгебраических петель в сравнении с моделью, предложенной в труде [1]. В данную модель были интегрированы предложенные модели трения.

Для предложенной математической модели мехатронного модуля был рассмотрен подход к идентификации ее параметров. Сравнение характеристик, полученных на основе идентификации параметров с экспериментальными данными показал их достаточно точное совпадение.

Математическое моделирование эффектов трения по статической и динамической моделям показало, что они могут использоваться для учета каких эффектов как: Штрибек эффект, гистерезис сил трения в зависимости от относительного перемещения трущихся поверхностей, лаг сил трения, гистерезис сил трения на кривой Штрибека, прерывистое движение и упругость при относительном микросмещении.

Математическая модель исполнительных мехатронных модулей, рассмотренная в данной работе, за счет своей относительной вычислительной простоты, может быть использована как при моделировании захватных устройств и манипуляторов роботов с учётом динамики приводов, так и в системах реального времени для оценки параметров состояния систем. В частности, такие модели могут использоваться для компенсации влияния трения в силомоментных и позиционно-силовых системах управления. Кроме того, за счет отсутствия алгебраических петель данная модель может быть реализована в множестве прикладных приложений для математического моделирования имеющих встроенный численный решатель дифференциальных уравнений. А простота модели исполнительного мехатронного модуля позволяет оценивать большинство ее параметров по паспортным данным составляющих изделий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Блейз Е.С., Бродовский В.Н., Введенский В. А. Следящие приводы. Т. 1: Электрические следящие приводы. Чемоданов Б.К., ред. Москва, Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999, 904 с.
2. Grossard M., Martin J., Cruz Pacheco G. F. Control-oriented design and robust decentralized control of the CEA dexterous robot hand // IEEE/ASME Transactions on Mechatronics. 2015. Vol. 20. №4. Pp. 1809–1821.
3. Bona B., Indri M. Friction compensation in robotics: an overview // Proceedings of the 44th IEEE Conference on Decision and Control. IEEE, 2005. Pp. 4360–4367.
4. Marton L., Lantos B. Control of robotic systems with unknown friction and payload // IEEE Transactions on Control Systems Technology. 2011. Vol. 19. №6. Pp. 1534–1539.
5. Lu L., Yao B., Wang Q., Chen Z. Adaptive robust control of linear motors with dynamic friction compensation using modified LuGre model // Automatica. 2009. Vol. 45. №12. Pp. 2890–2896.
6. Haddadin S., De Luca A., Albu-Schäffer A. Robot collisions: A survey on detection, isolation, and identification // IEEE Transactions on Robotics. 2017. Vol. 33. №6. Pp. 1292–1312.
7. Marques F., Flores P., Claro J., Lankarani H. A survey and comparison of several friction force models for dynamic analysis of multibody mechanical systems // Nonlinear Dynamics. 2016. Vol. 86. №3. Pp. 1407–1443.
8. Grossard M., Felipe G., Hamon G. Force sensing strategy for the backdrivable and dexterous CEA hand // Advanced Robotics (ICAR), 2013 16th International Conference on. IEEE. 2013. Pp. 1–7.
9. Freidovich L., Robertsson A., Shiriaev A., Johansson R. LuGre-model-based friction compensation // IEEE Transactions on Control Systems Technology. 2010. Vol. 18. №1. Pp. 194–200.
10. Jamaludin Z., Brussel V., Swevers J. Friction compensation of an XY feed table using friction-model-based feedforward and an inverse-model-based disturbance observer // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2009. Vol. 56. №10. Pp. 3848–3853.
11. Yao J., Jiao Z., Ma D. RISE-based precision motion control of DC motors with continuous friction compensation // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2014. Vol. 61. №12. Pp. 7067–7075.
12. Нгуен Ч.К. Влияние люфта и сухого трения на устойчивость мехатронного привода (аналитическое исследование) // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2006. № 28. С. 157–162.
13. Bittencourt A., Wernholt E., Sander-Tavallaey S., An extended friction model to capture load and temperature effects in robot joints // Intelligent Robots and Systems (IROS), 2010 IEEE/RSJ International Conference on. IEEE. 2010. Pp. 6161–6167.
14. Lantos B., Marton L. Nonlinear control of vehicles and robots. Springer Science & Business Media. 2010. P. 461.
15. Ruderman M. Modeling of elastic robot joints with nonlinear damping and hysteresis // Robotic Systems-Applications, Control and Programming. InTech. 2012. Pp. 293–312.
16. Ruderman M. Tracking control of motor drives using feedforward friction observer // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2014. Vol. 61. №7. Pp. 3727–3735.
17. De Wit C., Olsson H., Astrom K., Lischinsky P. A new model for control of systems with

friction // IEEE Transactions on automatic control. 1995. Vol. 40. №3. Pp. 419–425.

18. Lee T.H., Tan K.K., Huang S. Adaptive friction compensation with a dynamical friction model // IEEE ASME transactions on mechatronics. 2011. Vol. 16. №1. Pp. 133–140.

19. Johansson K., De-Wit C. Revisiting the LuGre friction model // IEEE control Systems. 2008. Vol. 28. №6. Pp. 101–114.

20. Dupont P., Hayward V., Armstrong B., Alt-peter F. Single state elastoplastic friction models // IEEE Transactions on automatic control. 2002. Vol. 47. №5. Pp. 787–792.

21. Liu Y.F., Li J., Zhang Z.M., Hu X.H., Zhang W.J. Experimental comparison of five friction mod-

els on the same test-bed of the micro stick-slip motion system // Mechanical Sciences. 2015. Vol. 6. №1. Pp. 15–28.

22. Pennestri E., Rossi V., Salvini P., Valentini P. Review and comparison of dry friction force models // Nonlinear dynamics. 2016. Vol. 83. №4. Pp. 1785–1801.

23. Swevers J., Al-Bender F., Ganseman C., Projogo T. An integrated friction model structure with improved presliding behavior for accurate friction compensation // IEEE Transactions on automatic control. 2000. Vol. 45. №4. Pp. 675–686.

24. Al-Bender F., Lampaert V., Swevers J. The generalized Maxwell-slip model a novel model for friction simulation and compensation // IEEE Transactions on automatic control. 2005. Vol. 50. №11. Pp. 1883–1887.

Информация об авторах

Серебряный Владимир Валерьевич, кандидат технических наук, заведующий кафедрой СМ-7 "Робототехнические системы и мехатроника". E-mail: vsereb@bmstu.ru. Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана. Россия, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

Бошляков Андрей Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой СМ-7 "Робототехнические системы и мехатроника". E-mail: boshlyakov@mail.ru. Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана. Россия, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

Огородник Александр Иванович, ассистент преподавателя кафедры СМ-7 "Робототехнические системы и мехатроника". E-mail: alexander.ogorodnik@bmstu.ru. Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана. 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

Поступила в апрель 2019 г.

© Серебряный В.В., Бошляков А.А., Огородник А.И., 2019

¹Serebrennyj V.V., ¹Boshlyakov A.A., ^{1,*}Ogorodnik A.I.

¹Bauman Moscow State Technical University
Russia, 105005, Moscow, st. Baumanskaya 2-ya, 5
*E-mail: alexander.ogorodnik@bmstu.ru

DRIVE UNIT MATHEMATICAL MODEL OF ROBOT GRIPPING DEVICES

Abstract. Today, the task of increasing the drive unit technical characteristics of robot gripping devices is relevant. In many respects, the drive motor and gear unit determine the quality of work of such modules, which can introduce additional elasticity, backlash and friction into the system. In turn, backlash and friction in the control loop decrease the speed and accuracy of the mechatronic module and can cause self-oscillations. However, significant progress in hardware performance of mechatronic and robotic systems makes it possible to more accurately estimate and control the force and torque state parameters in the output link and to carry out active algorithmic compensation for the effects of friction and elasticity.

Such observers are usually based on detailed mathematical models and allows to implement force control without the use of special sensors, which is especially important in advanced gripping devices due to the requirements imposed on the mass-dimensional parameters of the product. Therefore, the purpose of this article is to make a general mathematical model of the robot drive unit with a rational relationship of complexity and accuracy. The models' parameters should be easily identified from the constituent elements of passport data or the experiment results. The model should allow estimating the state parameters of mechanical transmission in real time; take into account the main friction effects. However, it should be simple enough for analytical conclusion and numerical modeling. As part of the article, various friction models are considered. On the basis of this analysis, a modified friction model is proposed. It makes possible to estimate the state parameters of mechanical transmission in real time. It is built into the general mathematical model of the mechatronic

module. The results of mathematical simulation are close to experimental data. The considered drive unit mathematical model can be used to identify the state parameters of the mechatronic module in real time and implement force control based on estimation. In addition, the obtained model allows to conduct mathematical simulation of the robot taking into account the drive unit dynamics.

Keywords: friction, mechatronic module, drive, backlash, elasticity, gearbox, mechanical transmission.

REFERENCES

1. Blejz E.S., Brodovskij V.N., Vvedenskij V.A. Follower drives [*Sledyashhie privody*]. V.1: Electric tracking drives. Chemodov, B.K., ed. Moscow, Moscow State Technical University Publishing House. N.E. Bauman. 1999. 904 p. (rus)
2. Grossard M., Martin J., Cruz Pacheco G.F. Control-oriented design and robust decentralized control of the CEA dexterous robot hand. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*. 2015. vol. 20(4). Pp. 1809–1821.
3. Bona B., Indri M. Friction compensation in robotics: an overview. *Proceedings of the 44th IEEE Conference on Decision and Control*. IEEE. 2005. Pp. 4360–4367.
4. Marton L., Lantos B. Control of robotic systems with unknown friction and payload. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. 2011. Vol. 19(6). Pp. 1534–1539.
5. Lu L., Yao B., Wang Q., Chen Z. Adaptive robust control of linear motors with dynamic friction compensation using modified LuGre model. *Automatica*. 2009. Vol. 45(12). Pp. 2890–2896.
6. Haddadin S., De Luca A., Albu-Schäffer A. Robot collisions: A survey on detection, isolation, and identification. *IEEE Transactions on Robotics*. 2017. Vol. 33(6). Pp. 1292–1312.
7. Marques F., Flores P., Claro J., Lankarani H. A survey and comparison of several friction force models for dynamic analysis of multibody mechanical systems. *Nonlinear Dynamics*. 2016. Vol. 86(3). Pp. 1407–1443.
8. Grossard M., Felipe G., Hamon G. Force sensing strategy for the backdrivable and dexterous CEA hand. *Advanced Robotics (ICAR)*. 2013 16th International Conference on. IEEE. 2013. Pp. 1–7.
9. Freidovich L., Robertsson A., Shiriaev A., Johansson R. LuGre-model-based friction compensation. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. 2010. Vol. 18(1). Pp. 194–200.
10. Jamaludin Z., Brussel V., Swevers J. Friction compensation of an XY feed table using friction-model-based feedforward and an inverse-model-based disturbance observer. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2009. Vol. 56(10). Pp. 3848–3853.
11. Yao J., Jiao Z., Ma D. RISE-based precision motion control of DC motors with continuous friction compensation. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2014. Vol. 61(12). Pp. 7067–7075.
12. Nguen CH. K. Effect of backlash and dry friction on the stability of mechatronic drive (analytical study) [*Vliyanie lyufta i sukhogo treniya na ustojchivost' mekhatronnogo privoda (analiticheskoe issledovanie)*]. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik informatsionnykh tekhnologij, mekhaniki i optiki*. 2006. No. 28. Pp. 157–162. (rus)
13. Bittencourt A., Wernholt E., Sander-Tavalaey S. An extended friction model to capture load and temperature effects in robot joints. *Intelligent Robots and Systems (IROS), 2010 IEEE/RSJ International Conference on*, IEEE. 2010. Pp. 6161–6167.
14. Lantos B., Marton L. Nonlinear control of vehicles and robots. *Springer Science & Business Media*. 2010. P. 461.
15. Ruderman M. Modeling of elastic robot joints with nonlinear damping and hysteresis. *Robotic Systems-Applications, Control and Programming*. InTech. 2012. Pp. 293–312.
16. Ruderman M. Tracking control of motor drives using feedforward friction observer. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2014. Vol. 61(7). Pp. 3727–3735.
17. De Wit C., Olsson H., Astrom K., Lischinsky P. A new model for control of systems with friction. *IEEE Transactions on automatic control*. 1995. Vol. 40(3). Pp. 419–425.
18. Lee T.H., Tan K.K., Huang S. Adaptive friction compensation with a dynamical friction model. *IEEE ASME transactions on mechatronics*. 2011. Vol. 16(1). Pp. 133–140.
19. Johansson K., De-Wit C. Revisiting the LuGre friction model. *IEEE control Systems*. 2008. Vol. 28(6). Pp. 101–114.
20. Dupont P., Hayward V., Armstrong B., Alt-peter F. Single state elastoplastic friction models. *IEEE Transactions on automatic control*. 2002. Vol. 47(5). Pp. 787–792.
21. Liu Y.F., Li J., Zhang Z.M., Hu X.H., Zhang W.J. Experimental comparison of five friction models on the same test-bed of the micro stick-slip motion system. *Mechanical Sciences*. 2015. Vol. 6(1). Pp. 15–28.
22. Pennestrì E., Rossi V., Salvini P., Valentini P. Review and comparison of dry friction force models. *Nonlinear dynamics*. 2016. Vol. 83(4). Pp. 1785–1801.
23. Swevers J., Al-Bender F., Ganseman C., Projogo T. An integrated friction model structure with improved presliding behavior for accurate friction compensation. *IEEE Transactions on automatic control*. 2000. Vol. 45(4). Pp. 675–686.

24. Al-Bender F., Lampaert V., Swevers J. Transactions on automatic control. 2005. Vol. 50(11). Pp. 1883–1887.
The generalized Maxwell-slip model a novel model for friction simulation and compensation. IEEE

Information about the authors

Serebrennyj, Vladimir V. PhD. E-mail: vsereb@bmstu.ru. Bauman Moscow State Technical University, Russia, 105005, Moscow, st. Baumanskaya 2-ya, 5.

Boshlyakov, Andrej A. PhD, Associate Professor. E-mail: boshlyakov@mail.ru. Bauman Moscow State Technical University, Russia, 105005, Moscow, st. Baumanskaya 2-ya, 5.

Ogorodnik, Aleksandr I. Assistant Lecturer. E-mail: alexander.ogorodnik@bmstu.ru. Bauman Moscow State Technical University. Russia, 105005, Moscow, st. Baumanskaya 2-ya, 5.

Received in April 2019

Для цитирования:

Серебрянный В.В., Бошляков А.А., Огородник А.И. Математическая модель исполнительных модулей захватных устройств роботов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 6. С. 123–135. DOI:10.34031/article_5d079791aea3.67485144

For citation:

Serebrennyj V.V., Boshlyakov A.A., Ogorodnik A.I. Drive unit mathematical model of robot gripping devices. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 6. Pp. 123–135. DOI:10.34031/article_5d079791aea3.67485144

DOI: 10.34031/article_5d01f05d0d73c7.45284021

¹Сазанович В.В., ²Муравьев К.А.¹Управление по переработке газа ПАО «Сургутнефтегаз»

Россия, 628415, г. Сургут, ул. Энтузиастов, д. 59

²Сургутский институт нефти и газа, филиал Тюменского индустриального университета.

Россия, 628415, г. Сургут, ул. Энтузиастов, д. 38

*E-mail: mkasing@mail.ru

СОВМЕСТНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РАДАРНОГО МЕТОДА И МЕТОДА ОСНОВАННОГО НА ПЕРЕПАДЕ ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ В РЕЗЕРВУАРАХ ХРАНЕНИЯ СЖИЖЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ И ЛЕГКОВОСПЛАМЕНЯЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Аннотация. В статье показана разница между требованиями правил безопасности, применяемыми ранее и применяемыми сейчас в области контроля уровня в шаровых резервуарах для хранения сжиженных углеводородных газов и легко воспламеняющихся жидкостей. Приведено описание двух из самых применяемых в настоящее время методов контроля уровня, показаны их достоинства и недостатки. Описываются конструктивные особенности строения шаровых резервуаров, методы присоединения к ним датчиков контроля уровня. Показана зависимость изменения плотности жидкого продукта от изменения температуры этого продукта. Описываются изменения температуры окружающей среды, связанные с резко континентальными климатическими условиями географического расположения Западно-Сургутского месторождения. Приводится описание сложности контроля за температурой и плотностью рабочей жидкости при теплообмене между жидкостью и окружающей средой в связи с разницей начальных температур между ними. Приводится оценка качества измерения уровня и расчета изменения плотности продукта в шаровых резервуарах при использовании двух методов измерения уровня. А также говорится о методе перерасчета показаний двух принципов измерения уровня, с помощью которого появляется возможность высчитывать значения плотности жидкости, следить за изменениями плотности, без информации о текущих значениях температуры жидкости.

Ключевые слова: автоматизированная система управления технологическим процессом, датчики перепада давления, Западно-Сургутское месторождение, легко воспламеняющиеся жидкости, сжиженные углеводородные газы, пропан-бутан технический, радарные уровнемеры, уровень, шаровые резервуары.

Введение. Актуальность темы. Основной пик развития нефтегазодобывающей отрасли на Западно-Сургутском месторождении пришелся на 60-е–80-е годы двадцатого века. За это время была сильно развита инфраструктура отрасли, построено большое количество производственных мощностей, эксплуатируемых до сих пор. Но промышленность не останавливается на месте, а продолжает развиваться. Совершенствуются методы добычи, хранения и переработки, совершенствуются методы контроля и измерения. А также ужесточаются требования безопасности к эксплуатации оборудования. Современные требования безопасности обязаны выполняться и для оборудования, которое эксплуатируется с 60-х–80-х годов прошлого века, т.е. на данном оборудовании должны проводиться работы для приведения оборудования к соответствию с новыми требованиями.

Постановка проблемы и анализ литературы. В 2003 году были разработаны правила безопасности ПБ 09-566-03 «Правила безопасности для складов сжиженных углеводородных газов и легко воспламеняющихся жидкостей под

давлением» [15], в которые, по отношению к применяемым ранее правилам, был внесен ряд изменений и дополнений, в том числе и к принципу контроля уровня. Согласно п. 8.11 новых правил: «Резервуары должны оснащаться не менее чем тремя приборами для измерения уровня. Предупредительная и предаварийная сигнализация предельного верхнего и нижнего уровней должна осуществляться от двух независимых датчиков с отдельными точками отбора параметров технологической среды. Значение уставок предупредительной сигнализации предельных верхнего и нижнего уровней указывается в проекте с учетом времени, необходимого на проведение операций по прекращению подачи СУГ и ЛВЖ в резервуар и откачке среды из резервуара».

Но согласно более ранним редакциям данных правил количество приборов измерения уровня равнялось двум, на основании чего на резервуарах прошлого века устанавливалось всего два уровнемера. Т.е. возникла необходимость монтажа третьего уровнемера (требования к сиг-

нализации предельных верхнего и нижнего уровней не изменились, поэтому в статье на них внимание не акцентируется).

Для рассмотрения проблемы, возьмем для примера один из активно применяемых в 60-е – 80-е годы шаровых резервуаров [2, 4, 8] объемом $V = 600 \text{ м}^3$ (рис. 1, 2, 3).

Измерение уровня на данных резервуарах производится с помощью датчиков перепада давления.

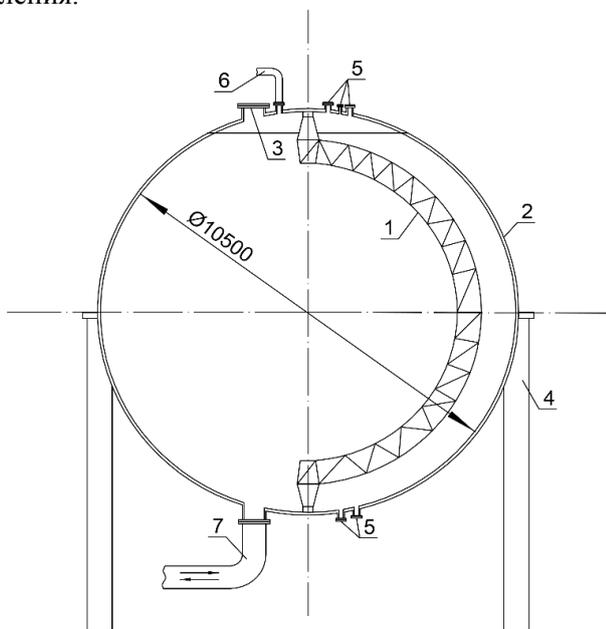


Рис. 1. Шаровый резервуар $V = 600 \text{ м}^3$

- 1 – поворотная лестница; 2 – корпус; 3 – люк обслуживания резервуара; 4 – опора; 5 – фланцы; 6 – трубопровод факельного коллектора; 7 – трубопровод подачи-откачки продукта

Как видно из рисунка 2, в верхней части резервуара расположены два фланца для импульсных линий двух датчиков перепада давления. Аналогично существует два фланца для двух датчиков перепада давления и внизу резервуара (рисунки 3). Импульсная линия, это металлическая трубка (обычно диаметром 10–15 мм).

Подключение импульсной линии к резервуару происходит следующим образом (рисунки 4). К фланцу (1) резервуара приваривается штуцер (3), к которому с помощью резьбового штуцерного соединителя (4) прикручивается отсечной кран. К импульсной линии (6) так же прикрепляется резьбовой штуцерный соединитель и так же происходит резьбовое соединение с краном [11].

Приведем описание и принцип действия датчиков перепада давления для измерения уровня в шаровых резервуарах [7, 9, 10, 12].

Датчики давления (перепада давления) используют наиболее распространенную технологию измерения уровня жидкости. Датчики имеют несложную конструкцию, отличаются простотой монтажа и эксплуатации. Одной из важнейших

эксплуатационных характеристик датчика является то, что его можно вывести из эксплуатации без нарушения герметичности резервуара, т.к. они присоединяются к резервуару импульсными линиями (трубками), которые отсекаются от резервуара запорной арматурой (отсечными кранами).

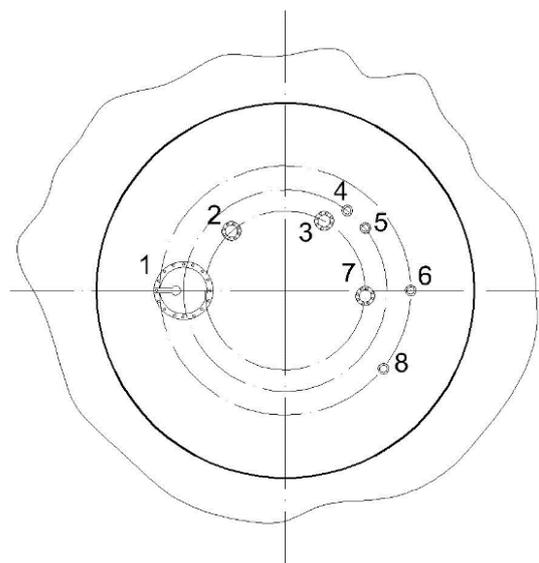


Рис. 2. Верх резервуара $V = 600 \text{ м}^3$

- 1 – люк обслуживания резервуара; 2 – фланец трубопровода факельного коллектора; 3 – резервный фланец; 4 – фланец для подключения импульсной линии датчика перепада давления 1; 5 – фланец для подключения импульсной линии датчика перепада давления 2; 6 – фланец для сигнализатора верхнего уровня; 7 – резервный фланец; 8 – фланец для подачи газа подпора (сухого газа)

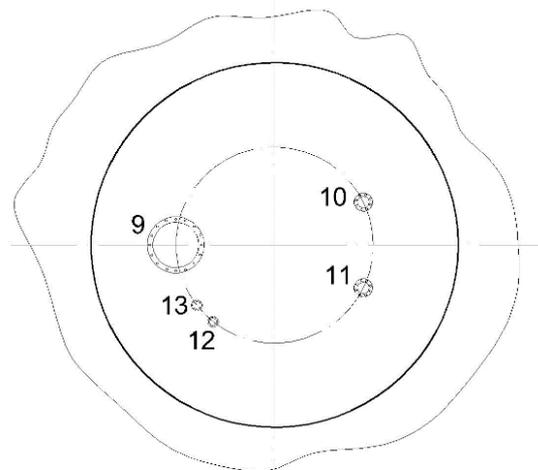


Рис. 3. Низ резервуара $V = 600 \text{ м}^3$

- 9 – Фланец для трубопровода подачи-откачки продукта; 10 – фланец для подключения импульсной линии датчика перепада давления 1; 11 – фланец для подключения импульсной линии датчика перепада давления 2; 12 – фланец для сигнализатора нижнего уровня; 13 – резервный фланец

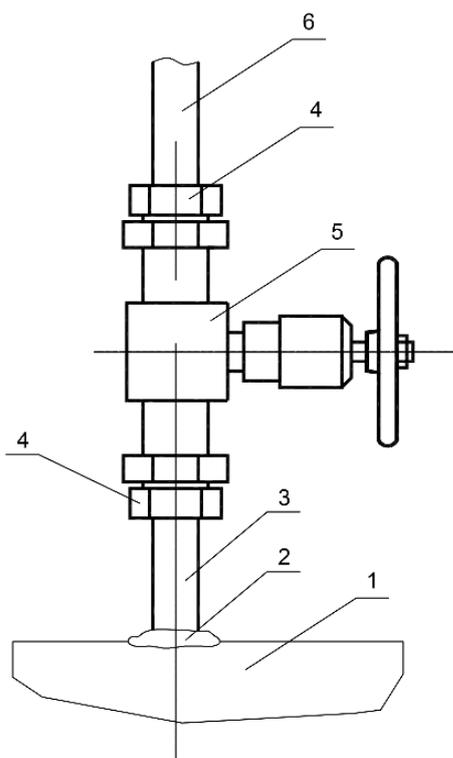


Рис. 4. Подсоединение импульсной линии датчика перепада давления к шаровому резервуару
 1 – поверхность фланца резервуара; 2 – сварной шов;
 3 – штуцер; 4 – соединитель штуцерный;
 5 – кран отсечной; 6 – импульсная линия (труба)

Для резервуаров, находящихся под давлением парагазового пространства, применяются датчики перепада давления. Одна из импульсных линий присоединяется к верху резервуара (верхний отбор), другая к низу (нижний отбор).

На нижнем отборе вблизи дна резервуара, измеряется сумма гидростатического давления (давления столба жидкости, обусловленное весом жидкости) и давления в парагазовом пространстве (газ подпора, см. рис. 2, позиция 8). На верхнем отборе измеряется только давление в парагазовом пространстве. Разность давлений на отборах (дифференциальное давление) используется для определения уровня.

Уровень = Дифференциальное давление / Удельный вес

Единицы измерения давления не соответствуют единицам измерения длин, поэтому приходится производить перерасчет единиц измерения (1 м в.ст. = 0,1 кг/см² = 9,81 кПа).

Достоинства: датчики экономичны, просты в обслуживании. Применимы для многих емкостей с разными жидкостями, работают в широком диапазоне температур и давлений, при наличии пены и беспокойной поверхности.

Недостатки: Изменение плотности жидкости способно влиять на погрешность показаний дат-

чика. Требуется защиты импульсных линий от образования в них конденсата и обледенения в зимнее время года.

Методика решения проблемы. Самым простым методом решения проблемы видится монтаж третьего датчика перепада давления с присоединением импульсных линий к резервным фланцам верха и низа резервуара (см. рис. 2, 3). Но Западно-Сургутское месторождение расположено на территории с ярко выраженными резко климатическими изменениями температуры окружающей среды от 55 °С в летний период времени до минус 55 °С в зимний (без учета самых экстремальных значений температур). При изменении температуры меняется плотность вещества [1, 5], а значит при падении температуры происходит увеличение плотности жидкости, хранящейся в резервуаре, уменьшение объема жидкости при той же ее массе и, соответственно, уменьшается уровень жидкости в резервуаре. Как говорилось выше, изменение плотности жидкости влияет на погрешность показания датчика перепада давления.

Рассмотрим альтернативу третьему датчику перепада давления.

Последние десятилетия промышленностью стали активно разрабатываться и выпускаться датчики измерения уровня, лишенные недостатков датчиков перепада давления – радарные уровнемеры [7, 9, 10, 12].

Работа радарных (радиолокационных) уровнемеров основывается на явлении отражения электромагнитных волн от границы раздела сред, различающихся электрическими и магнитными свойствами.

Скорость v распространения электромагнитной волны в среде определяется значениями ее диэлектрической ϵ и магнитной μ проницаемостей:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$

где c – скорость света в вакууме.

Радарный уровнемер состоит из излучателя электромагнитной энергии, приемника и преобразователя измерения интервала времени.

Волны, достигая границы раздела сред (газ-жидкость), отражаются от второй среды и возвращаются к приемнику. Затем высчитывается интервал времени движения волн, который преобразуется в путь – т.е. при делении на два, в расстояние от уровнемера до уровня жидкости.

Достоинства: локация ведется через газовую среду, без непосредственного контакта датчика с жидкостью. Магнитные и диэлектрические про-

нищаемости газов невелики и практически не зависят от изменения параметров и свойств газа, что не влияет на погрешность уровнемеров.

Недостатки: трудность точного измерения малых интервалов времени, чувствительность к нахождению в зоне излучения посторонних предметов, сложная электроника, требующая бережного обращения, высокая стоимость.

Посмотрим теперь на чертеж резервуара, с установленными на нем датчиками измерения уровня (рис. 5).

На рисунке кроме датчиков давления LT1 и LT2 (LT - Level Transmitter) изображен радарный уровнемер LT3 [7, 9, 12]. Как видно из рисунка, в зоне излучения (4) радарного уровнемера отсутствуют посторонние предметы, что подтверждает возможность применения радарного уровнемера для шарового резервуара. Уровнемер врезается непосредственно в резервный фланец 7 верха резервуара согласно рис. 2.

Перейдем к теперь к рассмотрению эффектов, которые можно получить при применении двух методов измерения уровня.

Как говорилось выше, плотность вещества зависит от температуры. Рассмотрим изменение плотности на примере пропан-бутана технического (ПБТ) – одного из продуктов нефтегазодобывающей отрасли Западно-Сургутского месторождения.

На рис. 6 представлена зависимость изменения плотности от температуры для ПБТ с 60 % содержанием в смеси пропана и 40 % содержанием бутана (60/40) [14].

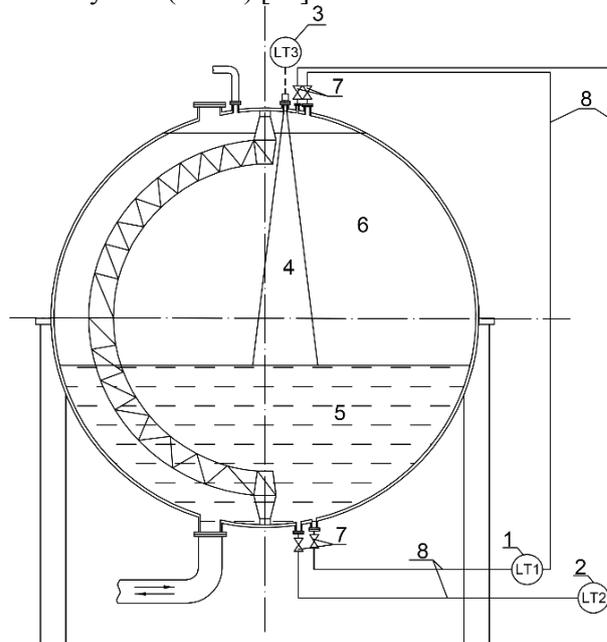


Рис. 5. Шаровый резервуар с установленными на нем датчиками уровня

- 1 – датчик перепада давления 1 (LT1); 2 – датчик перепада давления 2 (LT2); 3 – радарный уровнемер (LT3); 4 – зона излучения радарного уровнемера;
- 5 – жидкость; 6. газ подпора (сухой газ); 7 – отсежные краны; 8 – импульсные линии

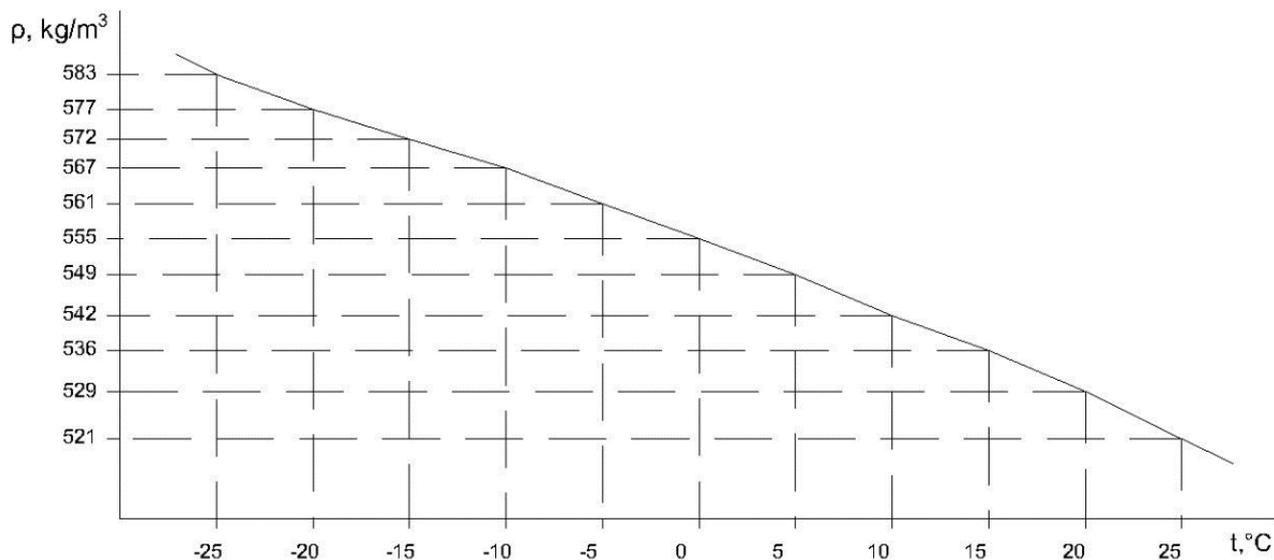


Рис. 6. Зависимость изменения плотности от температуры для ПБТ с процентным содержанием 60/40

Как видно из рисунка, при изменении температуры от -25°C до 25°C плотность изменилась на 62 kg/m^3 .

Произведем расчет давления ПБТ при температуре 20°C ($\rho = 529 \text{ kg/m}^3$).

Применим для расчетов формулу гидростатического давления столба жидкости:

$$P = \rho gh,$$

где g – ускорение свободного падения, m/c^2 ,
 h – высота жидкости, m .

При 20°C , при высоте жидкости ПБТ равной 4 m , давление будет составлять:

$$529 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/c}^2 \cdot 4 \text{ m} = 20,7368 \text{ kPa}.$$

Если температура окружающей среды уменьшится до $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, то плотность ПБТ увеличится до 583 кг/м^3 . Т.е., при сохранении той же массы жидкости (давления), высота столба жидкости станет равной:

$$h = P/(\rho g);$$

$$20,7368\text{ кПа}/(583\text{ кг/м}^3 \cdot 9,8\text{ м/с}^2) = 3,630\text{ м}.$$

Т.е. при изменении температуры от $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ высота ПБТ уменьшится на $0,37\text{ м}$.

Показания от датчиков перепада давления (в кПа) передаются в автоматизированную систему управления технологическим процессом (АСУ ТП), где и производится перерасчет давления в высоту уровня жидкости [3, 6, 13].

В АСУ ТП можно автоматически изменять значения плотности по табличным данным с учетом температуры окружающей среды. Но готовый продукт подается в шаровые резервуары (по

трубопроводу 7, согласно рисунка 1) с температурой, отличной от температуры окружающего воздуха – к примеру, при температуре воздуха $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ температура подаваемой жидкости может составлять $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. В результате теплообмена температура жидкости начнет постепенное изменение в сторону уменьшения. В приведенном графике (рис. 6) указано изменение плотности ПБТ в процентном содержании пропан/бутан 60/40, но реально подаваемое значение процентного содержания так же может отличаться от табличных данных – к примеру 67/33 или 52/48. На основании сказанного можно прийти к выводу, что в реальных условиях ввести в АСУ ТП реальное значение плотности невозможно.

Теперь рассмотрим совместное применение на резервуаре двух методов измерения уровня – радарный метод и метод контроля перепада давления.

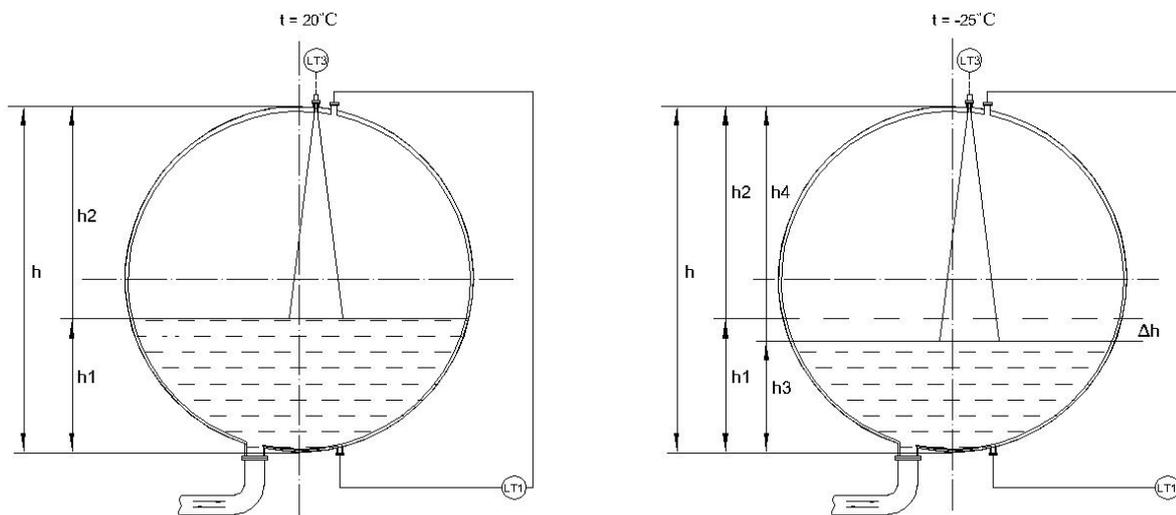


Рис. 7. Изменение уровня жидкости в шаровом резервуаре при изменении температуры

На рисунке 7 схематически изображено изменение уровня жидкости в резервуаре при изменении температуры. LT1 – датчик перепада давления, LT3 – радарный уровнемер.

Допустим, при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ плотность жидкости нам известна. Высота жидкости – $h1$. Высота свободного от жидкости пространства – $h2$. Радарный уровнемер передает в АСУ ТП (реализованную на базе микропроцессорной техники) значение $h2$, которое преобразовывается в АСУ ТП в значение $h1$ (диаметр резервуара – h , $h - h2 = h1$).

Показания от датчика перепада давления так же передаются в АСУ ТП, где с учетом известного значения ρ_1 происходит перерасчет давления в значение $h1$.

При понижении температуры жидкости до $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, плотность увеличивается до значения ρ_2 ,

уровень падает на Δh и понижается до значения $h1 - \Delta h = h3$.

Показания радарного уровнемера LT3 фиксируют это изменение: $h2 + \Delta h = h4$.

В АСУ ТП после перерасчета значений от радарного уровнемера выдает измененное значение уровня: $h - h4 = h3$.

Так как давление жидкости в резервуаре не изменилось, то и показания от датчика перепада давления LT1 так же не изменились.

Согласно формуле, значение давления при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ будет:

$$P = \rho_1 g h_1,$$

При температуре $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$P = \rho_2 g h_3 = \rho_2 g (h_1 - \Delta h).$$

Сравнивая формулы для двух значений температур, получаем:

$$\rho_1 g h_1 = \rho_2 g (h_1 - \Delta h),$$

$$\rho_2 = \rho_1 h_1 / (h_1 - \Delta h).$$

Отсюда приходим к выводу, что совместное использование радарного и гидростатического методов измерений позволяет вычислять значение плотности жидкости.

Заключение. Установка радарного уровнемера для шаровых резервуаров, эксплуатируемых на Западно-Сургутском месторождении с 60-х – 80-х годов и использующих для измерения уровня по два датчика перепада давления, является одним из самых оптимальных методов реализации требований п. 8.11 правил ПБ 09-566-03 «Правила безопасности для складов сжиженных углеводородных газов и легко воспламеняющихся жидкостей под давлением». Радарный уровнемер не только доводит количество устанавливаемых на резервуаре датчиков контроля уровня до трех, но и позволяет проводить дополнительные перерасчеты плотности жидкости с учетом значений давления от датчиков перепада давления.

Совместное применение приведенных в статье двух методов измерения уровня позволяет вносить поправки в расчет значений уровня от датчиков перепада давления, а также контролировать изменение плотности продукта, неизбежно возникающее при изменении температуры жидкости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Архаров А.М., Исаев С.И. Теплотехника: учеб. для ВУЗов. М.: Машиностроение, 1986. 432 с.
2. Дикун В.Н., Шейнблит Я.А. Сооружение шаровых резервуаров. М.: Недра, 1987. 192 с.
3. Карпович Д.С., Барашко О.Г. Автоматика, автоматизация и автоматизированные системы управления технологическими процессами. Минск: БГТУ, 2009. 70 с.

Информация об авторах

Сазанович Вячеслав Васильевич, ведущий инженер по наладке и испытаниям отдела автоматизации производства. E-mail: vsstav@mail.ru. Управление по переработке газа ПАО «Сургутнефтегаз» 628415, Сургут, ул. Энтузиастов, д. 59.

Муравьев Константин Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры нефтегазового дела. E-mail: mkasing@mail.ru. Сургутский институт нефти и газа, филиал Тюменского индустриального университета. Россия, 628415, Сургут, ул. Энтузиастов, д. 38.

Поступила в февраль 2019 г.

© Сазанович В.В., Муравьев К.А., 2019

4. Короев Ю.И. Черчение для строителей: учеб. для проф. учеб. заведений. 7-е изд., стереотип. М.: Высшая школа, Изд. Центр «Академия», 2001. 256 с.

5. Куудинов В.А., Карташов Э.М. Техническая термодинамика: учеб. пособие для ВУЗов. М.: Высшая школа, Изд. Центр «Академия», 2003. 261 с.

6. Лаврищев И.Б., Кириков А.Ю. Разработка функциональных схем автоматизации при проектировании автоматизированных систем управления процессами пищевых производств. С.-Пб: СПбГУНиПТ, 2012. 52 с.

7. Медведева Р.В., Мельников В. П. Средства измерений. М.: КноРус, 2011. 240 с.

8. Николаев Н.В., Иванов В.А., Новоселов В.В. Стальные вертикальные резервуары низкого давления для нефти и нефтепродуктов. Тюмень, 2001. 767 с.

9. Раннев Г.Г. Интеллектуальные средства измерений. М.: Академия, 2011. 272 с.

10. Раннев Г.Г., Тарасенко А.П. Методы и средства измерений. М.: Академия, 2008. 336 с.

11. Филиппов В.В. Технологические трубопроводы и трубопроводная арматура: учеб. пособие. Самара: СамГТУ, 2012. 66 с.

12. Шишмарев В.Ю. Средства измерений. М.: Академия, 2012. 320 с.

13. ГОСТ 21.208-2013. Система проектной документации для строительства (СПДС). Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. Введ. 2014-11-01. М.: Стандартинформ, 2015. 31 с.

14. ГОСТ Р 52087-2003. Газы углеводородные сжиженные топливные. Технические условия. Введ. 2004-07-01. М.: Госстандарт России, 2003. 11 с.

15. ПБ 09-566-03. Правила безопасности для складов сжиженных углеводородных газов и легко воспламеняющихся жидкостей под давлением. М.: Деан, 2004. 80 с.

¹Sazanovich V.V., ²Muravyov K.A.

¹Gas Processing Department of Surgutneftegaz, PJSC
Russia, 628415, Surgut, st. Enthusiasts, d. 59.

²Surgut Oil and Gas Institute, a branch of the Tyumen Industrial University.
Russia, 628415, Surgut, st. Enthusiasts, d. 38.

*E-mail: mkasing@mail.ru

THE COMBINED USE OF THE RADAR METHOD AND THE METHOD BASED ON THE DIFFERENTIAL PRESSURE FOR LEVEL MEASUREMENT IN STORAGE TANKS OF LIQUEFIED HYDROCARBON GASES AND HIGHLY FLAMMABLE LIQUIDS UNDER PRESSURE

Abstract. The article shows the difference between the present and previous requirements of safety regulations in the field of level control in spherical tanks for storage of liquefied hydrocarbon gases and flammable liquids. The description of two of the most currently used methods of level control is given, their advantages and disadvantages are presented. The design features of the structure of spherical tanks, methods of joining them to the level control sensors are described. The dependence of the density change of the liquid product on the temperature change is shown. The changes in the ambient temperature associated with sharply continental climatic conditions of geographical location of the West Surgut field are described. The article demonstrates the complexity of monitoring the temperature and density of the working fluid in the heat exchange between the liquid and the environment due to the initial temperature differences between them. The quality assessment of level measurement and calculation of product density change in spherical tanks using two methods of level measurement is given. In addition, the method of recalculating the readings of the two principles of level measurement is shown, which makes possible to calculate the density of the liquid, to monitor changes in density, without data on the current values of the liquid temperature.

Keywords: automated control system of technological process, differential pressure sensors, West Surgut field, flammable liquids, liquefied hydrocarbon gases, technical propane-butane, radar level gauges, level, spherical tanks.

REFERENCES

1. Arharov A.M., Isaev S.I. Heat engineering: studies. for universities [*Teplotekhnika: ucheb. dlya VUZov*]. M.: Mashinostroenie, 1986. 432 p. (rus)
2. Dikun V.N., Shejnbliid Ya.A. Construction of ball tanks [*Sooruzhenie sharovykh rezervuarov*]. M.: Nedra, 1987. 192 p. (rus)
3. Karpovich D.S., Barashko O.G. Automation, automation and automated process control systems [*Avtomatika, avtomatizatsiya i avtomatizirovannye sistemy upravleniya tekhnologicheskimi procesami*]. Minsk: BGTU, 2009. 70 p. (rus)
4. Koroev Yu.I. Drawing for builders: studies. for prof studies. institutions'. 7-e Izd., stereotype [*Cherchenie dlya stroitelej: ucheb. dlya prof. ucheb. zavedenij. 7-e izd., stereotip*]. M.: Vysshaya shkola, Izd. Centr «Akademiya», 2001. 256 p. (rus)
5. Kudinov V.A., Kartashov E.M. Engineering thermodynamics: textbook. textbook for Universities [*Tekhnicheskaya termodinamika: ucheb. posobie dlya VUZov*]. M.: Vysshaya shkola, Izd. Centr «Akademiya», 2003. 261 p. (rus)
6. Lavrishchev I.B., Kirikov A.Yu. Development of functional schemes of automation in the design of automated control systems of food production processes [*Razrabotka funktsional'nykh skhem avtomatizatsii pri proektirovanii avtomatizirovannykh sistem upravleniya processami pishchevykh proizvodstv*]. S.-Pb: SPbGUNIPT, 2012. 52 p. (rus)
7. Medvedeva R.V., Mel'nikov V. P. Means of measurement [*Sredstva izmerenij*]. M.: KnoRus, 2011. 240 p. (rus)
8. Nikolaev N.V., Ivanov V.A., Novoselov V.V. Steel vertical low pressure tanks for oil and petroleum products [*Stal'nye vertikal'nye rezervuary nizkogo davleniya dlya nefi i nefteproduktov*]. Tyumen', 2001. 767 p. (rus)
9. Rannev G.G. Intelligent measuring instruments [*Intellektual'nye sredstva izmerenij*]. M.: Akademiya, 2011. 272 p. (rus)
10. Rannev G.G., Tarasenko A.P. Methods and measuring instruments [*Metody i sredstva izmerenij*]. M.: Akademiya, 2008. 336 p. (rus)
11. Filippov V.V. Technological pipelines and valves: studies. benefit. [*Tekhnologicheskie truboprovody i truboprovodnaya armatura: ucheb. posobie*]. Samara: SamGTU, 2012. 66 p. (rus)
12. Shishmarev V.Yu. Means of measurement [*Sredstva izmerenij*]. M.: Akademiya, 2012. 320 p. (rus)
13. GOST 21.208-2013. System of project documentation for construction (SPDS). Technological process automation. Symbols of conventional devices and automation in the schemes. Enter. 2014-

11-01. [Sistema proektnoj dokumentacii dlya stroitel'stva (SPDS). Avtomatizaciya tekhnologicheskikh processov. Oboznacheniya uslovnye priborov i sredstv avtomatizacii v skhemah. Vved. 2014-11-01]. M.: Standartinform, 2015. 31 p. (rus)

14. GOST R 52087-2003. Hydrocarbon gases liquefied fuel. Technical conditions. Enter.2004-07-01. [Gazy uglevodorodnye szhizhennye toplivnye.

Tekhnicheskie usloviya. Vved.2004-07-01]. M.: Gosstandart Rossii, 2003. 11 p. (rus)

15. PB 09-566-03. Safety regulations for warehouses of liquefied hydrocarbon gases and flammable liquids under pressure. [Pravila bezopasnosti dlya skladov szhizhennyh uglevodorodnyh gazov i legkovosplamenyayushchihsya zhidkostej pod davleniem]. M.: Dean, 2004. 80 p. (rus)

Information about the authors

Sazanovich, Vyacheslav V. Lead engineer E-mail: vsslav@mail.ru. Gas Processing Department of Surgutneftegaz, PJSC 628415, Surgut, st. Enthusiasts, d. 59.

Muravyov, Konstantin A. PhD, Assistant professor. E-mail: mkasing@mail.ru. Surgut Oil and Gas Institute, a branch of the Tyumen Industrial University. Russia, 628415, Surgut, st. Enthusiasts, d. 38.

Received in February 2019

Для цитирования:

Сазанович В.В., Муравьев К.А. Совместное применение радарного метода и метода основанного на перепаде давления для измерения уровня в резервуарах хранения сжиженных углеводородных газов и легковоспламеняющихся жидкостей под давлением // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 6. С. 136–143. DOI: 10.34031/article_5d01f05d0d73c7.45284021

For citation:

Sazanovich V.V., Muravyov K.A. The combined use of the radar method and the method based on the differential pressure for level measurement in storage tanks of liquefied hydrocarbon gases and highly flammable liquids under pressure. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 6. Pp. 136–143. DOI: 10.34031/article_5d01f05d0d73c7.45284021

DOI: 10.34031/article_5d08b52f6c2b69.97192016

^{1,*}Фархадов З.И., ¹Рагимов Ш.Р., ¹Абдуллаев С.А., ²Осадчая М.С.¹Сумгаитский государственный университет

Азербайджан, AZ 5008, г. Сумгаит, л. Баку 1, квартал 43

¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

*E-mail: z.farkhadov@gmail.com

УПРАВЛЕНИЕ КОМПЕНСАЦИЕЙ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Аннотация. Индукционные печи (ИП) промышленной частоты часто используются на многих промышленных предприятиях для плавки черных и цветных металлов и их сплавов, а также для перегрева их перед разливкой. Сопротивление электропечной установки имеет индуктивный характер. Полная мощность индукционной установки включает в себя активную так и реактивную составляющую, где реактивная мощность является регулируемым электрическим параметром. Во время плавки металлов изменяется активно-индуктивная нагрузка индукционной установки, а значение ее коэффициента мощности доходит до 0,3. Компенсация реактивной мощности на вводе индуктора ИП приводит к существенному уменьшению установленной мощности электропечного трансформатора регулируемого под нагрузкой, потерь электроэнергии и сечения кабельных линий. В качестве устройств поперечной компенсации обычно применяют батареи электрических конденсаторов (БК). Разработана схема и нечеткий алгоритм регулирования реактивной мощности индукционной печи промышленной частоты на основе нечеткой логики. При исследовании работы нечеткого контроллера управления компенсацией реактивной мощности ИП промышленной частоты на основе алгоритма Мамдани было получено, что нечеткий алгоритм лучше поддерживает заданную величину и направление реактивной мощности на месте подключения индуктора ИП к электропечному трансформатору. Нечеткий регулятор быстрее реагирует на изменение реактивной мощности.

Ключевые слова: системы электроснабжения; системы регулирования; нечеткая логика; реактивная мощность; функция принадлежности; индукционная печь.

Индукционные печи (ИП) промышленной частоты часто используются на многих промышленных предприятиях для плавки черных и цветных металлов и их сплавов, а также для перегрева их перед разливкой [1–4]. Плавка черных и цветных металлов и их сплавов в ИП тесно связана с температурой металла. Изменение температуры или ее поддержание на одном уровне осуществляется в результате изменения напряжения на вводах индуктора ИП. Регулирование напряжения источника электроэнергии ИП осуществляется с помощью электропечного трансформатора регулируемого под нагрузкой. Ступенчатое изменение напряжения на вторичной обмотке электропечного трансформатора происходит за счет уменьшения или увеличения числа витков первичной обмотки. Полная мощность индукционной установки включает в себя активную так и реактивную составляющую, где реактивная мощность является регулируемым электрическим параметром. Это связано с тем, что сопротивление электропечной установки имеет индуктивный характер. Во время плавки металлов изменяется активно-индуктивная нагрузка индукционной установки, а значение ее коэффициента мощности доходит до 0,3. Компенсация реактивной мощности на вводе индуктора ИП приводит к существенному уменьшению установленной мощности

электропечного трансформатора регулируемого под нагрузкой, потерь электроэнергии и сечения кабельных линий. В качестве устройств поперечной компенсации обычно применяют батареи электрических конденсаторов (БК), состоящих из N секций (C_1 – C_N), которые соединяются в различных сочетаниях поперечно индуктору ИП [5–6]. Учитывая, что в реальных условиях при работе ИП изменение потребляемой мощности носит случайный характер, это может ограничивать работу регуляторов тока и компенсирующих устройств (КУ).

В данной работе предлагается структура нечеткого регулятора реактивной мощности, синтезируемого по модели на основе нечеткой логики.

Структура нечеткого регулятора. Рассматривается задача построения структурной схемы нечеткого контроллера управления компенсацией реактивной мощности ИП, устанавливающего границу мощности конденсаторов КУ или дискретное число единичных элементов батареи конденсаторов для отдельных периодов процесса плавки. Число конденсаторов будет соответствовать значению реактивной мощности, потребляемой для покрытия (компенсации) суммарной мощности высших гармонических составляющих в рассматриваемом интервале времени плавки. Необходимое число конденсаторов

для каждого i -го текущего интервала может быть оценено по выражению

$$N_c = \frac{P_{ип,i} tg\varphi_{(ип)} k_{b(ип)}}{2\pi f U_{(i)}^2 C_1} = \frac{Q_{ип(i)} k_{b(ип)}}{2\pi f \cdot C_1 U_{(i)}^2},$$

где $U_{(i)}$ – напряжение на вторичной обмотке печного трансформатора в i -ном интервале процесса плавки; $P_{ип(i)}$, $Q_{ип(i)}$ – активная и реактивная мощность потребляемая ИП из сети в i -ном интервале процесса плавки; C_1 – электрическая ем-

кость одного конденсатора; $tg\varphi_{ип(i)}$ – коэффициент реактивной мощности в i -ном интервале процесса плавки; $k_{b(ип)}$ – коэффициент запаса ($k_b = 1,1 - 1,3$) [2, 4]; f – частота переменного тока.

На рис. 1 приведена структурная схема нечеткого контроллера управления компенсацией реактивной мощности ИП промышленной частоты, осуществляемого изменением числа секций КУ в каждом периоде процесса плавки.

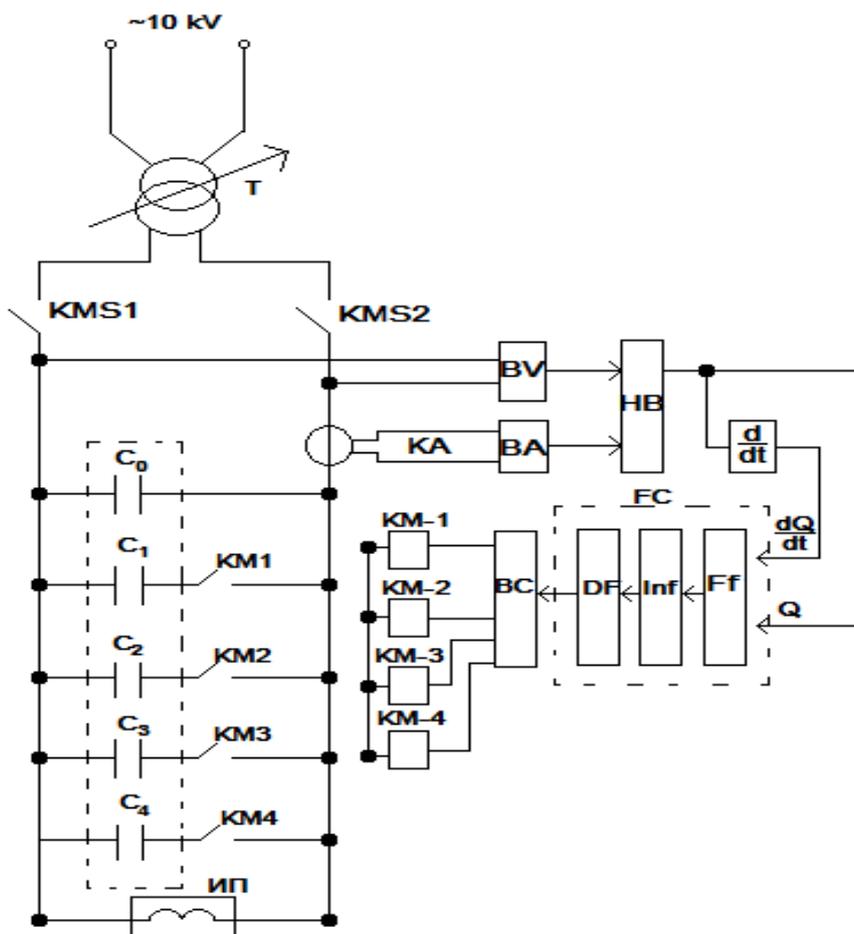


Рис. 1. Структурная схема управления ИП

Схема работает следующим образом. На основе информации, поступающей от датчиков тока и напряжения ВА и BV в дискриминаторе реактивной мощности НВ образуется сигнал, пропорциональный величине реактивной мощности со знаком, определяющим характер нагрузки (индуктивный или емкостной). Далее этот сигнал поступает на первый вход нечеткого контроллера FC. На второй вход поступает производная от реактивной мощности $\frac{dQ}{dt}$. Нечеткий контроллер FC, включающего фазификатор Ff, предназначенный для трансформации четких сигналов в нечеткие множества; блок Inf таблицы лингвистиче-

ских правил, описывающих нечеткие соотношения между входными и выходными параметрами регулятора; дефазификатор DF, где полученное нечеткое значение поступает на вход блока управления коммутаторами мощности батарей конденсаторов BC. Первая секция конденсаторов C_0 постоянно подключена к индуктору ИП, а секции конденсаторов $C_1 - C_N$ коммутируются соответствующими контакторами KM. Коммутируемые секции соединены с блоками, осуществляющими разряд конденсаторов $C_1 - C_N$ при их отключении от индуктора ИП.

Алгоритм функционирования нечеткого регулятора. Для управления компенсацией реак-

тивной мощности ИП, выбран алгоритм Мамдани [7–11]. Построение интеллектуальной системы управления компенсацией реактивной мощности ИП осуществляется в следующей последовательности:

1) определение входов и выходов системы управления компенсацией реактивной мощности

ИП; 2) задание для каждой из входных и выходных переменных функции принадлежности; 3) разработка лингвистических правил; 4) выбор и реализация алгоритма нечеткого логического вывода; 5) анализ процесса управления компенсацией реактивной мощности. Общий логический вывод выполняется по схеме, представленной на рис. 2.

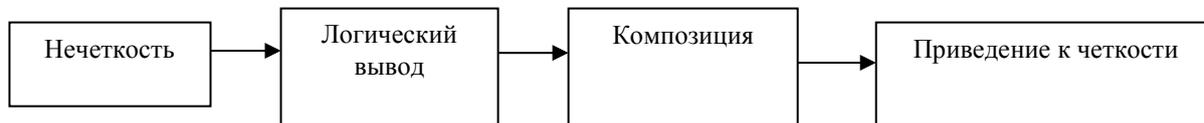


Рис. 2. Схема логического вывода

Функции принадлежности, использованные в данной статье, были, в основном, четырёх ви-

дов: треугольные, трапецидальные, S- и Z-образные. Параметры и формулы Функции принадлежности показаны в таблице 1.

Таблица 1

Параметры и формулы функции принадлежности

| Функция принадлежности | Параметры | Формула |
|------------------------|--|---|
| S-образная | a, b | $\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b \\ 1, & b < x \end{cases}$ |
| Z-образная | b, c | $\mu(x) = \begin{cases} 1, & x < b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b < x < c \\ 0, & c < x \end{cases}$ |
| Треугольная | a, b, c | $\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b < x < c \\ 0, & c < x \end{cases}$ |
| Трапецидальные | a, b ₁ , b ₂ , c | $\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b_1-a}, & a < x < b_1 \\ 1, & b_1 < x < b_2 \\ \frac{c-x}{c-b_2}, & b_2 < x < c \\ 0, & c < x \end{cases}$ |

При работе контроллера по алгоритму Мамдани для поддержания отклонения реактивной мощности в нормируемых пределах на вход нечёткого контроллера подавались: вычисленное значение реактивной мощности и производная от реактивной мощности $\frac{dQ}{dt}$. С выхода – снимались управляющие воздействия по переключению коммутируемой емкости либо с наращиванием, либо со снижением суммарного значения. При отсутствии соответствующей команды величина емкости не изменялась.

Все входные величины поступающих от датчиков тока и напряжения являются точными значениями, поскольку снимаются с реальных измерительных приборов, которые выдают точные значения измеряемых параметров. Далее, в самом нечетком контроллере эти величины уже преобразуются к нечётким значениям. После реализация алгоритма нечеткого логического вывода, полученные выходные переменные вновь преобразуются к точному (обычному) виду. Для работы нечёткого контроллера использовались следующие лингвистические переменные:

1. На вход нечеткого контроллера (входные переменные) поступают:

- **Реактивная мощность (Q)** на месте подключения индуктора ИП к электропечному трансформатору; - **Динамика** изменения реак-

тивной мощности (производная реактивной мощности $\frac{dQ}{dt}$). Нечеткие значения, функции принадлежности и параметры входных лингвистических переменных показаны в таблице 2, а их графическое представление на рис. 2–3.

Таблица 2

Нечеткие значения, ФП и параметры входных лингвистических переменных

| Значение переменной | Функция принадлежности | Параметры |
|----------------------------|------------------------|-------------------|
| Реактивная мощность | | |
| Очень малая | Z-образная | (0 0,4) |
| Малая | треугольная | (0.01 0.045 0.9) |
| Средняя | треугольная | (0.46 0.905 1.36) |
| Большая | треугольная | (0.91 1.35 1.8) |
| Очень большая | S-образная | (1.4 1.76) |
| Динамика | | |
| Очень отрицательное | Z-образная | (- 0.8 -0.5) |
| отрицательное | треугольная | (-1 -0.5 0) |
| Нулевое | треугольная | (-0,5 0 0,5) |
| Положительное | треугольная | (0 0,5 1) |
| Очень положительное | S-образная | (0,5 0,8) |

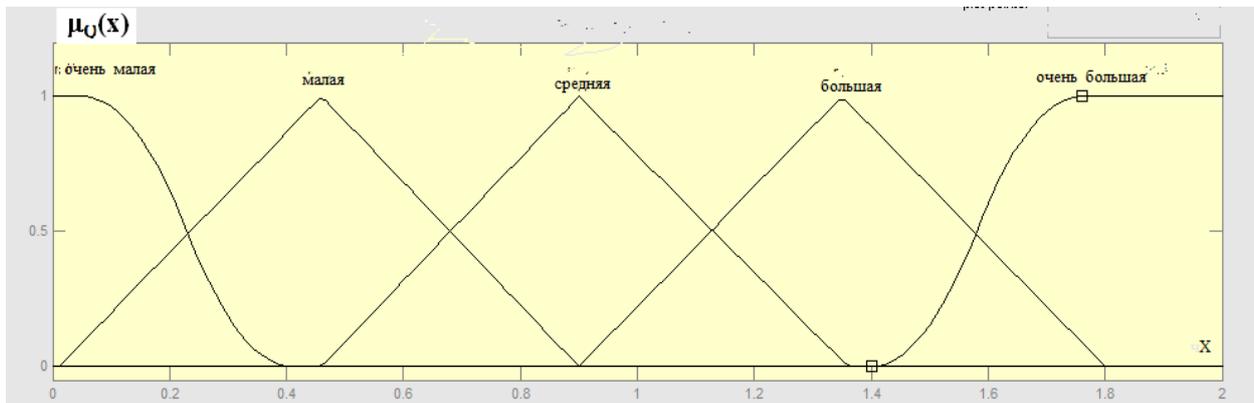


Рис. 2. Нечеткие значения переменной "Реактивная мощность"

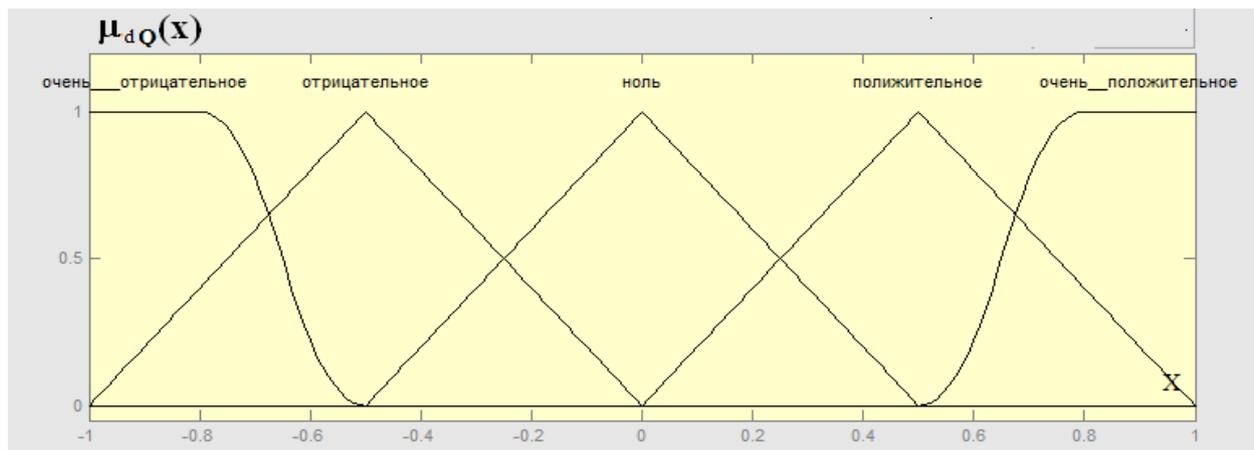


Рис. 3. Нечеткие значения переменной "Динамика"

2. С выхода контроллера поступает значение лингвистической переменной (выходная переменная) – **Направление** следующего переключения секции конденсаторной батареи (табл. 3 и рис. 5).

В процессе работы были опробованы различные варианты работы контроллера. По выше

приведенным переменным было составлено 25 правил нечеткого вывода для данной системы. Лингвистическая таблица правил приведена на таблице. Символы в обозначениях термов означают:

ОМ – очень малая; М – малая; С – средняя; Б – большая; ОБ – очень большая; ОО – очень отрицательное; О – отрицательное; Н – нулевое; П –

положительное; ОП – очень положительное; ВС – включить секцию; ОС – отключить секцию; СТ – стоп.

Таблица 3

Нечеткие значения, ФП и параметры выходных лингвистических переменных

| Значение переменной | Функция принадлежности | Параметры |
|---------------------|------------------------|-------------------------|
| Направление | | |
| Вверх | трапецеидальная | (0.5 0.75 1.25 1.5) |
| Вниз | трапецеидальная | (-1.5 -1.25 -0.75 -0.5) |
| Стоп | трапецеидальная | (-0.5 -0.25 0.25 0.5) |

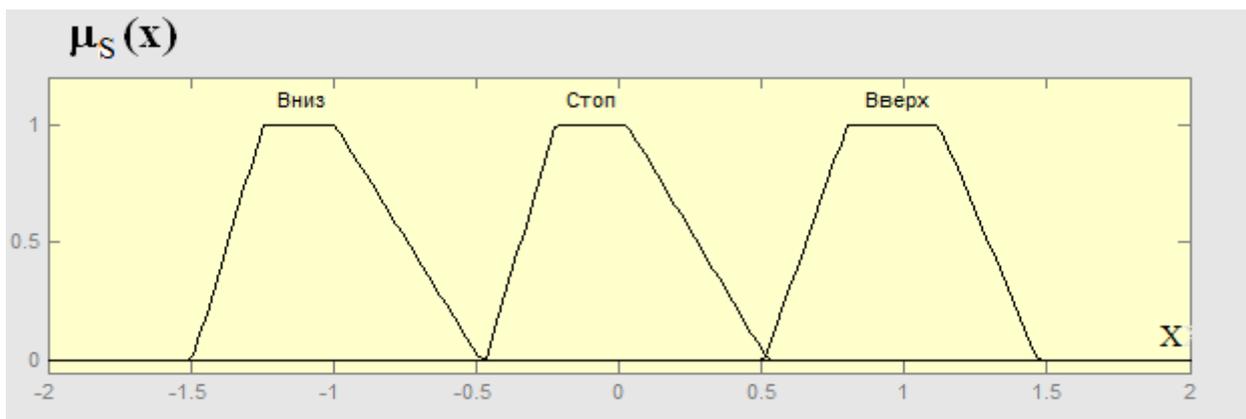


Рис. 4. Нечеткие значения переменной "Направление"

Таблица 4

Лингвистическая таблица правил

| Q dQ | ОМ | М | С | Б | ОБ |
|---------|----|----|----|----|----|
| ОО | СТ | СТ | ОС | ОС | ОС |
| О | СТ | ОС | ОС | ОС | ОС |
| Н | ВС | ВС | ВС | ВС | ВС |
| П | ВС | ВС | ВС | ВС | ВС |
| ОП | ВС | ВС | ВС | ВС | ВС |

Результаты компьютерного моделирования

Моделирование режимов работы ИП с учетом нечеткого регулирования потребляемой реактивной мощности выполнено на примере индукционной печи типа ИЧТ-2,5/1000 промышленной частоты, с номинальной емкостью 2,5т, питающим напряжением 6–10 кВ, номинальным напряжением контурной цепи 495 В и со скоростью расплавления и перегрева 0,33т/ч. Потребляемая мощность ИП 990 кВА, а мощность питающего печного трансформатора составляет 1000 кВА. Время нагрева и плавления составляет 35 мин и определяется по формуле $t_k = 840G/P_T$, где P_T – средняя полезная мощность, кВт; G – масса заготовки, кг [2].

Расчетные эксперименты проведены в среде Matlab с использованием программного комплекса Fuzzy Logic Toolbox [14–15].

На рис. 5 показан график изменения реактивной мощности на нагрузке, а также приведены кривые, соответствующие обычному (традиционному «четкому») регулированию реактивной мощности (синяя кривая) и нечеткому регулированию (кривая красного цвета). При работе нечеткого (fuzzy) и классического, четкого (crisp) регуляторов видно, что при выходе реактивной мощности за зону нечувствительности (200 кВАр) происходит срабатывание регуляторов. Но нечеткий контроллер реагирует на изменение реактивной мощности быстрее. В процессе работы ИП регулятор «подстраивается» в зависимости от текущего положения секций конденсаторной батареи.

Можно утверждать, что компенсирующие устройства на основе нечеткой логики более предпочтительны для компенсации реактивной мощности на месте подключения индуктора ИП к электропечному трансформатору, по сравнению с компенсирующими устройствами на основе четкой логики. Компенсация реактивной мощности получается более качественным.

Выводы. Разработана схема и нечеткий алгоритм регулирования реактивной мощности на месте подключения индуктора ИП к электропечному трансформатору с использованием нечеткой логики. При исследовании работы нечеткого

контроллера управления компенсацией реактивной мощности ИП промышленной частоты на основе алгоритма Мамдани было получено, что нечеткий алгоритм лучше поддерживает заданную величину и направление реактивной мощности

на месте подключения индуктора ИП к электропечному трансформатору. Нечеткий регулятор быстрее реагирует на изменение реактивной мощности.

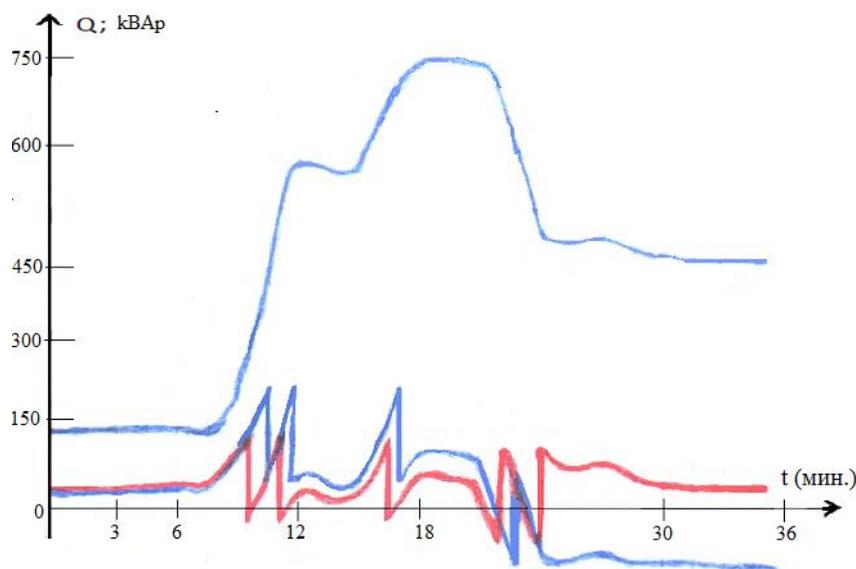


Рис. 5. Кривые изменения реактивной мощности до и после управления

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Электротермическое оборудование. Справочник. Под общ. ред. А.П. Альтгаузена. М.: Энергия, 1980. 416 с.

2. Слухоцкий А.Е. Установки индукционного нагрева. Л. Энергоиздат, Ленинградское отделение, 1981. 330 с.

3. Соколов М.М., Гасевич В.Н. Электрооборудование механизмов электротермических установок. М.: Энергоатомиздат, 1983. 320 с.

4. Алиферов А.Н. и др. Электротермические процессы и установки. Красноярск, 2007. 360 с.

5. Ильяшов В.П. Автоматическое регулирование мощности конденсаторных установок. М. Энергия-2-е издание. 1979. 105 с.

6. Копырин В., Ткачук А. Контроллер управления компенсацией реактивной мощности индукционной печи промышленной частоты // Силовая Электроника. 2005. № 1. С. 96–99.

7. Гашимов А.М., Рахманов Н.Р., Гулиев Г.В. Улучшенный алгоритм нечеткой логики для управления реактивной мощностью и напряжением в распределительных сетях // Энергетика: межд. науч.-техн. Журнал. Минск. 2014. №2. С. 29–39.

8. Guliyev H.B., Farkhadov Z.I. Mammadov J.F. System of automatic regulation of reactive power by means of fuzzy logic // Reliability: Theory

& Applications. Vol.10. No.2 (37). USA. San Diego. 2015. Pp. 50–58.

9. Рахманов Н.Р., Гулиев Г.Б., Фархадов З.И. Идентификация структуры нечеткого регулятора реактивной мощности // Электро. Электротехника, Электроэнергетика, электротехническая промышленность. 2015. № 4. С. 28–31.

10. Zadeh L. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes, IEEE Trans. on Systems, Men and Cybernetics. Vol. smc-3. jan. 1973. Pp. 28–44.

11. Алиев Р.А., Алиев Р.Р. Теория интеллектуальных систем и ее применение. Баку, Чашыюглу, 2001. 720 с.

12. Nayeripour M., Khorsand H., Roosta A.R., Niknam T. A New Approach Based on Fuzzy Controller for Volt/Var Control in Distribution System // Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 2010. Vol. 4(3). Pp. 468–480.

13. Lin Y.J. Systematic approach for the design of a fuzzy power system stabilizer. International Conference on Power System Technology. 2004. Vol. 1. Pp. 747–752.

14. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами Matlab. Горячая линия. Телеком. М., 2007. 288 с.

15. Fuzzy Logic Toolbox. User's Guide. Version 2. The Math_works/ Inc. 1999.

Информация об авторах

Фархадов Закир Исамеддин оглы, кандидат технических наук, доцент кафедры электромеханики. E-mail: z.farkhadov@gmail.com. Сумгаитский государственный университет. Азербайджан, AZ 5008, г. Сумгаит, л. Баку 1, квартал 43.

Рагимов Шафагат Рагим оглы, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий и программирования. E-mail: shafahat_61@mail.ru. Сумгаитский государственный университет. Азербайджан, AZ 5008, г. Сумгаит, л. Баку 1, квартал 43

Абдуллаев Салех Абузар оглы, аспирант кафедры электромеханики. E-mail saleh-abdullayev-91@mail.ru. Сумгаитский государственный университет. Азербайджан, AZ 5008, г. Сумгаит, л. Баку 1, квартал 43.

Осадчая Майя Сергеевна, ведущий инженер. E-mail: Muc87@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в апреле 2019 г.

© Фархадов З.И., Рагимов Ш.Р., Абдуллаев С.А., Осадчая М.С., 2019

^{1,*}*Farhadov Z.I., ¹Rahimov Sh.R., ¹Abdullayev S.A., ²Osadchaya M.S.*

¹*Sumqayit State University*

¹*Azerbaijan, AZ 5008, Sumqayit, street Baku 1, 43rd block*

²*Belgorod State Technological University named after V.G. Shuhova*

Russia, 308012, Belgorod, Kostyukov, 46

**E-mail: z.farkhadov@gmail.com*

COMPENSATION CONTROL OF REACTIVE POWER OF THE INDUCTION FURNACE BASED ON FUZZY LOGIC

Abstract. *Induction furnaces of industrial frequency are often used at industrial enterprises for melting ferrous and non-ferrous metals and their alloys, for overheating them before casting. The resistance of the electric furnace is inductive. The total power of the induction installation includes an active component and reactive component, where the reactive power is an adjustable electrical parameter. During the melting of metals, the active-inductive load of the induction installation changes and the value of its power factor reaches 0.3. Compensation of reactive power at the input of induction furnaces inductor leads to a significant decrease in the installed power of the electric furnace transformer controlled under the load, energy losses and the cross section of cable lines. Batteries of electric capacitors are usually used as transverse compensation devices. A scheme and fuzzy algorithm for regulating the reactive power of an induction furnace of industrial frequency based on fuzzy logic are developed. The study of the fuzzy controller operation for reactive power compensation of induction furnaces of industrial frequency based on the Mamdani's method shows that the fuzzy algorithm better maintains a given amount and direction of reactive power at the connection point of the induction furnace inductor to an electric furnace transformer. Fuzzy controller responds faster to changes in reactive power.*

Keywords: *power supply systems; regulatory systems; fuzzy logic; reactive power; membership function; induction furnaces.*

REFERENCES

1. Electrothermal equipment [*Elektrotermicheskoe oborudovanie*]: Directory. Under the general edition A.P. Altgrauz, Energy, Moscow, 1980, 416 pp. (rus)
2. Sluchoskiy A.E. Equipments of induction heating [*Ustanovki indukcionnogo nagreva*]. Energy publication, Leningrad branch, 1981, 330 pp. (rus)
3. Sokolov M.M., Gasevich V.N. Electrical equipment mechanisms of electrothermal equipments [*Elektrooborudovanie mekhanizmov elektrotermicheskikh ustanovok*]. М.: Energoatomizdat, 1983. 320 p. (rus)
4. Aliferov A.N. et al. Electrothermal processes and equipments [*Elektrotermicheskie processy i ustanovki*]. Krasnoyarsk, 2007. 360 p. (rus)
5. Iyashov V.P. Automatic power regulation of condenser equipments [*Avtomaticheskoe regulirovanie moshchnosti kondensatornyh ustanovok*]. М. Energy-2nd edition. 1979. 105 p. (rus)
6. Kopyrin V., Tkachuk A. Controller of compensation control of reactive power induction furnace of industrial frequency [*Kontroller upravleniya kompensaciej reaktivnoy moshchnosti indukcionnoj pechi promyshlennoj chastoty*]. Power Electronics. 2005. No. 1. Pp. 96–99. (rus)

7. Gashimov A.M., Rakhmanov N.R., Guliev G.V. Improved fuzzy logic algorithm for controlling reactive power and voltage in distribution networks [*Uluchshennyj algoritm nechetkoj logiki dlya upravleniya reaktivnoj moshchnost'yu i napryazheniem v raspredelitel'nyh setyah*]. Power Industry: International scientific and technical journal. Minsk. 2014. No. 2. Pp. 29–39. (rus)

8. Guliyev H.B., Farkhadov Z.I. Mammadov J.F. System of automatic regulation of reactive power by means of fuzzy logic. Reliability: Theory & Applications. 2015. Vol. 10. No. 2(37). Pp. 50–58.

9. Rakhmanov N.R., Guliev G.B., Farhadov Z.I. Identification of the structure of a fuzzy regulator of reactive power [*Identifikaciya struktury nechetkogo regulatora reaktivnoj moshchnosti*]. Electro. Electrical Engineering, Electrical Power Engineering, Electrical Engineering Industry. 2015. No. 4. Pp. 28–31. (rus)

10. Zadeh L. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes,

IEEE Trans. on Systems, Men and Cybernetics. 1973. Vol. smc-3, jan. Pp. 28–44.

11. Aliyev R.A., Aliev R.R. The theory of intelligent systems and its application [*Teoriya intellektual'nyh sistem i ee primeneniye*]. Baku, Chashyoglu, 2001, 720 p. (rus)

12. Nayeripour M., Khorsand H., Roosta A.R., Niknam T. A New Approach Based on Fuzzy Controller for Volt/Var Control in Distribution System. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 2010. Vol. 4(3). Pp. 468–480,

13. Lin Y.J. Systematic approach for the design of a fuzzy power system stabilizer. International Conference on Power System Technology. 2004. Vol. 1. Pp. 747–752.

14. Shtovba S.D. Design of fuzzy systems by means of Matlab [*Proektirovaniye nechetkih sistem sredstvami Matlab*]. Hotline–Telecom. M., 2007, 288 p. (rus)

15. Fuzzy Logic Toolbox. User's Guide. Version 2. The Math_works/ Inc. 1999.

Information about the authors

Farkhadov, Zakir I. PhD, Assistant professor Sciences, associate. E-mail: z.farkhadov@gmail.com. Sumqayit State University. Azerbaijan, AZ 5008, Sumqayit, street Baku 1, 43rd block

Rahimov, Rahim S. oglu PhD. PhD, Assistant professor. E-mail: shafahat_61@mail.ru. Sumqayit State University. Azerbaijan, AZ 5008, Sumqayit, street Baku 1, 43rd block

Saleh, Abdullayev A. Postgraduate student. E-mail saleh-abdullayev-91@mail.ru. Sumgait state University. Azerbaijan, AZ 5008, Sumqayit, street Baku 1, 43rd block

Osadchaya, Mayya S. Leading engineer. E-mail Myc87@mail.ru Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in April 2019

Для цитирования:

Фархадов З.И., Рагимов Ш.Р., Абдуллаев С.А., Осадчая М.С. Управление компенсацией реактивной мощности индукционной печи на основе нечеткой логики // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 6. С. 144–151. DOI: 10.34031/article_5d08b52f6c2b69.97192016

For citation:

Farhadov Z.I., Rahimov Sh.R., Abdullayev S.A., Osadchaya M.S. Compensation control of reactive power of the induction furnace based on fuzzy logic. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 6. Pp. 144–151. DOI: 10.34031/article_5d08b52f6c2b69.97192016

Научное издание
«Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова»
№ 6, 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 9.04.19. Подписано в печать 15.06.19. Формат 60×84/8
Усл. печ. л. 17,55. Уч.-изд. л. 18,88
Тираж 500 экз. Заказ 87. 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

