

Научно-теоретический журнал

Вестник

Белгородского государственного технологического
университета им. В.Г. Шухова

ISSN 2071-7318

7

2018

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. В.Г. ШУХОВА

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВЕСТНИК

БГТУ им. В.Г. ШУХОВА

№ 7, 2018 год

Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова**Главный редактор**

Е.И. Евтушенко, д-р техн. наук, проф.
(БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

Зам. главного редактора:

Н.И. Алфимова, канд. техн. наук, доц.
(БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

Редакционная коллегия:

А.М. Айзенштадт (САФУ им. М.В. Ломоносова, Архангельск, РФ)

Ю.М. Баженов (НИУ МГСУ, Москва, РФ)

В.С. Богданов (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

Деян Благоевич (Высшая техническая школа по профессиональному образованию в Нише, Ниш, Республика Сербия).

А.Г. Большаков (ИРНИТУ, Иркутск, РФ)

И.Н. Борисов (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

С.М. Братан (СевГУ, Севастополь, РФ)

А.И. Везенцев (НИУ БелГУ, Белгород, РФ)

С.Н. Глаголев (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

П.Г. Грабовый (НИУ МГСУ, Москва, РФ)

А.М. Гридчин (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

А.Н. Давидюк (НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, Москва, РФ)

Ю.А. Дорошенко (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

Т.А. Дуюн (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

В.Т. Ерофеев (МГУ им. Огарева, Саранск, РФ)

О.Н. Зайцев (Академии строительства и архитектуры)

КФУ им. В.И. Вернадского, Симферополь, РФ)

С.В. Ильвицкая (ГУЗ, Москва, РФ)

А.М. Козлов (ЛГТУ, Липецк, РФ)

С.Н. Леонович (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь)

В.С. Лесовик (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

К.И. Логачев (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

В.С. Мещерин (Дрезденский Технический Университет, Дрезден, Германия)

С.И. Меркулов (КГУ, Курск, РФ)

В.И. Павленко (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

Ненад Павлович (Государственный Нишский университет, Ниш, Республика Сербия).

Ю.Е. Пивинский (ООО «Научно-внедренческая фирма «КЕРАМБЕТ-ОГНЕУПОР», РФ, г. Санкт-Петербург)

Е.Э. Потапов (МИРЭА, Москва, РФ)

Л.А. Рыбак (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

Л.А. Савин (ОГУ им. И.С. Тургенева, Орел, РФ)

С.В. Семенцов (СПбГАСУ, РФ, г. Санкт-Петербург)

Л.А. Сиваченко (Белорусский-Российский университет, Могилев, Республика Беларусь)

К.Г. Соболев (Университет Висконсин-Милуоки, штат Висконсин, Милуоки, США)

Г.А. Смоляго (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

В.В. Строкова (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

Е.Е. Тарасова (БУКЭП, РФ, Белгород)

В.А. Уваров (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

Ханс-Бертрам Фишер (Баухаус-Университет Ваймар, Веймар, Германия)

С.И. Ханнин (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

Н.А. Шаповалов (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

М.В. Шубенков (МАрХИ, Москва, РФ)

А.Г. Юрьев (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

С.Ф. Яцун (ЮЗГУ, Курск, РФ)

Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov**Chief editor**

E.I. Evtushenko, DSc, Prof.
(BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

Deputy of chief editor

N.I. Alfimova, PhD, Assistant Prof.
(BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

Member of editorial board

A.M. Ayzenshtadt (NArFU named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russian Federation)

Y.M. Bazhenov (MGSU, Moscow, Russian Federation)

V.S. Bogdanov (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

D. Blagoevich (Higher technical school of professional education in Nish, Republic of Serbia)

A.G. Bol'shakov (INRTU, Irkutsk, Russian Federation)

I.N. Borisov (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

S.M. Bratan (SevSU, Stavropol, Russian Federation)

A.I. Vezentsev (BSNRU, Belgorod, Russian Federation)

S.N. Glagolev (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

P.G. Grabovyy (MGSU, Moscow, Russian Federation)

A.M. Gridchin (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

A.N. Davidyuk (RIRC, Moscow, Russian Federation)

Y.A. Doroshenko (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

T.A. Duyun (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

V.T. Erofeev (MRSU, Saransk, Russian Federation)

O.N. Zaytsev ((Academic Unit) of V.I. Vernadsky CFU, Simferopol, Russian Federation)

S.V. Il'vitskaya (GUZ, Moscow, Russian Federation)

A.M. Kozlov (LSTU, Lipetsk, Russian Federation)

S.N. Leonovich (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus)

V.S. Lesovik (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

K.I. Logachev (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

V.S. Meshcherin (Technical University of Dresden, Dresden, Germany)

S.I. Merkulov (Kursk State University, Kursk, Russian Federation)

V.I. Pavlenko (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

N. Pavlovich (University of Nish, Nish, Republic of Serbia)

Y.E. Pivinski («KERAMBET-OGNEUPOR», Saint Petersburg, Russian Federation)

E.E. Potapov (MIREA, Moscow, Russian Federation)

L.A. Rybak (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

L.A. Savin (OSU named after I.S. Turgenev, Orel, Russian Federation)

S.V. Sementsov (SPSUACE, Saint Petersburg, Russian Federation)

L.A. Sivachenko (Belarusian-Russian University, Mogilev, Republic of Belarus)

K.G. Sobolev (University of Wisconsin-Milwaukee, Milwaukee, USA)

G.A. Smolyago (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

V.V. Strokov (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

E.E. Tarasova (BUCEL, Belgorod, Russian Federation)

V.A. Uvarov (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

H.-B. Fischer (Bauhaus-University of Weimar, Weimar, Germany).

S.I. Khanin (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

N.A. Shapovalov (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

M.V. Shubenkov (MARKHI, Moscow, Russian Federation)

A.G. Yur'yev (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

S.F. Yatsun (SWSU, Kursk, Russian Federation)

Адрес редакции:

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

БГТУ им. В.Г. Шухова, оф. 724/4 Гк.

Тел: +7 (4722) 30-99-77

e-mail: VESTNIK@intbel.ru

Официальный сайт журнала:

http://vestnik_rus.bstu.ru

Цели, задачи и редакционная политика журнала

Научно-теоретический журнал «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова» включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата, на соискание ученой степени доктора наук по группам научных специальностей: 05.02.00 – машиностроение и машиноведение; 05.17.00 – химическая технология; 05.23.00 – строительство и архитектура; 08.00.00 – экономические науки.

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

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).

Purposes, tasks and editorial policy of the journal

Scientific and theoretical journal «Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov» is included in the top list of the leading reviewed scientific magazines and editions in which the main scientific results of theses for a degree of the candidate, for a degree of the doctor of science according scientific specialties groups have to be published: 05.02.00 – machine building and engineering science; 05.17.00 – chemical technology; 05.23.00 – construction and architecture; 08.00.00 – economic sciences.

Scientific articles and reviews concerning 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 results of scientific research in educational activity are accepted to be considered and published.

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

The editorial policy of the magazine is based on basic 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 Committee of scientific publications ethics (COPE).

Address:

46, Kostyukov str., Belgorod, 308012, Russia
BSTU named after V.G. Shukhov, 724/4.

Тел: +7 (4722) 30-99-77

e-mail: VESTNIK@intbel.ru

journal web-site:

http://vestnik_eng.bstu.ru

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Дребезгова М.Ю., Чернышева Н.В., Корбут Е.Е. ИССЛЕДОВАНИЕ АТМОСФЕРОСТОЙКОСТИ КЕРАМЗИТОБЕТОНА НА КОМПОЗИЦИОННОМ ГИПСОВОМ ВЯЖУЩЕМ	6
Козлов А.В., Захаров Д.А., Животков И.О. ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ЗОЛЫ-УНОСА НОВОЧЕРКАССКОЙ ГРЭС И ПОИСК ОБЛАСТИ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ	12
Кожухова М.И., Фомина Е.В., Фомин А.Е. ФРАКТАЛЫ КАК ИЕРАРХИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП ОРГАНИЗАЦИИ В СТРОИТЕЛЬНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ	18
Сулейманова Л.А., Рахманов Б.К., Кочерженко В.В., Солодов Н.В. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ТАКЕЛАЖНЫХ РАБОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТРОПОВ НА ТЕКСТИЛЬНОЙ ОСНОВЕ	24
Абдразаков Ф.К., Панкова Т.А., Орлова С.С. ОЦЕНКА СТЕПЕНИ РИСКА АВАРИИ НА ГИДРОУЗЛЕ	34
Дементьева М.Е., Минин К.Е. АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРИГОДНОСТИ ПЛИТЫ ПОКРЫТИЯ БЛОКА СТАНЦИИ МЕТРОПОЛИТЕНА	42
Ди Сопхеак КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ БАМБУКА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ КУЛЬТУРНО-ПРОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ КАМБОДЖИ	53
Петрянина Л.Н. К ВОПРОСУ О КОМПЛЕКСНОМ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ	57

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Бондаренко Д.О., Бессмертный В.С., Строкова В.В., Бондаренко Н.И. ПРОЦЕССЫ ОБРАЗОВАНИЯ ЛИКВАЦИЙ, ТЕРМОДИФфуЗИИ И ИСПАРЕНИЯ В ОБЛИЦОВОЧНОМ КОМПОЗИЦИОННОМ МАТЕРИАЛЕ ПРИ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОМ МОДИФИЦИРОВАНИИ	65
Мирошникова О.В., Борисов И.Н. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ГОРЮЧИХ ОТХОДОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА	71
Федюк Р.С., Мочалов А.В., Лесовик В.С., Гридчин А.М., Фишер Х.-Б. КОМПОЗИЦИОННЫЕ ВЯЖУЩИЕ И САМОУПЛОТНЯЮЩИЕСЯ ФИБРОБЕТОНЫ ДЛЯ ЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ	77

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Яцун С.Ф., Ворочаева Л.Ю., Мальчиков А.В., Политов Е.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ ТРЕХЗЕННОГО РОБОТА С ДВУХКООРДИНАТНЫМИ ШАРНИРАМИ ПО ШЕРОХОВАТОЙ ПОВЕРХНОСТИ	86
Марусич К.В., Шабаев М.М. АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ВОЛОК	96
Федоренко Б.З., Горлов А.С., Петрашев В.И. МОДЕЛИ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЦЕПНЫХ ЗАВЕСАХ ЦЕМЕНТНЫХ ПЕЧЕЙ	103
Борсяков А.С., Афанасьев А.А. ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ БОРСОДЕРЖАЩИХ ПОКРЫТИЙ НА СТАЛЯХ	116

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Слабинская И.А., Ткаченко Ю.А. ДИАГНОСТИКА СИСТЕМЫ ВНУТРЕННЕГО КОНТРОЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПАНИЙ	124
Мебадури З.А., Учаева Т.В., Луничкина Е.В. ФОРМИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ НА СТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ	131
Денисова Е.Д., Куприянов С.В. РЕГИОНАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ, БАЗИРУЮЩЕЕСЯ НА ПРИНЦИПАХ УСТОЙЧИВОСТИ	136
Парфенова Е.Н., Авилова Ж.Н. ВНЕДРЕНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАК ФАКТОР РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	143

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Drebezova M.Yu., Chernysheva N.V., Korbut E.E. A STUDY OF THE CONCRETE WEATHERABILITY OF THE COMPOSITE GYPSUM BINDER	6
Kozlov A.V., Zakharov D.A., Zhivotkov O.I. STUDY OF FLY-ASH PROPERTIES OF THE NOVOCHERKASSK STATE DISTRICT HYDROELECTRIC POWER STATION AND SEARCHING OF THE SPHERE OF ITS APPLICATION	12
Kozhukhova M.I., Fomina E.V., Fomin A.E. FRACTALS AS A PRINCIPLE OF HIERARCHICAL STRUCTURE FORMATION IN CONSTRUCTION MATERIAL SCIENCE	18
Suleymanova L.A., Rahmanov B.K., Kocherzhenko V.V., Solodov N.V. PERSPECTIVE DIRECTIONS OF TECHNOLOGY DEVELOPMENT OF LIFTING WITH USE OF TEXTILE SLINGS	24
Abdrazakov F.K., Pankova P.T., Orlova S.S. THE EVALUATION OF THE ACCIDENT RISK AT THE HYDROCHAIR	34
Dement'eva M.E., Minin K.E. ANALYSIS OF OVERLAP SUBWAY STATION SUITABILITY EXPLOITATION	42
Dy Sopheak THE CONSTRUCTIVE SOLUTIONS OF BAMBOO IN CULTURAL CENTERS BUILDING IN CAMBODIA	53
Petryanina L.N. TO THE QUESTION OF INTEGRATED URBAN DESIGN	57

CHEMICAL TECHNOLOGY

Bondarenko D.O., Bessmertnyi V.S., Strokova V.V., Bondarenko N.I. PROCESSES OF FORMATION OF LIQUACIA, THERMODIFFUSION AND EVAPORATION IN FACING COMPOSITE MATERIAL IN PLASMOCHEMICAL MODIFICATION	65
Miroshnikova O.V., Borisov I.N. THE USE OF VARIOUS TYPES OF COMBUSTIBLE WASTE IN CEMENT PRODUCTION	71
Fedyuk R.S., Mochalov A.V., Lesovik V.S., Gridchin A.M., Fisher H.-B. COMPOSITE BONDING AND SELF-FITTING FIBROBETONS FOR PROTECTIVE FACILITIES	77

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

Jatsun S.F., Vorochaeva L.Yu., Malchikov A.V., Politov E.N. THE STUDY OF THE MOTION OF THREE-LINK ROBOT WITH TWO-AXIS JOINTS ON A ROUGH SURFACE	86
Marusich K.V., Shabaev M.M. MODES ANALYSIS OF HEAT TREATMENT OF HARD ALLOYS DURABILITY	96
Fedorenko B.Z., Gorlov A.S., Petrashev V.I. MODELS OF AERODYNAMIC PROCESSES IN THE CHAIN VEILS OF CEMENT KILNS	103
Borsyakov A.S., Afanasiev A.A. OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF MULTICOMPONENT BORON-CONTAINING COVERINGS ON STEELS RECEIVING	116

ECONOMIC SCIENCE

Slabinskaya I.A., Tkachenko Yu.A. DIAGNOSTICS OF THE INTERNAL CONTROL SYSTEM CONSTRUCTION COMPANIES	124
Mebaduri Z.A., Uchaeva T.V., Lunichkina E.V. THE FORMATION MECHANISMS OF RISK MANAGEMENT IN CONSTRUCTION COMPANY	131
Denisova E.D., Kupriyanov S.V. REGIONAL DEVELOPMENT IN THE LIGHT OF THE REQUIREMENTS OF SUSTAINABILITY	136
Parfenova E.N., Avilova Z.N. INTRODUCTION OF THE INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEM AS THE FACTOR OF DEVELOPMENT OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISE	143

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.12737/article_5b4f02ae7b9974.05993554

¹Дребезгова М.Ю., ст. препод.,¹Чернышева Н.В., д-р техн. наук, доц.,²Корбут Е.Е., канд. техн. наук, доц.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова²Белорусско-Российский университет

ИССЛЕДОВАНИЕ АТМОСФЕРОСТОЙКОСТИ КЕРАМЗИТОБЕТОНА НА КОМПОЗИЦИОННОМ ГИПСОВОМ ВЯЖУЩЕМ

Важной задачей промышленности строительных материалов является развитие отечественного производства эффективных строительных материалов и изделий, обеспечивающих снижение массы возводимых зданий, экологическую безопасность и комфортность жилья, снижение его стоимости и др. К таким материалам относятся гипсовые материалы и изделия, в частности керамзитобетоны на основе композиционных гипсовых вяжущих. Но, к сожалению, в настоящее время данный вид бетонов имеет ограниченное применение в строительстве, не соответствующее их потенциальным возможностям. Одной из причин такого положения является недостаточность проведенных исследований по определению эксплуатационных характеристик гипсобетонов. В данной статье авторами приводятся результаты исследования атмосферостойкости образцов керамзитобетона на основе композиционных гипсовых вяжущих с многокомпонентной тонкодисперсной минеральной добавкой, включающей отходы мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов (отходы ММС), нанодисперсный порошок кремнезема (НДП), мел и суперпластификатор SikaPlast 2135.

Ключевые слова: керамзитобетон, композиционное гипсовое вяжущее, фазовый состав.

Введение. По мнению многих исследователей [1–10], долговечность ограждающих конструкций зависит от условий их эксплуатации, а также влажностного состояния и свойств материала, из которого они созданы. Считается, что в результате чередующихся атмосферных воздействий (увлажнения, высушивания, замораживания и оттаивания) структура бетона рыхлится, возрастает трещинообразование, снижается стойкость к агрессивным воздействиям.

Методология. Атмосферостойкость образцов керамзитобетона размером 10×10×10 см, находящихся на открытом стенде и подвергающихся атмосферным воздействиям, определяли по изменению показателей предела прочности при сжатии.

Основная часть. Решающим фактором в обеспечении атмосферостойкости бетонов является их прочность и способность структуры материала воспринимать без разрушения знакопеременные деформации. Результаты исследования стойкости образцов из керамзитобетона на КГВ при их твердении в атмосферных условиях могут дать определенную оценку их долговечности.

Для определения средней плотности и требуемой прочности керамзитобетона из бетонной смеси изготавливали образцы-кубы размером 10×10×10 см. Пользуясь существующими методиками по подбору состава керамзитобетона, исходя из заданной средней плотности бетона и его структуры, был рассчитан расход КГВ, воды (для

требуемой жесткости или подвижности), заполнителей (крупного и мелкого).

В исследованиях применяли КГВ, включающее: гипсовое вяжущее – β-модификации Г-5БП (Г-5) и α-модификации ГВВС-16 (Г-16), портландцемент ЦЕМ I 42,5Н (ПЦ), многокомпонентные тонкодисперсные минеральные добавки (отходы ММС, нанодисперсный порошок кремнезема (НДП) и мел) и суперпластификатор SikaPlast 2135. Состав КГВ (% по массе): гипсовое вяжущее – 68,05, портландцемент – 15, тонкомолотые отходы ММС – 15, НДП кремнезема – 0,45, мел – 1,5.

При приготовлении бетонных смесей с водой затворения вводили 0,3 % суперпластификатора SikaPlast 2135 (от массы КГВ). В качестве заполнителя применяли керамзитовый гравий с маркой по прочности П125, по насыпной плотности 500, средней насыпной плотностью 460 кг/м³, наибольшей крупностью 20 мм.

По результатам испытаний шести образцов-кубов с ребром 10 см, твердевших в атмосферных условиях в течение 4 лет, проводили оценку предела прочности при сжатии и структуры керамзитобетона.

Составы и показатели физико-механических свойств керамзитобетона приведены в табл. 1.

Натурные наблюдения и лабораторные исследования подтвердили достаточно высокую долговечность образцов керамзитобетона на КГВ

при длительном атмосферном воздействии. Исследованиями установлено, что у образцов, находящихся на открытом стенде 4 года, наблюдается прирост прочности на 18 % (с 11 до 13 МПа) с высокими показателями водостойкости 0,9 и морозостойкости F70, что согласуется с результатами исследований других авторов [2].

Высокие показатели физико-механических свойств образцов керамзитобетона свидетельствуют о стабильности сформировавшейся структуры, что подтверждается поэлементным химическим анализом (табл. 2), электронной микроскопией (рис. 1), проведенными на растровом электронном микроскопе TeScanMIRA 3, и результатами РФА (рис. 2).

Таблица 1

Показатели свойств керамзитобетона на КГВ

Класс бетона	Расход материалов, кг /м ³				В/В	ОК, см	ρ _{ср} , кг/м ³ , в сроки		R _{сж} , МПа в сроки		Кр	F, циклы
	КГВ	керамзит	вода	СП, % от массы КГВ			28 суток	4,5 года	28 суток	4 года		
B7,5	420	555	290	0,3	0,7	4-6	1135	1175	11	13	09	70

Таблица 2

Состав продуктов гидратации в точках микрозондирования

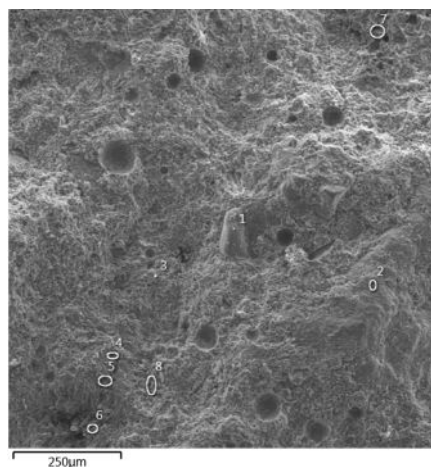
Название спектра	Содержание элементов, масс %, в точках микрозондирования										
	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Fe
Спект 1	6.52	50.94				41.85			0.68		
Спект 2	6.30	40.02		1.17	6.79	13.65	1.43	1.20	4.95	0.72	23.74
Спект 3	6.85	32.65			0.33	2.56	0.92		4.25		52.44
Спект 4	6.20	53.76			0.28	0.86	16.34		22.22		0.35
Спект 5	4.07	52.38					18.05		25.49		
Спект 6	5.54	62.10					14.67		17.69		
Спект 7	5.25	47.45	0.42	1.36	9.47	24.12	0.22	2.14	2.23	0.46	6.87
Спект 8	9.39	51.86				2.41	13.77		22.57		
Спект 9	7.93	50.58		0.82	5.86	15.75	1.83	0.87	7.95	0.71	7.70
Спект 10	12.23	50.30	0.22	0.19	1.91	5.02	0.48	0.35	28.51		0.78
Спект 11	5.73	52.91	0.30	0.77	7.03	25.09	0.91	1.00	3.36	0.23	2.66
Спектр 12	4.38	54.85	0.23	0.45	4.51	32.69		0.94	0.54		1.41
Спектр 13	7.96	53.02	0.20	0.59	3.69	10.06	1.86	0.67	19.88		2.06
Спектр 14	11.25	54.57	0.24		1.33	4.75	0.74	0.32	26.40		0.40
Спектр 15	8.76	51.50	0.46	0.88	9.30	20.09		1.80	2.42		4.79
Спектр 16	12.50	50.71	0.22	0.35	2.73	5.13	0.18	0.42	26.64		1.13
Спектр 17	6.74	58.80				32.74	0.45		0.87		0.40
Спектр 18	6.73	40.84		0.89	4.40	9.93	0.38	0.40	1.38		35.06
Спектр 19	6.91	50.58	0.44	1.16	9.54	18.78	1.42	1.77	4.19	0.23	4.98
Спектр 20	6.84	49.03	0.35	0.99	6.53	17.43	1.08	1.15	11.38	0.33	4.89
Спектр 21	10.74	51.10	0.43	0.88	7.63	20.57	0.21	1.41	2.72	0.30	3.99
Спектр 22	16.95	52.36	0.19	0.17	1.75	3.80	0.28	0.33	23.41		0.76
Спектр 23	9.47	52.91	0.42	1.27	9.68	16.70	0.21	1.54	2.15	0.78	4.85
Спектр 25	10.82	55.47		0.18	0.34	12.25	4.11		16.22		0.62
Спектр 26	5.46	56.28				0.26	16.87		21.12		
Спектр 27	4.40	52.38				0.20	18.81		24.21		
Спектр 28	7.14	52.63		0.52	2.69	32.45		0.44	1.57		2.56
Спектр 29	3.31	48.19		1.64	11.45	25.63		2.94	1.19		5.65
Спектр 30	10.57	48.88				7.74	12.43		20.37		
Спектр 32	14.53	56.02				6.79	3.66		19.00		

Было установлено, что исследуемый образец характеризуется мелкокристаллической структурой новообразований разной морфологии и размеров, которые, судя по данным микроанализа, предположительно относятся к двуводному

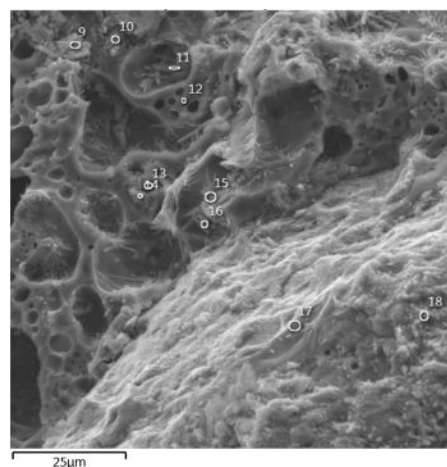
гипсу (спектр 27), к гидросиликатам кальция, гидроалюмосиликатам и гидроалюмоферритам кальция (спектры 28, 29), с упрочненными связями между кристаллами (табл. 2, рис. 1-г).

Наблюдаются участки с более плотной структурой и отдельные блоки из прямых параллельных слоев.

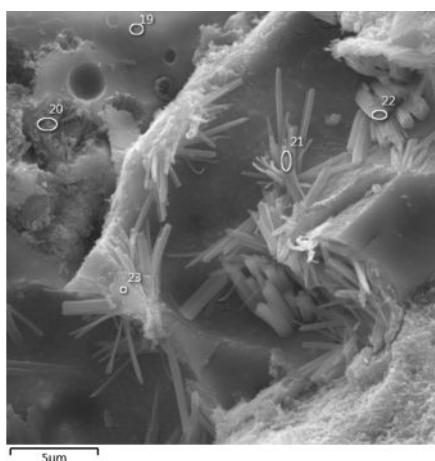
На поверхности зерна заполнителя (керамзита) наблюдается слой продуктов гидратации КГВ, что характеризует хорошее сцепление с ним затвердевшей матрицы (рис. 1-б).



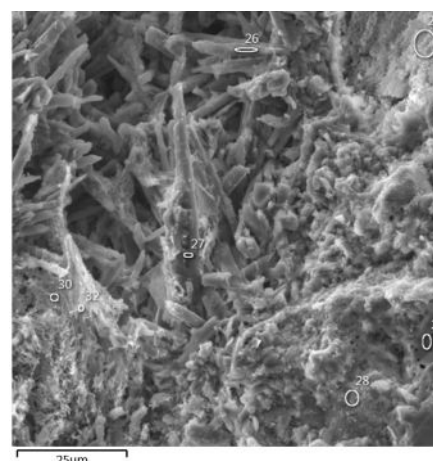
а



б



в



г

Рис. 1. Микроструктура образца керамзитобетона на КГВ, подвергнутого атмосферным воздействиям на открытом стенде в течение 4 лет:

а) спектры 1–8; б) спектры 9–18; в) спектры 19–23; г) спектры 25–32

На рис. 1-в видны кристаллы гипса (спектры 21, 23) и поры заполнителя (спектр 20), зарастающие, предположительно, гидросиликатами кальция и др. новообразованиями (спектр 22).

При рассмотрении рентгенограмм (рис. 2): было выявлено, что основным цементирующими веществами исследуемой пробы являются:

$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($d=7,62; 4,29; 3,81; 3,073; 2,877; 1,880 \text{ \AA}$);

CaCO_3 ($d=3,029; 2,49; 2,277; 2,093; 1,912; 1,869; \text{ \AA}$);

SiO_2 ($d=3,35; 2,55; 2,46; 2,29; 2,133; 1,85; 1,813; 1,662 \text{ \AA}$);

CSH(B) ($d=12,55; 3,07; 2,82; 1,83; 3,35; 2,46; 2,29; 2,133; 1,813; 1,662 \text{ \AA}$);

$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ($d=7,6; 3,80; 2,86; 1,66 \text{ \AA}$).

Пики ($d=7,6; 3,80; 2,86; 1,66 \text{ \AA}$), видимо, принадлежат четырехкальциевому монокарбонатному гидроалюминату ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), образующемуся при гидратации C_3A с добавкой CaCO_3 .

Пики этtringита ($d=9,73; 5,61; 3,88; 2,564; 2,209 \text{ \AA}$) и Ca(OH)_2 ($d=4,93; 2,63; 1,93; \text{ \AA}$) на рентгенограмме не обнаружены, имеются лишь их следы, что свидетельствует о наличии достаточного количества активных минеральных добавок в составе КГВ, содержащих кремнезем в химически активной форме и интенсивно связывающих Ca(OH)_2 в гидросиликаты кальция типа CSH(B) и другие комплексные малорастворимые соединения, обеспечивающие прочность и водостойкость композита.

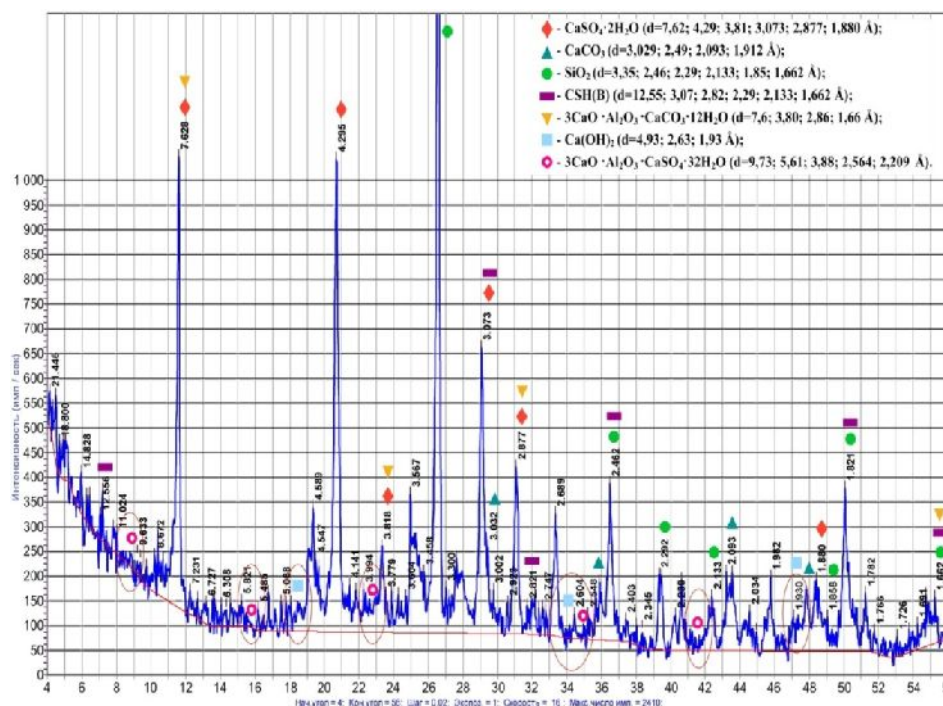


Рис. 2. РФА затвердевшего КГВ из образца керамзитобетона подвергнутого атмосферным воздействиям на открытом стенде в течение 4,5 лет

Выводы. Таким образом, длительные натурные наблюдения и исследования показали, что образцы керамзитобетона на основе КГВ, подвергающихся атмосферным воздействиям 4 года показали удовлетворительную эксплуатационную стойкость. Прочность бетона не снижается.

Источник финансирования. Программа развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова с использованием оборудования Центра Высочайших Технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гипс в малоэтажном строительстве. Под общей ред. А.В. Ферронской. М.: Изд-во АСВ, 2008. 240 с.
2. Справочник. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение). Под общ. ред. проф., д-ра техн. наук А.В. Ферронской. М.: Изд-во АСВ, 2004. 485 с.
3. Мирсаев Р.Н., Бабков В.В., Недосека И.В., Печенкина Т.В., Мирсаев, Р.Н. гипсовых стеновых изделий // Строительные материалы. 2008. № 3. С. 78–80.
4. Коровяков В.Ф., Бурьянов А.Ф. Научно-технические предпосылки эффективного использования гипсовых материалов в строительстве // Жилищное строительство. 2015. № 12. С. 38–40.
5. Гончаров Ю.А., Дубровина Г.Г., Губская А.Г., Бурьянов А.Ф. Гипсовые материалы и изделия нового поколения. Оценка энергоэффективности. Минск: Колоград, 2016. 336 с.
6. Гордина А.Ф., Яковлев Г.И., Полянских И.С. [и др.] Гипсовые композиции с комплексными модификаторами структуры // Строительные материалы. 2016. № 1-2. С. 90–95.
7. Бабков В.В., Латыпов В.М., Ломакина Л.Н., Шигапов Р.И. Модифицированные гипсовые вяжущие повышенной водостойкости и гипсокерамзитобетонные стеновые блоки для малоэтажного жилищного строительства на их основе // Строительные материалы. 2012. № 7. С. 4–7.
8. Лесовик В.С. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса горных пород. М.: Изд. АСВ, 2006. 526 с.
9. Потапов В.В., Сердан А.А. Осаждение кремнезема из гидротермального теплоносителя электрокоагуляцией // Химическая технология. 2002. № 9. С. 2–9.
10. Дребезгова М.Ю. Особенности микростроения затвердевшего КГВ с многокомпонентными минеральными добавками // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №12. С. 136–140.
11. Lesovik V.S., Tschernyschova N.W., Drebezova M.Y. Нанодисперсное кремнезёмсодержащее сырьё для повышения эффективности быстротвердеющих композиционных вяжущих (Nanodisperse kiesel säure haltige Rohstoffe zur Verbesserung der Effizienz schneller härten der Bindemittel mischungen) // 2. Weimar Gypsum Conference. Weimar, 26–27 März, 2014. P. 259–266.

12. Чернышева Н.В., Лесовик В.С., Дребезгова М.Ю. Водостойкие гипсовые композиционные материалы с применением техногенного сырья. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. 321 с.

13. Дребезгова М.Ю., Чернышева Н.В., Шаталова С.В. Композиционное гипсовое вяжущее с многокомпонентными минеральными добавками разного генезиса // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №10. С.27–34.

Информация об авторах

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

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

Корбут Елена Евгеньевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство».
E-mail: korbutee@mail.ru
Белорусско-Российский университет.
Белоруссия, 212000, г. Могилев, проспект Мира, 43.

Поступила в марте 2018 г.

© Дребезгова М.Ю., Чернышева Н.В., Корбут Е.Е., 2018

M.Yu. Drebezova, N.V. Chernysheva, E.E. Korbut A STUDY OF THE CONCRETE WEATHERABILITY OF THE COMPOSITE GYPSUM BINDER

An important task of the construction materials industry is the development of domestic production of effective building materials and products, providing reduction of the mass of buildings, environmental safety and comfort of housing, reducing its cost, etc. Such materials include gypsum materials and products, in particular ceramsite concrete based on composite gypsum binders. But, unfortunately, currently this type of concrete has limited use in construction, not corresponding to their potential. One of the reasons for this situation is the lack of research to determine the operational characteristics of gypsum concrete. In this article, the authors present the results of the study of atmospheric stability of samples of expanded clay on the basis of composite gypsum binders with multicomponent fine mineral additive, including waste magnetic separation of ferrous quartzites, nanodispersed silica powder (NDP), chalk and superplasticizer SikaPlast 2135.

Keywords: concrete, composite gypsum binder, phase structure.

REFERENCES

1. Gypsum in low-rise construction. Under the General editorship of A.V. Ferronsky. M.: Publishing house of DIA, 2008, 240 p.
2. Handbook. Gypsum materials and products (production and application). A.V. Ferronsky. M.: Publishing house ABC, 2004, 485 p.
3. Mirsaev R.N., Babkov V.V., Nedoseka I.V., Pechenkina T.V., Mirsaev R.N. Gypsum wall products. Construction materials, 2008, no. 3, pp. 78–80.
4. Korovyakov V.F., Buryanov A.F. Scientific and technical prerequisites for the effective use of gypsum materials in construction. Housing construction, 2015, no. 12, pp. 38–40.
5. Goncharov A.Yu., Dubrovin G.G., Gubsky A.G., Buryanov A.F. Gypsum materials and products of the new generation. Energy efficiency assessment. Minsk: Colored, 2016, 336 p.
6. Gordina A.F., Yakovlev G.I., Polyansky I.S. [etc.] Gypsum compositions with complex structure modifiers. Stroitel'nye materialy, 2016, no. 1-2, pp. 90–95.
7. Babkov V.V., Latypov V.M., Lomakin L.N., Shigapov R.I. Modified gypsum binders of high water resistance and gipsokartonnye wall blocks for low-rise housing construction on their basis. Stroitel'nye materialy, 2012, no. 7, pp. 4–7.
8. Lesovik V.S. Increase of efficiency of production of construction materials taking into account the Genesis of rocks. M.: Ed. DIA, 2006, 526 p.

9. Potapov V.V., Serdan A.A. Deposition of silica from hydrothermal heat carrier by electro-coagulation. Chemical technology, 2002, no. 9, pp. 2–9.

10. Drebezova M.Y. Features of the microstructure of hardened HC with the Wi-component mineral admixtures. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2017, no. 12, pp. 136–140.

11. Lesovik V.S., Tschernyschova N.W., Drebezova M.Y. Nanodisperse silica-containing raw materials for improving the efficiency of fast-hardening composite binders (Nanodisperse kiesel

säure haltige Rohstoffe zur Verbesserung der Effizienz schneller härten der Bindemittelmischungen). 2. Weimar Gypsum Conference. Weimar, 26-27 März, 2014, pp. 259–266.

12. Chernysheva N.V., Lesovik V.S., Drebezova M.Y. water-resistant gypsum composite materials using technogenic raw materials. Belgorod: BSTU publishing House, 2015, 321 p.

13. Drebezova M.Yu., Chernysheva N.V. Shatalov S.V. Composite gypsum binder with multi-component minerals of different Genesis. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2017, no. 10, pp. 27–34.

Information about the author

Maria Y. Drebezgova, Senior lecturer.

E-mail: drebezgova.my@bstu.ru, mdrebezgova@mail.ru

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

Nataliy V. Chernysheva, DSc, Professor.

E-mail: chernysheva.nv@bstu.ru, Chernysheva56@rambler.ru

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

Elena E. Korbut, PhD, Assistant professor.

E-mail: korbutee@mail.ru

Belarusian-Russian University.

Republic of Belarus, 212000, Mogilev, Mira Ave, 43.

Received in March 2018

Для цитирования:

Дребезгова М.Ю., Чернышева Н.В., Корбут Е.Е. Исследование атмосферостойкости керамзитобетона на композиционном гипсовом вяжущем // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №7. С. 6–11. DOI: 10.12737/article_5b4f02ae7b9974.05993554.

For citation:

Drebezova M.Yu., Chernysheva N.V., Korbut E.E. A study of the concrete weatherability of the composite gypsum binder. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no.7, pp. 6–11. DOI: 10.12737/article_5b4f02ae7b9974.05993554.

Козлов А.В., канд. техн. наук, доц.,**Захаров Д.А., аспирант,****Животков И.О., аспирант****Академия строительства и архитектуры****Донского государственного технического университета**

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ЗОЛЫ-УНОСА НОВОЧЕРКАССКОЙ ГРЭС И ПОИСК ОБЛАСТИ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ

В настоящей статье проведен сравнительный анализ характеристик золы Новочеркасской ГРЭС, получаемой по разным способам сжигания твердого топлива. Выполнены работы по рентгенофазовому, химическому и дифференциально-термическому анализу золы Новочеркасской ГРЭС, показавшие на возможность применения образующихся отходов в области производства строительных материалов. Рассмотрена возможность использования получаемой золы-уноса в производстве грубой строительной керамики. Проведены физико-механические испытания полученных материалов, показавшие на улучшение формовочных свойств глинистого сырья, снижение средней плотности материалов. Проведенные исследования подтвердили целесообразность применения золы-уноса девятого энергоблока Новочеркасской ГРЭС в производстве керамических стеновых материалов, что позволит улучшить формовочные свойства глиняной шихты и улучшить теплотехнические показатели получаемых материалов.

Ключевые слова: зола-уноса, формовочные свойства, строительная керамика, рентгенофазовый анализ, отходы ТЭЦ.

Введение. Россия – один из самых крупных потребителей угля в мире [1]. Это связано с тем, что в условиях холодного климата необходимо обеспечивать надежный энергетический баланс страны. Частично энергетический потенциал страны обеспечивается за счет эксплуатации тепловых электростанций, которые вырабатывают тепловую и электрическую энергию путем сжигания твердых видов топлива, в основном каменного угля добываемого на территории страны. Существует различные типы тепловых электростанций, отличающиеся способом сжигания твердого топлива [2]. Современные ТЭС сжигание твердого топлива осуществляют в измельченном до пылевидного состояния в камерных топках. Неотъемлемой частью этого процесса является образование отходов в виде золы и золошлаковой смеси.

В настоящее время, в отвалах ТЭС России собралось около 1,4 млрд. т. золошлаковых отходов (ЗШО) и с каждым годом это количество пополняется 26,6 млн. т новых отходов. И только 18 % от общего объема образующихся отходов утилизируется в различных отраслях народного хозяйства [3]. Поэтому вопрос утилизации ЗШО с каждым годом становится все более острым, так как накопление их в отвалах создает угрозу экологической безопасности населению и стране в целом [4].

Традиционно Новочеркасская ГРЭС вырабатывает тепловую и электрическую энергию за

счет факельного сжигания предварительно измельченного твердого топлива в камерных топках [5]. Удаление образующихся продуктов горения осуществляется за счет жидкостного шлакоудаления. Очистка дымовых газов от твердых частиц (золы-уноса) на станции осуществляется сухим способом, в золоуловителях. Собранный зола-уноса по трубопроводу транспортируется в силосные склады хранения [6]. Образующиеся на станции отходы содержат небольшое количество несгоревшего топлива, что снижает эффективность работы станции.

В рамках программы модернизации энергетической промышленности в июле 2016 г. на Новочеркасской ГРЭС построен и запущен 9-й энергоблок, принципиально отличающийся от всех работающих. Отличительной особенностью, которого является сжигание топлива по технологии «кипящего слоя», которая предусматривает повторное сжигание несгоревших частиц топлива в отходах, что обеспечивает более полное выгорание угля и большую энергетическую эффективность котлов [7]. Образующиеся на 9-й энергоблоке отходы по внешнему виду отличаются от отходов, образующихся на других блоках, что вызывает необходимость изучения их физико-химических свойств перед началом промышленной переработки в народном хозяйстве.

Основной целью исследований является определение свойств образующихся отходов и

последующего выбора направления их использования в области производства строительных материалов.

Основная часть. При исследовании свойств золы, образующейся на Новочеркасской ГРЭС были проведены рентгенофазовый и дифференциально-термический анализ. Оценка фазового состава выполнена с использованием рентгенометрической картотеки PDF-2 и программы ProfileShow.

При помощи рентгенофазового анализа был определен фазовый состав золы. Результаты исследований представлены на рисунке 1. Красным

цветом на графике показаны углы и интенсивность дифракции золы уноса получаемой по традиционной технологии на 1–8 блоках Новочеркасской ГРЭС.

Зеленый график показывает углы и интенсивность дифракции, характерные для кварца (SiO_2). Как видно из представленной рентгенограммы в исследуемой золе-уноса основной фазой является кварц (SiO_2), что подтверждается результатами ДТА (рис. 2).

На рисунке 1 основной фазой, присутствующей в золе-уноса является кварц (SiO_2), что подтверждается результатами ДТА (рис. 2).

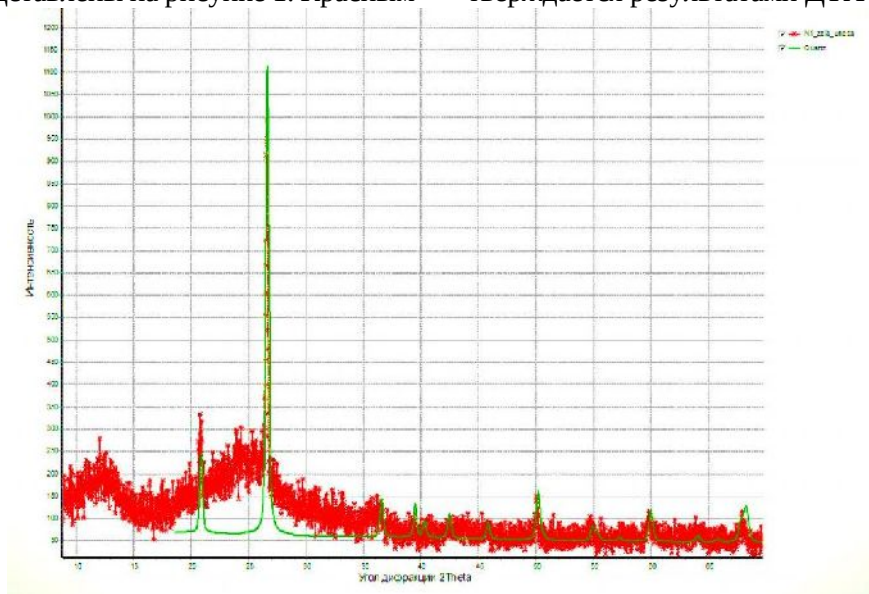


Рис. 1. Рентгенограмма золы-уноса 1-8 блоков Новочеркасской ГРЭС

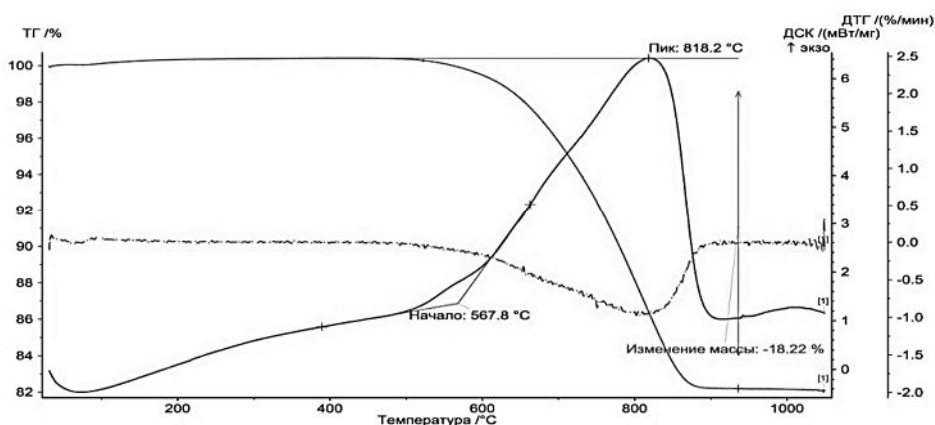


Рис. 2. ДТА золы-уноса 1-8 блоков Новочеркасской ГРЭС

Результаты рентгенофазового анализа золы-уноса получаемой на 9 энергоблоке Новочеркасской ГРЭС представлены на рисунке 3. На представленной рентгенограмме красным цветом показаны интенсивность и углы дифракции золы-уноса 9 энергоблока Новочеркасской ГРЭС, зеленый цветом кварца, желтым цветом выделен гематит и синим-слюда.

Из полученных результатов видно, что фазовый состав зола-уноса 1-8 блоков значительно отличается от золы-уноса 9 блока. В ней присутствуют несколько фаз: примерно на 70 % она состоит из кварца (SiO_2); 15–20 % составляет гематит (Fe_2O_3); остальные 10–15 % составляет слюда. Ориентировочный химический состав слюды $\text{KMgAlSi}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, что подтверждается результатами ДТА, представленными на рисунке 4.

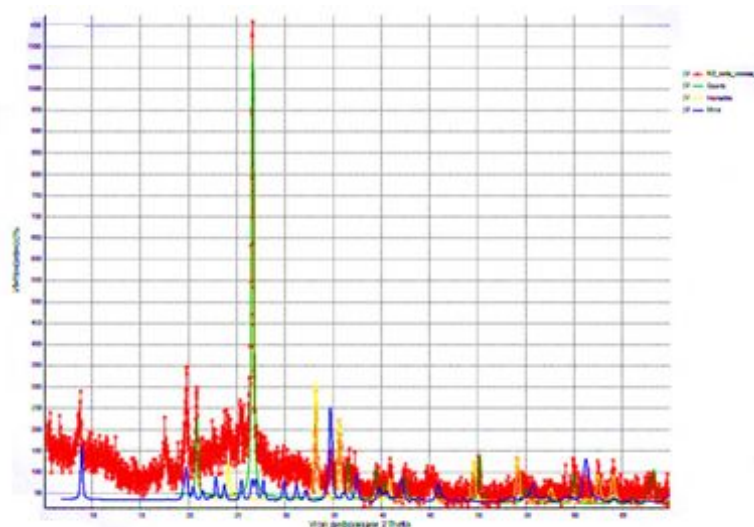


Рис. 3. Рентгенограмма золы-уноса 9 блока Новочеркасской ГРЭС

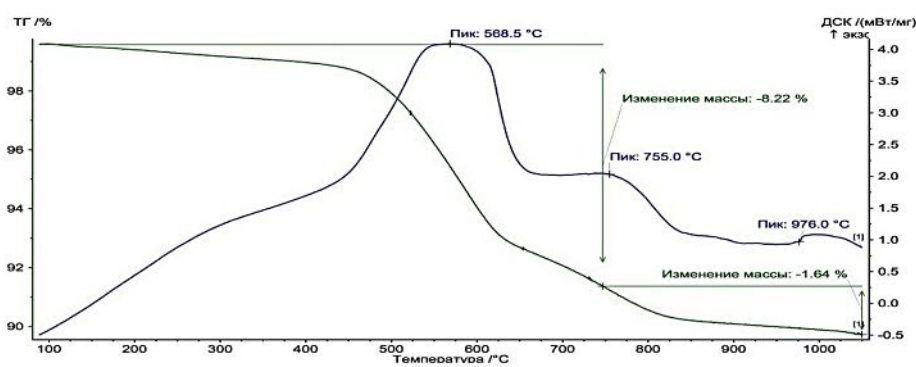


Рис. 4. ДТА золы-уноса 9 блока Новочеркасской ГРЭС

Проведенные исследования позволяют с уверенностью сказать о том, что свойства золы-уноса 9 блока значительно отличаются от ранее образующихся отходов, что требует находить новые пути ее использования в строительном материаловедении.

Для более точного определения свойств образующихся отходов был проведен химический анализ по оксидам, а также физико-механические характеристики, результаты, которых приведены в таблице 1.

Таблица 1

Химический анализ и физико-механические характеристики золы-уноса Новочеркасской ГРЭС

Показатели	Новочеркасская ГРЭС 9 энергоблок	Новочеркасская ГРЭС 1-8 энергоблоки
	Величина, %	
SiO ₂	45,92	53,82
TiO ₂	0,87	0,91
Al ₂ O ₃	25,9	22,12
Fe ₂ O ₃	9,38	9,77
CaO	0,81	3,71
MgO	1,35	2,27
MnO	0,36	0,14
K ₂ O	5,29	4,59
Na ₂ O	0,93	1,26
SO ₃	1,28	0,35
P ₂ O ₅	0,15	0,23
п.п.п	7,37	22,8
Удельная поверхность, см ² /г	9200	2800
Насыпная плотность, кг/м ³	480	1050
Истинная плотность, кг/м ³	2600	2650

Высокое содержание оксида кремния в двух видах золы-уноса говорит о возможности ее применения в производстве силикатных строительных материалов, а также строительной керамики. Также обращает на себя внимание показатель удельной поверхности, который значительно выше, чем у золы-уноса, образующейся по традиционной технологии сжигания угля. Как видно из таблицы 1 показатель насыпной плотности у золы-уноса девятого энергоблока Новочеркасской ГРЭС значительно ниже, чем аналогичный показатель у золы-уноса, образующейся на 1-8 энергоблоках.

Для изучения влияния золы уноса на качество керамического черепка была использована зола-уноса 9 энергоблока Новочеркасской ТЭЦ

и суглинок Большелогского месторождения Ростовской области. Все испытания были выполнены в соответствии с действующей нормативной документацией [8–10].

Было изготовлено четыре состава шихты, содержащие 10 %, 20 %, 40 % золы-уноса и эталонный состав на чистом суглинке. Из приготовленной пластичной массы формовались образцы – кубики, кирпичики, балочки на которых был проведен комплекс испытаний, демонстрирующий влияние золы-уноса на показатели материала.

Результаты определения физико-механических свойств образцов, изготовленных на основе золы-уноса девятого энергоблока приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты определения физико-механических свойств

Состав массы, г			Формовочная влажность, %	Воздушная усадка, %	Общая усадка, %	Огне-вая усадка, %	Средняя плотность, г/см ³	R _{сж} , МПа	R _{изг} , кгс/см ²	Водопоглощение, %
Гл. сырье	Добавка	Вода								
1120	0	215	19,2	8,3	9,1	0,8	1,83	375,6	86,1	14,56
1008	48	208	19,7	8,2	9,1	0,9	1,81	305,2	92,3	15,07
896	96	186	18,7	7,5	8,2	0,7	1,75	281	98,8	16,16
672	192	162	18,7	5,9	6	0,1	1,65	262	69,5	18,71

Из представленных результатов видно, что введение золы уноса не существенно влияет на формовочную влажность (19,2 %–18,7 %), но существенно снижает усадку (на 3,1 %), приводит к уменьшению средней плотности черепка с 1,83 г/см³ до 1,65 г/см³). Также было замечено увеличение водопоглощения (с 14,56 % до 18,71 %).

Для более полного понимания свойств, на которые оказывает влияние зола-уноса девятого энергоблока Новочеркасской ГРЭС было так же изготовлено четыре состава на основе золы-уноса 1–8 блоков Новочеркасской ГРЭС.

Результаты определения физико-механических свойств образцов, изготовленных на основе золы-уноса 1–8 блоков Новочеркасской ГРЭС приведены в таблице 3

Таблица 3

Результаты определения физико-механических свойств

Состав массы, г			Формовочная влажность, %	Воздушная усадка, %	Общая усадка, %	Огне-вая усадка, %	Средняя плотность, г/см ³	R _{сж} , МПа	R _{изг} , кгс/см ²	Водопоглощение, %
Гл. сырье	Добавка	Вода								
1120	0	215	19,2	8,3	9,1	0,8	1,83	375,6	86,1	14,56
1008	105	228	20,5	8,2	8,9	0,7	1,83	298,2	85,2	15,78
896	210	236	21,3	8,1	8,5	0,4	1,81	285	78,8	17,32
672	420	240	22	7,8	8,1	0,3	1,76	271	71,1	18,17

Как видно, из приведенных выше результатов, зола-уноса девятого энергоблока оказывает положительное влияние на ряд физико-механических свойств строительной керамики, превосходя в некоторых показателях (сушильные свойства, предел прочности при сжатии, водопоглощение) образцы, изготовленные на основе золы-уноса, полученной традиционным путем.

Это позволяет сделать вывод о возможности использования золы-уноса 9 энергоблока Новочеркасской ТЭЦ в качестве добавки при производстве строительной керамики. Ее использование позволяет улучшить формовочные свойства массы, снизить среднюю плотность изделий без существенного снижения прочностных свойств материала.

Заключение. На основе проведенных исследований можно с уверенностью сказать, что отходы образующиеся в результате работы 9 энергоблока, пригодны для использования в области производства строительной керамики. А, следовательно, их следует рассматривать не как отход, а как техногенное сырье, для производства строительных материалов. Физико-химические характеристики золы указывают на возможность ее использования в производстве силикатных строительных материалов, строительной керамики, а также в производстве искусственных пористых высокоэффективных заполнителей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Краснянский Г.Н., Зайденварг В.Е., Ковальчук А.Б., Скрыль А.И. Уголь в экономике России. Изд-во Экономика. 2010. 383 с.
2. Беликов С.Е. Котлер В.Р. Котлы тепловых электростанций и защита атмосферы. М.: Издательский центр Аква-Терм, 2008. 360 с.
3. Федеральная служба государственной статистики, данные за 2016 г. http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/environment/ (дата обращения 26.11.17)
4. Лошкарева А.В., Губонина З.И. Экологические проблемы при хранении золоотходов от сжигания твердого топлива на тепловых электростанциях [Электронный ресурс] Системные требования AdobeAcrobatReader. URL <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskie-problemy-pri-hranneni-zoloothodov-ot-szhiganiya-tvyordogo-topliva-na-teplovyyh-elektrostantsiyah>
5. Жихар Г.И. Котельные установки тепловых электростанций. Минск: Вышэйшая школа, 2015. 523 с
6. Ужов В.Н. Очистка промышленных газов электрофильтрами 2-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1967. 344 с.
7. Глейзер И.Ш. Котлы энерготехнологических и тепловых электростанций. М.: Изд-во Электросервис, 2010. 248 с.
8. ГОСТ 25818-91 Золо-уноса тепловых электростанций для бетона. Введен 1991.07.01.
9. ГОСТ 530-2012 Кирпич и камень керамические. Общие технические условия. Введен 2013.07.01
10. ГОСТ 21216-2014 Сырье глинистое. Методы испытаний. Введен 2015.07.01

Информация об авторах

Козлов Александр Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры Строительные материалы.
E-mail: kozlov_rgsu@mail.ru
Академия строительства и архитектуры Донского государственного технического университета.
Россия, 344022, Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, д. 162.

Захаров Дмитрий Александрович, аспирант кафедры Строительные материалы.
E-mail: mity.zakharov@yandex.ru
Академия строительства и архитектуры Донского государственного технического университета.
Россия, 344022, Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, д. 162.

Животков Олег Игоревич, аспирант кафедры Строительные материалы.
E-mail: zvoleg@list.ru
Академия строительства и архитектуры Донского государственного технического университета.
Россия, 344022, Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, д. 162.

Поступила в апреле 2018 г.

© Козлов А.В., Захаров Д.А., Животков И.О., 2018

A.V. Kozlov, D.A. Zakharov, O.I. Zhivotkov

STUDY OF FLY-ASH PROPERTIES OF THE NOVOCHERKASSK STATE DISTRICT HYDROELECTRIC POWER STATION AND SEARCHING OF THE SPHERE OF ITS APPLICATION

In the present article the comparative analysis of characteristics of Novocherkassk ashes of the state district hydroelectric power plant is received according different ways of combustion of solid fuel is carried out. Works on X-ray phase, chemical and differential thermally to the analysis of Novocherkassk ashes of state district hydroelectric power plant are carried, the applications of the formed waste which have shown on an opportunity in the field of production of construction materials are performed. The possibility of the received ashes ablation usage in production of rough construction ceramics is considered. The physicomechanical tests of the received materials which have shown the improvement of forming properties of clay raw materials, decrease in average density of materials are carried out. The conducted researches have confirmed expediency

of ashes ablation usage of the ninth power unit of the Novocherkassk state district hydroelectric power plant in production of ceramic wall materials that will allow to improve forming properties of clay furnace charge and to improve heat technical indicators of the received materials.

Keywords: fly-ashes, forming properties, construction ceramics, X-ray phase analysis, waste of combined heat and power plant.

REFERENCES

1. Krasnyansky G.N., Zaydenvarg V.E., Kovalchuk A.B., Skryl A.I. Coal in economy of Russia. Economy publishing house, 2010, 383 pages.
2. Belikov S.E., Kotler V.R. Coppers of thermal power plants and protection of the atmosphere. Moscow, Publishing center Akwa Term, 2008, 360 p.
3. Federal State Statistics Service, given for 2016.//http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/environment/ (date of the address 26.11.17)
4. Loshkareva A.V., Gubonin Z.I. Environmental problems at storage of zolotohod from combustion of solid fuel on thermal power plants [An electronic resource] System requirements of AdobeAcrobatReader. URL <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskie-problemy-pri-hranenii-zolotohodov-ot-szhiganiya-tyvordogo-topliva-na-teplovyyh-elektrostantsiyah>
5. Zhikhar G.I. Boiler installations of thermal power plants. Minsk, Vysheyshe school, 2015, 523 p.
6. Uzhov V.N. Purification of industrial gases with electric precipitators. M.: Chemistry, 1967, 344 p.
7. Glazer I.Sh. Coppers of power technological and thermal power plants. Moscow, Elektroservice Publishing house. 2010, 248 p.
8. GOST 25818-91 of Ashes ablation of thermal power plants for concrete. 1991.07.01 are entered.
9. GOST 530-2012 Brick and stone ceramic. General specifications. 2013.07.01 are entered
10. GOST 21216-2014 Raw materials clay. Test methods. 2015.07.01 are entered

Information about the author

Aleksandr V. Kozlov, PhD, Assistant professor.

E-mail: kozlov_rgsu@mail.ru

Academy of construction and architecture of Don state technical university.

Russia, 344022 ,Rostov-on-Don, st. Sotsialisticheskaya, 162.

Dmitry A. Zakharov, Postgraduate student.

E-mail: mity.zakharov@yandex.ru

Academy of construction and architecture of Don state technical university.

Russia, 344022 ,Rostov-on-Don, st. Sotsialisticheskaya, 162.

Oleg I. Zhivotkov, Postgraduate student.

E-mail: zvoleg@list.ru.

Academy of construction and architecture of Don state technical university.

Russia, 344022 ,Rostov-on-Don, st. Sotsialisticheskaya, 162.

Received in April 2018

Для цитирования:

Козлов А.В., Захаров Д.А., Животков И.О. Изучение свойств золы-уноса Новочеркасской ГРЭС и поиск области ее применения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №7. С. 12–17. DOI: 10.12737/article_5b4f02b0ad1bf3.90578520.

For citation:

Kozlov A.V., Zakharov D.A., Zhivotkov O.I. Study of fly-ash properties of the novocherkassk state district hydroelectric power station and searching of the sphere of its application. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no.7, pp. 12–17. DOI: 10.12737/article_5b4f02b0ad1bf3.90578520.

^{1,2}Кожухова М.И., канд. техн. наук,¹Фомина Е.В., канд. техн. наук,¹Фомин А.Е., аспирант¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова²Университет Висконсин-Милуоки, штат Висконсин, США

ФРАКТАЛЫ КАК ИЕРАРХИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП ОРГАНИЗАЦИИ В СТРОИТЕЛЬНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

Современные тенденции развития строительного материаловедения все больше ориентированы на реализацию принципов подражания природным объектам. Инструментарий природоподобных технологии основан на инновационных междисциплинарных областях исследований, к которым можно отнести теорию фракталов. В работе отражена возможность практической реализации одной из концепций фрактальных алгоритмов, основанных на иерархическом принципе подобия геометрических структур на примере получения супергидрофобных покрытий для цементобетонных композитов. Фрактал – это новый инструмент оптимизации строительного композита, ориентированный на системный принцип построения структуры на каждом уровне масштаба с возможностью регулирования технико-эксплуатационных параметров готового изделия.

Описана теоретическая модель формирования упорядоченного фрактального принципа текстуры поверхности цементобетона на микро-, субмикро- и наноразмерном уровне организации в зоне контакта «бетон – силиконовое покрытие» путем подбора функциональных элементов. Одним из функциональных элементов для обеспечения определенной шероховатости поверхности выступает фибра. Упорядоченные фибровые волокна, выступая на поверхности, формируют положительные и отрицательные формы рельефа (впадины, бугорки и другие макронеровности), создавая, таким образом, «рельефные ловушки» для водяных капель, попадающих на поверхность. Другим элементом является минеральная составляющая ограноминеральной эмульсии. Разноразмерные минеральные частицы силиконовой эмульсии в силу их морфологии, энергетического состояния в условиях критического размера, вносят вклад в текстуру поверхности и способствуют формированию сил взаимодействия частиц с верхним слоем цементной матрицы.

В итоге микро- и макрошероховатость формируется за счет естественной морфологии бетонной поверхности и ворсистой структуры верхнего слоя мелкозернистого фибробетона; нано- и субмикрошероховатость – за счет капиллярно-пористой поверхности цементно-песчаной матрицы и высокодисперсных минеральных компонентов, содержащихся в защитном слое, покрывающем разноразмерные структурообразующие элементы бетона. При общей работе упорядоченной иерархической структуры возможно достичь сверх- и супергидрофобных свойств цементобетона (краевой угол смачивания поверхности более 150°, критический угол скатывания менее 15°).

Ключевые слова: фрактал, иерархия, природоподобие, цементобетон, супер- и ультрагидрофобность, морфология.

Введение. На современном этапе развития строительного материаловедения стоит сложная задача по созданию новых интеллектуальных строительных композитов, способных обеспечить систему зданий и сооружений, формирующих пространственную среду, качественную и безопасную для жизни и деятельности людей. Современная номенклатура строительных изделий должна отвечать повышенным требованиям в соответствии с территориальной расположением проектируемого строительного объекта и условиями его эксплуатации. В решении этих сложных задач приоритет приобретают принципиально новые природоподобные технологии, которые не наносят урон окружающему миру, а

существуют с ним в гармонии и позволяют восстановить нарушенный человеком баланс между биосферой и техносферой [1].

Соединение различных структур в единое целое, придание изделию многофункциональных свойств, диктует выполнение определенных требований и необходимых условий для обеспечения их совместной работы. Исследуя сложные системы по классическим подходам и старым алгоритмам, невозможно получить новые прорывные результаты. Инструментарием нового подхода являются современные трансдисциплинарные исследования, основанные на положениях геоники (геомиметика) [2–4] и бионики (биомиметика).

Основная часть. Принципы подражания природным объектам проявляются в самых необычных функционально-структурных, конструктивных и декоративных решениях. Современные архитекторы в своем творчестве основываются на инновационных междисциплинарных областях исследования.

Наиболее распространенный пример – теория фракталов [5]. Идеей данного направления послужили основные алгоритмы самоподобия кристаллических структур. В архитектуре это наиболее устойчивая и крепкая форма. Применение фрактальной теории отражено в работах П. Эйзенмана, Ч. Дженкса. Самая известная работа – генеральный план города Дубай (ОАЭ) (рис. 1) [6].

Современные представления американского архитектора Даниэля Либерскинда об органично вписанной в ландшафт архитектуре, основаны на

уникальных геометрических подобию кристаллических структур (рис. 2 а) [7].



Рис. 1. Применение фрактальной теории в генеральном плане города Дубай (ОАЭ)



а



б

Рис. 2. Геометрические подобию природных структур в архитектуре: а – реконструированное здание Королевского музея Онтарио (Royal Ontario Museum), Торонто; б – китайский павильон Vanke на выставке ЭКСПО 2015

Один из универсальных фрактальных алгоритмов, спиральный, широко распространенный в неорганической (от траекторий элементарных частиц до циклонов и галактик) и живой природе (раковины моллюсков, рога копытных, завитки побегов растений) дает множество сходных решений морфогенеза. Именно спираль является универсальным фракталом, так как в абсолютно любой части подобна самой себе (рис. 2 б).

Фрактальные структуры самоподобия – это иерархический принцип организации. Подобный принцип широко изучен на примере супергидрофобных свойств листа лотоса – «эффекта лотоса», свойства которого зависят от упорядоченного расположения конусообразных формирований, создающих определенный рельеф поверхности листа (рис. 3 а).

Подобие геометрических структур (фракталов) поверхности листка лотоса можно достигнуть при формировании супергидрофобной по-

верхности цементобетонных путем подбора функциональных элементов на нано-, субмикро- и микроуровне и учета свойств вводимых элементов (рис. 3 б). Однако, при создании высокоразвитой поверхности заданной текстуры основной проблемой является стабилизация «построенных» структур на цементной поверхности, а также сочетание средства гидрофобизатора с обрабатываемой бетонной поверхностью. Другой проблемой является неудовлетворительные физико-механические характеристики существующих бетонов с поверхностной гидрофобизацией. Значительный интерес представляет механизм формирования гидрофобной иерархической структуры в зоне контакта «бетон – силиконовое покрытие».

Эффективным способом создания высокоразвитой поверхности бетона с достижением сверх- и супергидрофобных свойств является применение фиброволокна в композиции с органоминеральной эмульсией. Механизм действия

фибры в цементно-песчаной матрице состоит в том, что фибра обеспечивает формирование упорядоченной ворсистой структуры на поверхности цементобетона и вносит вклад в придание высокогидрофобных свойств. Геометрически идеализированная модель хаотичного и равномерного распределения фибры на единицу площади стро-

илась согласно математическим расчетам. Однонаправленное расположение фибры и необходимую шероховатость обеспечивала абразивная обработка поверхности. Несомненным достоинством введения фибры является микроармирование цементобетона, что позволяет повысить его прочность.

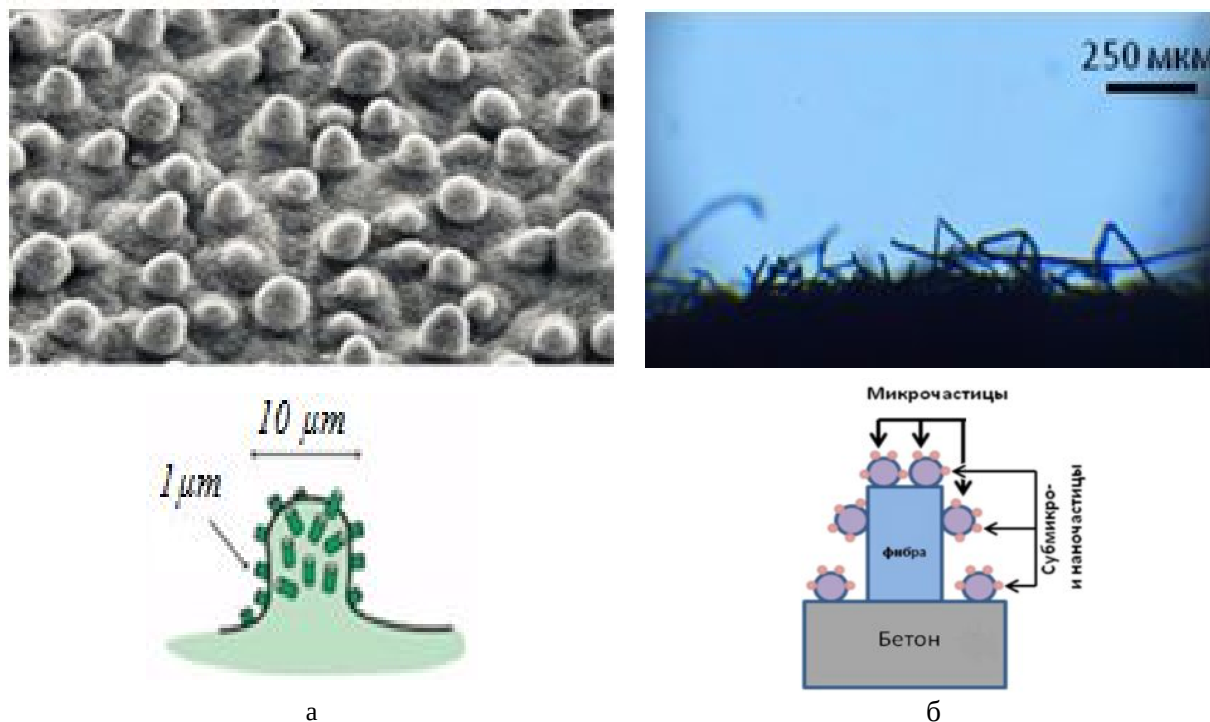


Рис. 3. Копирование упорядоченных элементов микроструктуры поверхности листа лотоса: а – поверхность листка лотоса [8]; б – высокоразвитая иерархическая структура бетона [9, 10]

Особенность подхода к созданию органического покрытия состоит в оптимизации высокодисперсного минерального наполнителя. Оптимизация высокодисперсного минерального наполнителя, в данном аспекте, интерпретируется как селекция по морфологическому, размерному, химическому, а также объемному признаку с целью достижения максимально возможных и практически приемлемых упорядоченных характеристик поверхности бетона со сверх- и супергидрофобными свойствами.

В итоге модель формирования фрактальной иерархической структуры бетона заключается в создании на поверхности бетона ворсистой структуры где микро- и макрошероховатость формируется за счет естественной морфологии бетонной поверхности и ворсистой структуры верхнего слоя мелкозернистого фибробетона; нано- и субмикрошероховатость – за счет капиллярно-пористой поверхности цементно-песчаной матрицы и высокодисперсных минеральных компонентов, содержащихся в защитном слое, а также гидрофобной природы силоксанового компонента, входящего в состав эмульсии, покрывающей разноразмерные структурообразующие

элементы бетона (рис. 3 б). Учитывая особенности структурной морфологии, возможно, направлено изменять текстурную поверхность цементобетона, (краевой угол смачивания поверхности более 150° , критический угол скатывания менее 15°).

Выводы. Реализация природоподобных технологий путем реализации фрактального алгоритма построения упорядоченной иерархической структуры комплексного покрытия, позволяет сохранить цементобетону его функциональные свойства в зависимости от назначения и условий эксплуатации и придать ему сверх- и супергидрофобные свойства и является инновационным инструментом создания строительных композитов нового поколения.

Источник финансирования. Стипендия Президента РФ 2018–2020 гг.; Программа развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова с использованием оборудования Центра Высоких Технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Из выступления президента России В.В. Путина на 70-й Ассамблеи ООН [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/50385>
2. Лесовик В.С. Геоника (геомиметика) примеры реализации в строительном материаловедении. В.С. Лесовик. 2-е изд., доп. Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. 287 с.
3. Лесовик В.С., Трифонов Б.В., Фомина Е.В. Некоторые аспекты применения положений геоники в стоматологическом материаловедении // В сборнике: Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства Международная научно-практическая конференция, посвященная 70-летию заслуженного деятеля науки РФ, члена-корреспондента РААСН, доктора технических наук, профессора Валерия Станиславовича Лесовика, 2016. С. 147–150.
4. Лесовик В.С., Фомина Е.В. Кристаллогенетические аспекты техногенного метасоматоза в строительном материаловедении // В сборнике: Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства. Международная научно-практическая конференция, посвященная 70-летию заслуженного деятеля науки РФ, члена-корреспондента РААСН, доктора технических наук,

профессора Валерия Станиславовича Лесовика, 2016. С. 151–156.

5. Поморов С.Б., Филиппов А.А. Фракталы и их участие в архитектурном проектировании // Ползуновский вестник. 2014. № 1. С. 141–147.
6. Kravchenko V.F. Application of the Boltzmann Function to the Theory of Fractal Antennas. Doklady Physics. 2002. Vol. 66 (2). P. 294–300.
7. Daniel Libeskind. Date Views. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://archi.ru/architects/world/22/daniel-libeskind>
8. Nanomaterials: Shedding light and water The Agency for Science // A*STAR Research 2012 www.sciencedaily.com/releases/2012/08/120820121230.htm
9. Кожухова М.И., Кнотко А.В., Соболев К.Г., Кожухова Н.И. Микроструктурные особенности формирования иерархической структуры на гидрофобизированной поверхности бетона // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 9. С. 6–3.
10. Кожухова М.И., Флорес-Вивиан И., Рао С., Строкова В.В., Соболев К.Г. Комплексное силикатное покрытие для супергидрофобизации бетонных поверхностей // Строительные материалы. 2014. № 3. С. 26–30.

Информация об авторах

Кожухова Марина Ивановна, кандидат технических наук, научный сотрудник кафедры гражданского строительства и охраны окружающей среды, Школа инжиниринга и прикладных наук, инженер кафедры материаловедения и технологии материалов.

E-mail: kozuhovamarina@yandex.ru

Университет Висконсин-Милуоки, штат Висконсин.

P.O. Box 413, Милуоки, WI 53201, США.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

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

Фомина Екатерина Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной экологии.

E-mail: fomina.katerina@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

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

Фомин Александр Евгеньевич, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

E-mail: fomin.alex@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

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

Поступила в апреле 2018 г.

© Кожухова М.И., Фомина Е.В., Фомин А.Е., 2018

M.I. Kozhukhova, E.V. Fomina, A.E. Fomin
FRACTALS AS A PRINCIPLE OF HIERARCHICAL STRUCTURE FORMATION
IN CONSTRUCTION MATERIAL SCIENCE

Modern trends of construction material are focused on realization of principles based on biomimicry that is an imitation of natural objects. The biomimetic technologies consist are of the interdisciplinary research areas including fractals theory. In this work the opportunity of real application of one of the fractal concept based on hierarchical formation of natural geometric structures was presented using synthesis of superhydro-

phobic top layers for cement-based concrete composites. Fractal concept is a new apparatus of structure optimization of construction composite based on complex principle of structure formation at different scales allowing the control of the composite performance.

The theoretical model of fractal formation of surface structure for cement-based concrete at micro-, sub-micro- and nano-scale in an interface zone «concrete – hydrophobic layer» was described by a selection of functional component, such as fibers which are responsible for surface relief. Being a part of the top layer of concrete surface the oriented in a certain way fibers are able to form positive and negative surface topology such as cavities and bumps providing so-called «traps» for water droplets.

The mineral fillers in the composition of hydrophobic layer is considered as another key component in the fractal formation of surface structure. The wide range of particle size of mineral component, their morphological features as well as energy state in terms of their critical dimensional conditions significantly contribute into the surface morphology and cause interaction forces between the mineral particles and cement matrix.

Therefore, micro- and macro relief is achieved by a contribution from natural concrete surface morphology as well as incorporated fibers; submicron relief is formed due to capillary-porous surface of cement-sand matrix and high dispersity of mineral components containing in superhydrophobic layer that covers concrete surface. Complex formation of hierarchically arranged surface structure allows for over- and superhydrophobic characteristics of cement-based concrete surface with the contact angle more than 150° , and roll-off angle less than 15° .

Keywords: fractal formation, hierarchical structure, biomimetic technologies, cement-based concrete, over- and superhydrophobicity,

REFERENCES

1. From the Speech of President of Russian Federation presented at 70th UN Assembly: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/50385>
2. Lesovik V.S. Geonika (geomimetics). Implementation examples in construction material science: monography Belgorod: BSTU, 2016. 287 c.
3. Lesovik V.S., Trifonov B.V., Fomina E.V. Some aspects of application of geonika principles in stomatological material science. Proceedings of Int. Research-to-practice Conf. «Intellectual construction composites for green construction», 2016, pp. 147–150.
4. Lesovik V.S., Fomina E.V. Krystallogenetic aspects of technogenic metasomatism in construction material science. Proceedings of Int. Research-to-practice Conf. «Intellectual construction composites for green construction», 2016, pp. 151–156.
5. Pomorov S.B., Filippov A.A. Fractals and its application when architectural design. Polzunovsky vestnik, 2014, no. 1, pp. 141–147.
6. Kravchenko V.F. Application of the Boltzmann Function to the Theory of Fractal Antennas. Doklady Physics, 2002, vol. 66 (2), pp. 294–300.
7. Daniel Libeskind. Date Views. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://archi.ru/architects/world/22/daniel-libeskind>
8. Nanomaterials: Shedding light and water The Agency for Science // A*STAR Research 2012 www.sciencedaily.com/releases/2012/08/120820121230.htm
9. Kozhukhova M.I., Knotko A.V., Sobolev K.G., Kozhukhova N.I. Microstructural features of hierarchical structure at repellent concrete surface. Bulletin of BSTU named V.G. Shukhov, 2016, no. 9, pp. 6–3.
10. Kozhukhova M.I., Florwes-Vivian I., Rao S., Strokova V.V., Sobolev K.G. Complex siloxane coating for super-hydrophobicity of concrete surfaces. Stroitel'nye Materialy, 2014, no. 3, pp. 26–30.

Information about the author

Marina I. Kozhukhova, PhD, Post-Doctoral Associate

E-mail: kozuhovamarina@yandex.ru

University of Wisconsin-Milwaukee

3200 N Cramer Street, Milwaukee, WI 53211, USA

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

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Ekaterina V. Fomina, PhD, Assistant professor.

E-mail: fomina.katerina@mail.ru

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

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Alexander E. Fomin, Postgraduate student.
E-mail: fomin.alex@mail.ru
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in April 2018

Для цитирования:

Кожухова М.И., Фомина Е.В., Фомин А.Е. Фракталы как иерархический принцип организации в строительном материаловедении // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №7. С. 18–23.
DOI: 10.12737/article_5b4f02b20be876.03657115.

For citation:

Kozhukhova M.I., Fomina E.V., Fomin A.E. Fractals as a principle of hierarchical structure formation in construction material science. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no.7, pp. 18–23.
DOI: 10.12737/article_5b4f02b20be876.03657115.

¹Сулейманова Л.А., д-р техн. наук, проф.,²Рахманов Б.К., ст. науч. сотрудник,¹Кочерженко В.В., канд. техн. наук, проф.,¹Солодов Н.В., канд. техн. наук, доц.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия²Ферганский политехнический институт, Узбекистан

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ТАКЕЛАЖНЫХ РАБОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТРОПОВ НА ТЕКСТИЛЬНОЙ ОСНОВЕ

В статье приведены положительные качества текстильных и круглопрядных стропов, дана характеристика материалов, из которых их изготавливают, а также деформационные и механические характеристики. Указаны условия и требования к грузозахватным приспособлениям, по которым текстильные стропы особенно перспективны при реконструкции, ремонте и устранении завалов.

Благодаря развитию производства высокопрочных синтетических волокон, использование текстильных строп стало доступным и для крупных заводов, и для малых предприятий. В настоящее время текстильные стропы становятся все более популярными грузозахватными приспособлениями. Легкость, гибкость и высокая грузоподъемность данного вида строп позволяет решить множество задач в сфере подъема и перемещения грузов, которые до недавних пор считались невыполнимыми. В некоторых случаях они являются единственно возможным приспособлением для обвязки и строповки груза. В большей степени это касается грузов, нуждающихся в бережном обращении.

Наиболее перспективным направлением совершенствования тканевых гибких стропов авторы считают применение в комплекте со стропами быстросъемного замка между «концевиком» и самим стропом. Это позволяет применить «концевик» различной конструкции в зависимости от условий проведения такелажных работ.

Ключевые слова: грузозахватные устройства, такелажные работы, текстильный строп, реконструкция.

К такелажным работам относятся такие операции, как строповка оборудования, конструкций, трубопроводов; вязка узлов; крепление и сращивание стальных и текстильных канатов; подъем, перемещение и опускание грузов вручную и с помощью механизмов и др. Грузозахватное приспособление (ГЗП) – вспомогательное устройство грузоподъемной машины, предназначенное для захвата грузов, их удержания при перемещении и последующей разгрузки [1].

Опираясь на Общероссийский классификатор продукции (ОКП), можно выделить следующие подгруппы:

- 522521 Стропы грузоподъемные строительные;

- 522522 Захваты строительные и др.

Исходя из ОКП следует, что основное направление применения ГЗП – отрасль строительства [2, 3].

В отечественной нормативно-технической документации (НТД) классификация ГЗП встречается в следующих документах: ГОСТ 25032–81 «Средства грузозахватные. Классификация и общие технические требования» [4]; РД 11-07–2007 «Инструкция по проек-

тированию, изготовлению и безопасной эксплуатации стропов грузовых» [5], ГОСТ 25573–82 «Стропы грузовые канатные для строительства. Технические условия» [6].

Все ГЗП можно разделить по следующим признакам:

- по функциональному назначению (захваты, соединительные элементы);

- по принципу взаимодействия захвата с грузом (зацепные, фрикционные, анкерные, опорные);

- по конструкции соединительных элементов (гибкие, жесткие).

Данная классификация разбивает ГЗП на две составляющие: захваты и соединительные элементы. К захватам можно отнести комплектующие для строп (крюки, монтажные скобы) и захваты различной конфигурации (фрикционные, анкерные, магнитные). К соединительным элементам можно отнести траверсы [7] (жесткая конструкция) и стропы различной конфигурации (гибкая конструкция), а также и механические захваты, выполненные в корпусе, навешиваемом на крюк грузоподъемной машины.

Рассмотрим пример строповки груза ветвью стропа «удавкой». В данном случае строп выполняет функции и соединительного элемента, и захвата. Принцип взаимодействия захвата с грузом – обхватывающий. Таким образом, один строп попадает под всю классификацию одновременно и является самодостаточным элементом.

Зацепные захваты удерживают груз, имеющие специальные такелажные точки (отверстия, петли) при помощи крюков, скоб. Фрикционные захваты удерживают груз при помощи сил трения, возникающих между захватом и грузом. Опорный захват удерживает груз за счет опирания части поверхности груза на площадку захвата. Обхватывающий захват удерживает груз за счет обхвата гибким элементом захвата поверхности груза. Электромагнитный захват удерживает груз за счет электромагнитного поля. Вакуумный захват удерживает груз за счет разрежения, возникающего при удалении газа из камеры захвата.

Согласно классификации по ГОСТ, соединительные элементы могут быть двух типов: мягкие и жесткие. К первым относят стропы, ко вторым – траверсы. Кроме того, иногда применяются комбинации из траверс со стропами. Предлагается ввести третий тип – комбинированные соединительные элементы.

Каждое ГЗП обладает определенным назначением, в зависимости от конструкции и технических характеристик. Некоторые ГЗП, такие как стропы, могут быть применены практически в любой отрасли для подъема 90 % грузов. Такие ГЗП можно назвать универсальными. ГЗП, применяемые в различных отраслях и условиях для подъема однотипных грузов, входят в группу специализированных. ГЗП, которые могут быть применены для подъема одного конкретного груза в конкретной отрасли и условиях, относятся к группе узкоспециализированных.

Обилие производимой продукции требует подъемно-транспортных операций с различными типами грузов. Грузы могут быть штучными, упакованными в пакеты и штабели, сыпучие, жидкие и т.д. Штучные, штабелированные и пакетированные грузы могут быть подняты непосредственно ГЗП [8].

Универсальные ГЗП – стропы, по материалу изготовления, которые могут быть стальными или на текстильной основе.

Благодаря развитию производства высокопрочных синтетических волокон, использование текстильных строп стало доступным и для крупных заводов, и для малых предприятий. В настоящее время текстильные стропы становятся все более популярными грузозахватными приспособлениями.

Легкость, гибкость и высокая грузоподъемность данного вида строп позволяет решить множество задач в сфере подъема и перемещения грузов, которые до недавних пор считались невыполнимыми.

В некоторых случаях они являются единственно возможным приспособлением для обвязки и строповки груза. В большей степени это касается грузов, нуждающихся в бережном обращении.

Текстильные стропы – это стропы, изготовленные из текстильной тканой ленты в различных исполнениях и материалов. Текстильные ленточные стропы изготавливаются в соответствии с требованиями РД 24-СЗК-01-01 «Стропы грузовые общего назначения на текстильной основе».

Стропы изготавливают из разных полимеров: полиамида (капрона), полипропилена, но чаще применяют стропы из полиэстерных волокон, в первую очередь из полиэфира (polyester), поскольку кроме высокой устойчивости к истиранию и прочности ему присущ целый комплекс уникальных свойств, а именно:

- допускаемая рабочая температура от –60 до +100 °С (на прочность стропа из этого материала не влияет воздействие даже 75-градусного мороза);
- высокая стойкость к воздействию большинства кислот, даже сильных;
- хорошая стойкость к воздействию щелочных растворов и морской воды (а при комнатной температуре – и к крепким щелочам);
- стойкость к воздействию нефти, органических и неорганических растворителей;
- стойкостью к действию плесени и УФ-излучений;
- высокое электрическое сопротивление;
- влагопоглощение на уровне 4 % при 20 °С;
- относительное удлинение при рабочей нагрузке не более 5 % и т. д.

Конструктивно мягкие стропы делятся на несколько типов:

- ленточные двухпетлевые стропы (РД 24СЗК-01-01) грузоподъемностью 1,0...25,0 т при прямом подвесе груза (при строповке «в люльку» их грузоподъемность удваивается);
- ленточные кольцевые (РД 24СЗК-01-01) грузоподъемностью 1,0...25,0 т при прямом подвесе груза;
- стропы из одной-четырех полиэстерных ветвей, оснащенные металлическими петлями 8-го класса качества. Стандартная грузоподъемность одноветвевых строп – 0,5...25,0 т, четырехветвевых – 1,25...60 т. В отдельных случаях такие стропы изготавливают и значительно

большей грузоподъемности. Например, круглопрядные стропы на текстильной основе до 100 т [9].

Круглопрядные стропы являются совершенно новой концепцией грузозахватных приспособлений, используемых при такелажных работах. Они имеют форму кольца, состоящего из несущего сердечника и защитного кожуха (рукава), которые выполнены из тканого материала. Сердечник представляет собой множество бесконечных, кольцевых полимерных волокон и изготавливается из того же материала, что и кожух. Рукав предохраняет внутренние волокна сердечника от повреждения и сохраняет их в постоянном параллельном положении. Защитный рукав, высокоустойчивый к истиранию и с хорошими теплоизоляционными свойствами, также устраняет тепловой эффект трения, возникающий в месте затяжки петли стропа при «сдавливании» подъема тяжелых грузов.

Ведущие компании, производящие данные стропы, особое внимание уделяют конструкции рукава. Например, компания SpanSet выпускает круглопрядные стропы в защитных рукавах с вплетенной металлической проволокой (марка MagnumPLUS) и стропы с гофрированным каркасом (SupraPLUS). Форма в виде замкнутой петли гарантирует длительный срок службы стропа, поскольку позволяет контролировать равномерность износа благодаря постоянному изменению места контакта стропа с грузом и крюком крана. Весьма пластичный и гибкий круглопрядный строп мягко облегает перемещаемый груз, легко принимая его форму, и при этом, за счет конструкции стропа, можно поднимать грузы массой до 100 т и более. Помимо этого, при обвязке груза создается широкий и надежный упор (эффект подушки), что оберегает строп от повреждения и значительно снижает вероятность выскальзывания при транспортировке. Круглопрядные стропы с успехом применяют при самых сложных подъемах, поскольку их легко завести под конструкцию любой конфигурации и реализовать практически любой способ строповки.

Важнейшим достоинством текстильных строп является их свойство не повреждать груз, а потому они незаменимы для строповки грузов с мягкими, обработанными или окрашенными поверхностями, например, изделий из резины, пиломатериалов, мебели, мешков с сыпучими материалами, мягких туюков, труб, деталей, станков, мелких судов и т. п.

В России стропы на текстильной основе изготавливают по техническим условиям из ленты отечественного производства или импортной. У нас довольно популярны текстильные стропы InkaOy (Финляндия), Certex (США), SpanSet,

Yale Industrial Products, GeRont Gurt-und-Hebetechnik, Carl Stahl GmbH (все – Германия), LANEX CZ, spol. s r.o. (Чехия), Lemens (Голландия) и др. Чтобы снизить стоимость продукции, многие отечественные компании шьют в собственных цехах стропы грузоподъемностью 0,5...20,0 т. из полиэстерной ленты зарубежного производства [9].

Для изготовления круглых кольцевых строп требуется специальное оборудование, поэтому спрос на них пока удовлетворяется исключительно за счет импортных поставок. Среди немногих отечественных производителей текстильных строп большой грузоподъемности, использующих волокна и ленты собственного изготовления, отметим московское ООО НПП «Полипрон». Фирма выпускает все виды этой продукции грузоподъемностью до 10 т и длиной до 20 м, из полиэстра и полиамида, в том числе круглопрядные стропы [9]. Синтетические канаты широко используются в самых разных отраслях промышленности и на транспорте.

При решении многих прикладных задач необходимо учитывать упругие свойства канатов [10]. Практиков, в первую очередь, интересуют инженерные методы определения натяжения и формы канатных систем. Ф.И Баранов [10], на основе анализа проведенных опытов, предложил зависимость для удлинения испытанного сухого образца пенькового каната:

$$\varepsilon = 0,005 \cdot \sqrt{T}, \quad (1)$$

где T – сила натяжения в кгс (килограмм силы – техническая единица измерения усилия). Формула (1) использована в [10] для расчета равновесия канатной части орудий рыболовства, причем не только из растительных материалов. Разумеется, зависимость (1) не является универсальной, справедлива только для условий проведения опытов.

В [11] была выдвинута гипотеза, что зависимость удлинения синтетических канатов от относительной нагрузки является степенной:

$$\varepsilon = A_i \cdot \theta^{n_i} = A_i \cdot (T / P_i)^{n_i}, \quad (2)$$

где θ – отношение усилия в канате T к разрывному усилию P ; A_i , n_i – эмпирические параметры зависимости для i -го типа канатов.

Из формулы (2) следует, что предварительно необходимо исследовать разрывное усилие синтетических канатов P , так как в многочисленных экспериментальных исследованиях именно к нему относят усилие в канате T . В данной статье проанализированы опубликованные данные по разрывному усилию синтетических канатов

[11–13] и подобраны эмпирические константы в зависимости (2) для некоторых из них.

Прочность синтетических канатов зависит от многих факторов: материала, из которых они изготовлены, соблюдения технологии при его изготовлении, типа (конструкции), износа каната, условий эксплуатации (воздействие температуры, химических веществ, ультрафиолетового излучения, ударных нагрузок). В [16] предпринята попытка сравнения прочностных характеристик канатов из различных полимерных материалов без учета их конструкции. Далее остановимся на прочностных характеристиках, широко используемых в промышленности синтетических 3-рядных крученых кантов.

Все крупные производители синтетических канатов, как российские, так и зарубежные, имеют стенды (разрывные машины) для испытания прочности и эластичности своих изделий. Последние несколько лет для привлечения по-

тенциальных покупателей они публикуют результаты испытаний прочности канатов [16–18]. В этих испытаниях увеличение силы натяжения происходит достаточно медленно, чтобы разрывное усилие можно было считать статическим.

Была выдвинута гипотеза [11, 12], что зависимость $P(d)$ является степенной:

$$P_i(d) = B_i \cdot d^{m_i} \quad (3)$$

где P_i – статическое разрывное усилие i -го типа канатов, кН; d – диаметр каната, мм; B_i , m_i – эмпирические коэффициенты.

Были проанализированы результаты испытаний канатов, изготовленных ООО «Севзапканат» [16]. Методом наименьших квадратов были найдены значения эмпирических коэффициентов в формуле (3) для 3-х рядных канатов (табл. 1).

Таблица 1

Параметры характеристик разрывная нагрузка-диаметр каната

Параметр	Материал канатов			
	1	2	3	4
B	0,211	0,250	0,223	0,272
m	1,865	1,860	1,911	1,902
с.к.о., %	0,8	0,9	0,8	1,2

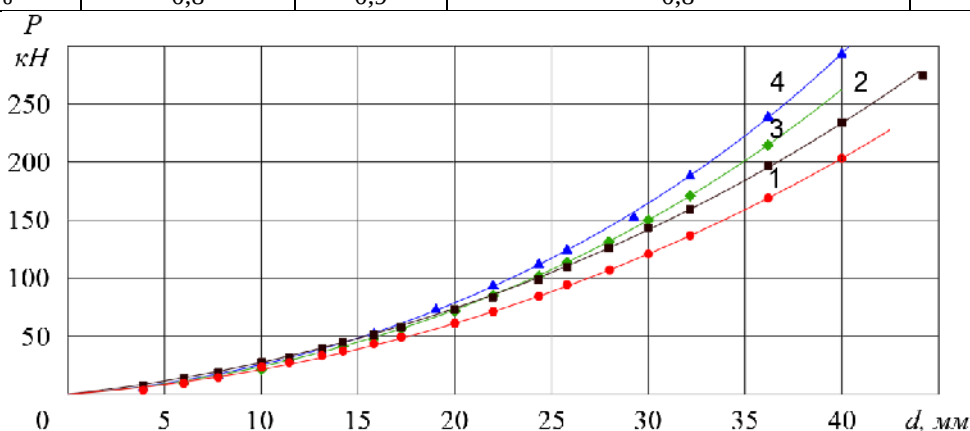


Рис. 1. Зависимость разрывного усилия 3-х рядных канатов от диаметра: 1 – полипропиленовые; 2 – полистирольные; 3 – «Силвер» (полистил+полиэстер); 4 – полиамидные

На рис. 1 представлено сравнение результатов расчетов с данными испытаний. Среднеквадратическое отклонение опытных данных от зависимости (3) не превышает 1,2 %.

Зависимость (3) остается справедливой и при стремлении диаметра к нулю, так как величина P тоже будет стремиться к нулю. Наименьшее разрывное усилие получилось у канатов, изготовленных ООО «Севзапканат» из полипропилена, наибольшее – из полиамида. Показатели степени для всех материалов меньше двух. Значит, разрывное напряжение в материале канатов будет уменьшаться с увеличением их диаметра.

Точки – опытные данные [16]; линии – расчет по формуле (3).

Для сравнения характеристик канатов из различных материалов используют коэффициент относительной прочности K [15, 17]:

$$K = P_g / \eta, \quad (4)$$

где P_g – разрывное усилие, кгс (килограмм силы), $P_g = 1000 \cdot P / 9,8$; η – линейная плотность каната, кг/км (г/м).

На рис. 2 представлена зависимость коэффициента относительной прочности 3-рядных канатов от их диаметра. Видно, что коэффициент относительной прочности канатов монотонно уменьшается с увеличением их диаметра.

В [17] приведены в безразмерной форме графики нагрузка-удлинение синтетических канатов, полученные опытным путем. Удлинение отнесено к первоначальному (перед опытом) размеру образца, а усилие – к разрывному усилию каната. Опубликованные графики обобщенные (скорее всего, осредненные, но это не указано в

[17]), справедливые для всех размеров канатов, но различаются в зависимости от материала. Отдельно представлены графики по новым канатам и по бывшим в употреблении. Также не различаются прочностные и упругие характеристики 3-рядных крученых канатов и 4-рядных плетеных, что подтверждается и нашими исследованиями.

Методом наименьших квадратов по опытным данным [17] были подобраны параметры степенной эмпирической зависимости (2). Они показаны в табл. 2.

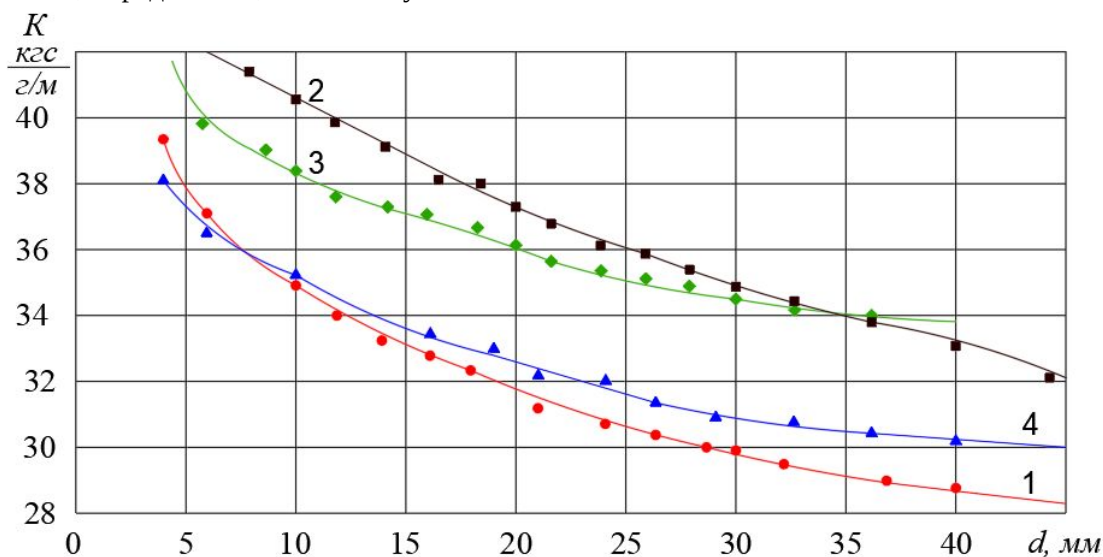


Рис. 2. Коэффициент относительной прочности 3-рядных канатов. Точки – данные [15]; линии – расчет по формуле (4). Обозначения, как на рис. 1.

Таблица 2

Параметры характеристик нагрузка-удлинение

Параметр	Материал канатов				
	1	2	3	4	5
	Полипропилен	«Малтитекс»	Нейлон	Полистил	«Мастер»
Новые канаты					
A	0,155	0,255	0,357	0,180	0,195
n	0,487	0,551	0,582	0,618	0,438
с.к.о., %	7,2	5,2	7,9	4,9	18,2
Проработавшие канаты					
A	0,115	0,184	0,255	0,118	0,156
n	0,534	0,544	0,601	0,613	0,475
с.к.о., %	7,8	3,7	5,7	5,3	15,1

Сравнение результатов расчетов с опытными данными представлено на рис. 3, 4. Среднеквадратическое отклонение опытных данных от кривых не превышает 8 %, только в одном случае выше (табл. 2). По рис. 5 видно, что наибольшей эластичностью обладают канаты из нейлона; упругие характеристики канатов из полистила и из полипропилена мало различаются.

При использовании гибких стальных и текстильных стропов зачастую возникают особые условия, при которых невозможно применить

традиционные захватные органы. К таким областям относятся: реконструкция, ремонт зданий и сооружений, разбор завалов после землетрясений и др. В этих условиях требуется применение таких захватывающих органов, которые еще не выпускаются предприятиями. Эти условия характеризуются стесненностью, невозможностью закрепить захватный орган под конструкцией, неопределенностью массы, веса поднимаемых элементов; зачастую требуется дистанционное управление захватным органом. Вышеперечисленные условия и требования ГЗП позволяют нам

определить перспективные направления развития по использованию захватных органов в тяжелых работах.

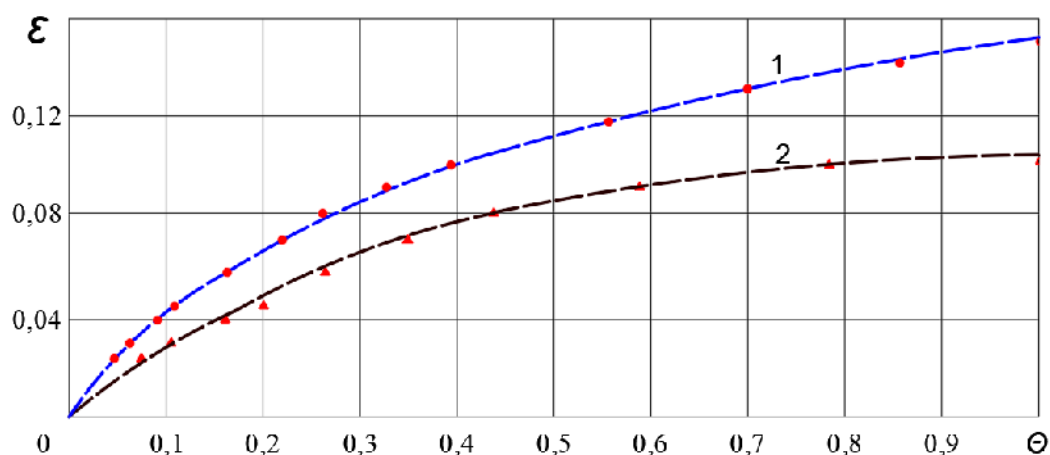


Рис. 3. Зависимость относительного удлинения каната из полипропилена от безразмерной нагрузки: 1 – новые канаты, 2 – порабатавшие. Точки – опытные данные [16], линии – результаты расчета по формуле (2)

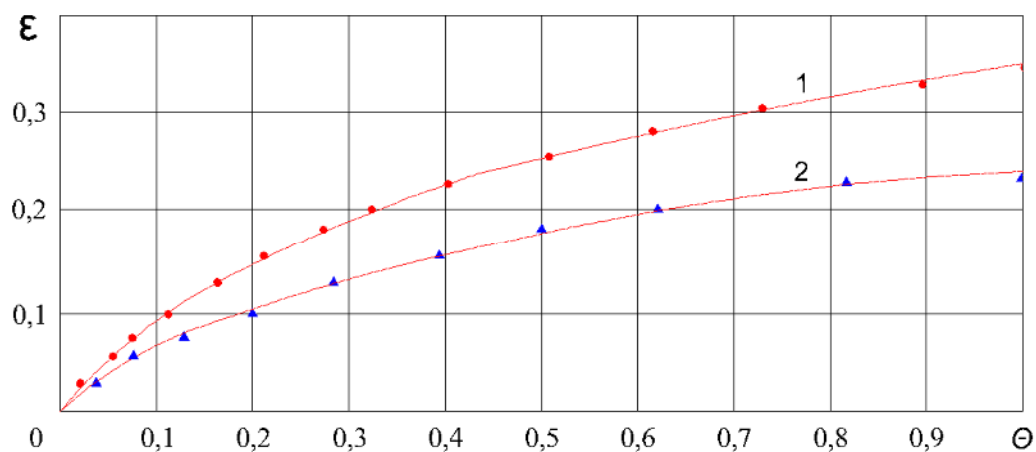


Рис. 4. Зависимость относительного удлинения каната из нейлона от безразмерной нагрузки (обозначения, как на рис. 3.)

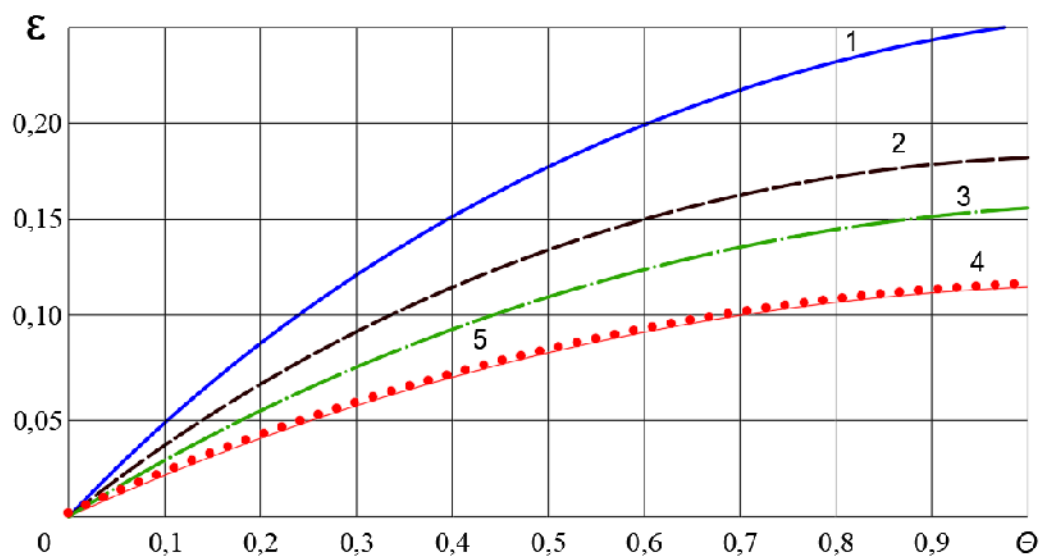


Рис. 5. Зависимость относительного удлинения порабатавших канатов от безразмерной нагрузки: 1 – нейлон; 2 – «малтитекс»; 3 – «мастер»; 4 – полистил; 5 – полипропилен

При изготовлении железобетонных, металлических и других строительных конструкций для подъема элементов предусматриваются монтажные устройства: петли, проушины, болты и т.д. Для особых условий реконструкции, ремонта и ликвидации завалов (рис. 6), как правило, устройства для строповки отсутствуют, конструкции находятся не в проектном положении, зачастую лежат в виде завалов. Чтобы застропить такие конструкции, необходимо пропустить гибкий строп под нее, что при наличии ГЗ органов на конце весьма проблематично, либо проделать подкоп под конструкцию, либо проделать отверстие в ней.



Рис. 6. Условия реконструкции, ремонта и ликвидации завалов

Для подобных сложных ситуаций нам представляется перспективным применять универсальные гибкие тканевые стопы со сменными «концевиками». Для этого между гибким стропом и ГЗ органом необходимо предусмотреть быстро разъёмный замок для того, чтобы менять «концевики» в зависимости от ситуаций: пропустить строп под конструкцию, пропустить гибкий строп сквозь небольшое отверстие или применить ГЗ орган по прямому назначению.

В комплект к тканевым гибким стропам (одноветвевые, многоветвевые), на наш взгляд, необходимо включить различные по назначению «концевики»:

– рабочий орган для протаскивания тканевых гибких строп под конструкцию или в отверстие;

– рабочий орган переменной жесткости для подачи гибкого стропа в недоступные места.

В предлагаемом универсальном стропующем устройстве на нижнем конце имеется быстро разъёмный узел, с помощью которого возможна быстрая замена «концевиков» различного назначения.

Назначения «концевиков» первой очереди: создать возможность включить в работу (застропить) ГЗ орган наиболее подходящий к условиям строповки.

Назначение «концевиков» второй очереди – надежно застропить конструкцию с помощью одного из видов ГЗ органа.

Очевидно, что направление дальнейших исследований технологии такелажных работ с использованием стропов на текстильной основе (в условиях реконструкции, ремонта и устранения завалов) заключается в детальной разработке и исследовании универсальных стропов с быстро-разъёмными замками и «концевиками» различных видов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванов Н.И., Демин В.С. Такелажные работы. Москва: Стройиздат, 1983. 158 с.
2. Константинов А.С., Прусов А.Ю. Показатели качества грузозахватных приспособлений // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. Пермь, 2013. С. 158–165.
3. Сулейманова Л.А., Козлюк А.Г., Глаголев Е.С., Марушко М.В. К вопросу обследования технического состояния гражданских зданий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №7. С. 32–36.
4. ГОСТ 25032-81 Средства грузозахватные. Классификация и общие технические требования. М.: Изд-во стандартов, 1992. 4 с.
5. РД 11-07-2007. Инструкция по проектированию, изготовлению и безопасной эксплуатации стропов грузовых [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru>.
6. ГОСТ 25573-82 Стропы грузовые канатные для строительства. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1989. 52 с.
7. Жуков М.И., Бурнашов М.А. Систематизация траверс для подъема и перемещения крупногабаритных грузов // Мир транспорта и технологических машин. Орел, 2012. № 2. С. 96–99.
8. Третьяков Г.М., Денисов В.В. Перспективные направления развития средств крепления грузов в вагонах и контейнерах // Вестник транспорта Поволжья. 2009. № 4. С. 18–22.

9. Степанов Ю.С., Мельников В.И., Степанова Е.Ю. Научные технологии в изготовлении текстильных строп // Научные технологии в машиностроении. 2012. № 11. С. 22–26.

10. Ахмедов И.М. Эмпирическая формула для расчета удлинения синтетических канатов // Вестник науки и образования Северо-Запада России 2016. Т. 2. № 1. С. 105–110.

11. Наумов В.А., Ахмедов И.М. Упругие свойства синтетических канатов / Сборник статей Международной научно-практической конференции «Наука в современном мире» // Стерлитамак: РИЦ АМИ, 2015. С. 180–182.

12. Ахмедов И.М., Наумов В.А. Зависимость разрывного усилия синтетических канатов от их диаметра // Водопользование и задачи гидромеханики: Сборник научных трудов. Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ». 2015. С.15–20.

13. Наумов В.А., Ахмедова Н.Р., Ахмедов И.М. Анализ результатов испытания прочности трехрядных канатов из полимерных материалов // Известия КГТУ. 2015. № 36. С.43–51.

14. Наумов В.А., Ахмедов И.М. Статистический анализ результатов испытаний прочности синтетических канатов // Сборник статей Международной научно-практической конференции «Инновационное развитие современной науки». Уфа: РИОМЦИИ «Омега сайнс». 2015. С. 51–53.

15. Евсеева С.С. Сравнительный анализ технических характеристик синтетических канатов // Вестник АГТУ. Промышленное рыболовство. 2008. № 3. С. 90–92.

16. Текстильные канаты, Севзапканат. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sevzapkanat.com> (дата обращения 04.11.2015).

17. LANEX. Marineropes [Электронный ресурс]. URL: <http://www.lanex.cz/en/> (дата обращения 31.12.2014).

18. Агни-Прогресс. Канаты, сети, шнуры [Электронный ресурс]. URL: <http://www.agniprogres.ru/company.html> (дата обращения 04.11.2015).

Информация об авторах

Сулейманова Людмила Александровна, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой строительства и городского хозяйства.

E-mail: suleymanova.la@bstu.ru; ludmilasuleimanova@yandex.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

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

Рахманов Баходир Кушакович, старший научный сотрудник, зав. кафедрой «Строительство зданий и сооружений, геодезия, картография, кадастр».

E-mail: bahadir0212@mail.ru

Ферганский политехнический институт.

Узбекистан, 150107, г. Фергана, ул. Ферганская 86.

Кочерженко Владимир Васильевич, кандидат технических наук, профессор кафедры строительства и городского хозяйства.

E-mail: vvkpgs1946@yandex.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

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

Солодов Николай Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства.

E-mail: solodovnikov.dn@bstu.ru; solodov_niko_v@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

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

Поступила в апреле 2018 г.

© Сулейманова Л.А., Рахманов Б.К., Кочерженко В.В., Солодов Н.В., 2018

L.A. Suleymanova, B.K. Rahmanov, V.V. Kocherzhenko, N.V. Solodov PERSPECTIVE DIRECTIONS OF TECHNOLOGY DEVELOPMENT OF LIFTING WITH USE OF TEXTILE SLINGS

There are positive qualities of textile and round slings in the article, was given a characteristic of materials from which it's made off and also deformation and mechanical characteristics. Were showed conditions and requirements for lifting equipment on which textile slings especially are perspective in reconstruction and repair.

Thanks to the development of the production of high-strength synthetic fibers, the use of textile slings has become available for large plants and for small enterprises. At present, textile slings are becoming

increasingly popular with load-handling devices. The lightness, flexibility and high lifting capacity of this type of sling allows to solve many tasks in the field of lifting and moving loads, which until recently were considered impossible. In some cases, they are the only possible device for tying and stitching cargo. Mostly it concerns goods that need careful handling.

Mostly perspective direction of improvement of fabric flexible slings by authors opinion is use with slings of quick disconnecting locks between hardware of sling and sling. It allows to apply hardware of sling of different structure in dependence of lifting conditions.

Keywords: *lifting equipment, lifting, textile sling, reconstruction.*

REFERENCES

1. Ivanov N.I., Demin V.S. Lifting works. Moscow: Stroyizdat, 1983. 158 p.
2. Konstantinov A.S., Prusov A.Y. Rates of quality of materials handling equipment. Modernization and scientific researches in transport complex. Perm, 2013, pp. 158–165.
3. Suleymanova L.A., Kozlyuk A.G., Glagolev E.S., Marushko M.V. To the question of condition survey of the civil buildings. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. no. 7, pp. 32–36.
4. GOST 25032-81 Lifting equipment. Classification and main technical requirements. M.: standard publishing house, 1992, 4 p.
5. RD 11-07-2007. Instruction of design, make and safe exploitation of cords [electronic resource]. URL: <http://docs.cntd.ru>.
6. GOST 25573-82 Rope cord for construction. Technical conditions. M.: standard publishing house, 1989, 52 p.
7. Zhukov M.I., Burnashov M.A. Systematization of cross-arms for lifting and movement of out-of gauge. World of transport and technological machines. Orel, 2012, no. 2, pp. 96–99.
8. Tretyakov G.M., Denisov V.V. Perspective directions of development of means of securing of loads in wagons and containers. Messenger of Povolzhie transport, 2009, no. 4, pp. 18–22.
9. Stepanov Y.S., Melnikov V.I., Stepanova E.Y. Knowledge-intensive technologies in make of textile cords. Knowledge-intensive technologies in engineering, 2012, no. 11, pp. 22–26.
10. Ahmedov I.M. Empirical formula for calculation of elongation of synthetic ropes. Messenger of science and education of North-East of Russia, 2016, vol. 2, no. 1, pp. 105–110.
11. Naumov V.A., Ahmedov I.M. Elastic properties of synthetic ropes. Digest of states of International science-practical conference Science in modern life. Sterlitamak: RIC AMI, 2015, pp. 180–182.
12. Ahmedov I.M., Naumov V.A. Dependence of disconnect force of synthetic ropes from its diameter. Use of water and problems of hydromechanics: Digest of scientific works. Kaliningrad: Publishing house FGBOU VPO "KGTU", 2015, pp. 15–20.
13. Naumov V.A., Ahmedova N.P., Ahmedov I.M. Analysis of results of strength experiment of plain-laid ropes from polymer materials. Izvestia KGTU, 2015, no. 36, pp. 43–51.
14. Naumov V.A., Ahmedov I.M. Statistical analysis of results of strength test of synthetic cable. Digest of states of International science-practical conference "Innovative development of modern science". Ufa: RIOMCII "omega science". 2015, pp. 51–53.
15. Evseeva S.S. Comparative analysis of technical characteristic of synthetic ropes. Messenger of AGTU. Industrial fishing, 2008, no. 3, pp. 90–92.
16. Textile ropes. Sevzapkanat. [Electronic resource]. URL: <http://www.sevzapkanat.com> (on the date 04.11.2015).
17. LANEX. Marineropes [Electronic resource]. URL: <http://www.lanex.cz/en/> (on the date 31.12.2014).
18. Agni-progress. Ropes, webs, cords [Electronic resource]. URL: <http://www.agni-progress.ru/company.html> (on the date 04.11.2015).

Information about authors

Liudmila A. Suleymanova, DSc, Professor.
E-mail: suleymanova.la@bstu.ru; ludmilasuleimanova@yandex.ru
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostiukov, 46

Bahodir K. Rahmanov, Senior researcher.
E-mail: suleymanova.la@bstu.ru; ludmilasuleimanova@yandex.ru
Fergana Polytechnic Institute.
Uzbekistan, 150107, Fergana city, Ferganskaya st. 86.

Vladimir V. Kocherzhenko, PhD, Professor.
E-mail: vvkpgs1946@yandex.ru
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostiukov, 46

Nikolay V. Solodov, PhD, Assistant professor.
E-mail: solodovnikov.dn@bstu.ru; solodov_niko_v@mail.ru
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostiukov, 46.

Received in April 2018

Для цитирования:

Сулейманова Л.А., Рахманов Б.К., Кочерженко В.В., Солодов Н.В. Перспективные направления развития технологии такелажных работ с использованием стропов на текстильной основе // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №7. С. 24–33. DOI: 10.12737/article_5b4f02b33ae161.18457183.

For citation:

Suleymanova L.A., Rahmanov B.K., Kocherzhenko V.V., Solodov N.V. Perspective directions of technology development of lifting with use of textile slings. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no.7, pp. 24–33. DOI: 10.12737/article_5b4f02b33ae161.18457183.

Абдразаков Ф.К., д-р, техн. наук, проф.,
Панкова Т.А., канд. техн. наук, доц.,
Орлова С.С., канд. техн. наук, доц.

Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ РИСКА АВАРИИ НА ГИДРОУЗЛЕ

Проведение оценки степени риска аварии на гидроузле, безусловно, актуально и необходимо для проектирования и декларирования гидротехнических сооружений. При наступлении гидродинамической аварии любого гидроузла, создается угроза появления чрезвычайной ситуации, которая угрожает жизни и здоровью людей, разрушает здания, сооружения, оборудование, транспортные средства, и наносит ущерб окружающей природной среде. Анализ опасности на гидроузле начинается с прогнозирования всевозможных сценариев развития гидродинамической аварии и определения для каждого сценария коэффициентов опасности аварии, уязвимости, риска аварии и вероятности возникновения гидродинамической аварии согласно параметрам зоны затопления и негативного воздействия, на окружающую среду. В качестве примера в данной статье приводятся результаты оценки степени риска гидродинамической аварии гидроузла, включающего земляную плотину и водосбросное сооружение.

Ключевые слова: гидроузел, авария, сценарии, риск, опасность, вероятность, надежность.

Введение. По данным Российского регистра ГТС (на 01.01.2015 год) в стране пониженный уровень безопасности имеют 43,4 % комплексов ГТС, неудовлетворительный уровень 12,5 % и опасный уровень безопасности, характеризующий потерей работоспособности и не подлежащих эксплуатации, 4,7 % ГТС [1]. Для Саратовской области, где общее количество построенных земляных плотин составляет около 500, допустимое число аварий по нормативам составляет 3, что в настоящее время примерно соответствует действительности. В соответствии с Федеральным законом [2] для определения условий, параметров финансового обеспечения безопасности гидротехнических объектов требуется проводить расчет вреда, который может возникнуть при аварии на гидроузле. Расчет вреда проводится путем анализа совокупных влияний факторов, отражающих степень опасности гидроузла [3]. Степень опасности, определяет характеристику процесса, происходящего на гидроузле в пределах зоны его влияния на условия жизнедеятельности людей, хозяйственной деятельности и окружающую среду. Оценка риска аварии гидроузла заключается в сравнении полученных показателей, характеризующих риск возникновения аварии с допустимыми значениями, которые регламентируются действующими нормативными документами и критериями [4–5].

К возможным источникам опасности для ГТС, относятся: проявления дефектов конструкций при долговременной эксплуатации вследствие старения материалов и изменения их свойств под действием внешних факторов. Эксплуатация ГТС должна соответствовать требованиям действующих норм, правил обеспечения

надежности и безопасности, своевременное проведение работ по ремонту отдельных конструктивных элементов сооружений. К недостаткам надежной эксплуатации относят недостаточное или полное отсутствие мероприятий, направленных на обеспечение готовности объектов к локализации и ликвидации аварийной ситуации, боевых действий и террористических актов.

При возникновении гидродинамической аварии гидроузла последствия на человека, здания и сооружения должны определяться в границах территории, в пределах которой воздействие аварии может быть опасно для жизни и здоровья человека, и может привести к разрушению и повреждению зданий и сооружений.

Методология. Определение показателей, характеризующих степень риска аварий на гидроузле была проведена согласно требованиям [6], Методики определения размера вреда [7], и в соответствии с Методическими рекомендациями [8].

Основная часть. В качестве объекта исследования было выбрано гидротехническое сооружение – грунтовая плотина с водосливной трубой на пруду «Казенный» в 2-х км юго-западнее села Верхавовка Дергачевского района Саратовской области. Пруд «Казенный» создан для противопожарных, хозяйственных и рекреационных целей. Питание пруда происходит за счет грунтовых вод и атмосферных осадков. Оценка степени риска аварии на гидроузле исследуемой плотины проводилась путем анализа совокупного влияния факторов, отражающих степень опасности и степень уязвимости гидроузла [9]. Сооружения исследуемого объекта по своему

функциональному назначению являются водоподпорными, в связи, с чем на них может возникнуть гидродинамическая авария, которая может повлечь за собой образование волны прорыва и зоны затопления. На основании анализа возможных причин возникновения и характера опасных повреждений гидроузла, способных вызвать аварийные ситуации и гидродинамическую аварию были спрогнозированы сценарии развития аварии (табл. 1).

Таблица 1

Сценарии развития возможных аварий

№ сценария	Предпосылки и этапы развития аварий на ГТС
1	Превышение фактических паводковых расходов над расчетными, в связи с прохождением паводков редкой повторяемости, перелив воды через гребень плотины, разрушение гребневой зоны плотины с образованием прорана, формирование волны прорыва с затоплением территории
2	Неравномерные деформации грунтовой плотины, вследствие отклонения от режима эксплуатации – образование трещин на гребне, оползание участков откосов, образование промоин, провалов с образованием прорана - возникновение волны прорыва с опорожнением водохранилища, затопление территории в нижнем бьефе гидроузла.
3	Повреждения отдельных элементов водосбросного сооружения, отказ гидромеханического оборудования, переполнение водохранилища, перелив воды через гребень плотины, размыв части гребня и откосов с образованием прорана и зоны затопления
4	Усиленная фильтрация через тело и основание плотины при старении материалов тела плотины и изменении их свойств под действием внешних факторов, появление локальных мест на низовом откосе сосредоточенной фильтрации воды, оползание или обрушение низового откоса плотины, образование прорана и волны прорыва с дальнейшим разрушением плотины.
5	Террористический акт, техногенные и природные катастрофы создающие угрозу разрушения напорного фронта с образованием прорана и зоны затопления.

Для каждого сценария определяется степень опасности, которая определяет характеристику процесса, происходящего на гидротехническом сооружении и в зоне его влияния, представляющего угрозу для жизни или условий

жизнедеятельности людей, объектов хозяйства и внешней среды, которую выражает коэффициент опасности аварии λ . Степень уязвимости, которая определяет способность ГТС выполнять эксплуатационные функции в результате негативных воздействий, выражается коэффициентом уязвимости ν [10].

Полученные показатели сравнивают с допустимым уровнем риска аварии ГТС, которые регламентируются действующими нормативными документами. И поэтому комплексной характеристикой исследуемого объекта является проведение оценки суммарного риска, что позволяет произвести сравнительную оценку чрезвычайной ситуации с позиции возможной потери для существующего или проектируемого гидротехнического объекта. Данная методика включает результаты контроля и анализа факторов опасности, которые наиболее существенны для данного сооружения и условий его эксплуатации [11].

Оценка риска аварии производится на основании экспертного анализа уровня опасности аварии и уровня уязвимости ГТС.

Для оценки уровня риска аварии рассчитывается коэффициент риска на основе принципа пересечения этих событий, т.е.:

$$r_a = \lambda \cdot \nu \quad (1)$$

где λ – коэффициент опасности для ГТС; ν – коэффициент уязвимости ГТС.

Физический смысл коэффициента r_a состоит в том, что он представляет собой меру (дозу) опасного воздействия на данное ГТС с установленной степенью уязвимости. Уровень безопасности ГТС оценивается по величине коэффициента риска r_a [8].

Диапазоны изменения коэффициента риска назначены таким образом, чтобы практически увязать характеристики риска аварии с качественными характеристиками уровня безопасности, регламентированными «Административным регламентом исполнения Росводресурсами, Ростехнадзором и Ространснадзором государственной функции по государственной регистрации гидротехнических сооружений и ведению Российского Регистра гидротехнических сооружений», утвержденным приказом Минприроды России и Минтранса России от 27 апреля 2009 г. № 117/66.

Определение коэффициента риска аварии r_a позволяет оценить вероятность (частоту) возникновения аварии P_a (ГТС) в соответствии с формулой:

$$P_a(\text{ГТС}) = 0,5 \operatorname{erfc} \left[\beta \cdot \frac{\ln(r_a/r_k)}{\ln(r_{\text{доп}}/r_k)} \right] \quad (2)$$

где r_k – катастрофическое значение коэффициента риска ($r_k = 1$); $r_{дон}$ – допустимое значение коэффициента риска, выше которого не обеспечивается нормальный уровень безопасности ГТС ($r_{дон} = 0,15$); β – коэффициент вероятности, зависящий от класса ГТС [8]; $erfc x$ – вероятностная функция.

Величина коэффициента β для сооружений IV класса, соответствующая допустимому значению вероятности аварии $P_a(\text{ГТС})$, равному $5 \cdot 10^{-3}$ 1/год, составляет $\beta=1,8$ (СНиП 33-01-2003).

В таблице 1–2 представлены результаты интегральной экспертной оценки опасности аварии и уязвимости ГТС плотины на пруду «Казенный» с. Верхазовка для сценария 1 (с наиболее тяжелыми последствиями).

Таблица 1

Интегральная оценка уровня опасности аварии

№	Показатель опасности	Уровень опасности	Код	Отличительные признаки, на основании которых устанавливается степень (уровень) опасности по рассматриваемому показателю опасности
1	Опасность превышения природных нагрузок	Малая опасность	1	Показатели возможных нагрузок и воздействий на ГТС незначительно отличаются от расчетных значений, принятых при проектировании. Существует возможность возникновения (развития) потенциально опасных воздействий природного и техногенного характера незначительной мощности. Проведение дополнительных расчетных обоснований, конструктивных изменений и специальных организационных мероприятий для безопасной эксплуатации ГТС не требуется
2	Обоснованность и соответствие проектных решений современным нормативным требованиям	Опасность отсутствует	0	В проекте нет существенных отклонений от современных нормативных требований (СНиП 33-01-2003) по всем оцениваемым факторам.
3	Соответствие проекту конструкции сооружения, условий его эксплуатации, свойств материалов сооружения и основания	Малая опасность	1	Имеются незначительные отклонения от проекта (изменение проектных заложений откосов плотины в следствие подмыва), которые не могут привести к нарушению нормальной работы сооружений, конструкций и элементов.
4	Возможные последствия и ущерб при аварии	Малая опасность	1	В случае разрушения напорного фронта на ущерб от гидродинамической аварии населению и предприятиям на территории, прилегающей к водохранилищу будет до 100 тыс. руб. По распространению волны прорыва (не выходит за пределы одного района) масштаб чрезвычайной ситуации при аварии на ГТС (в соответствии с классификацией, утвержденной постановлением Правительства РФ от 21.05.07 №304) относится к категории ЧС локального характера

Интегральный код показателей опасности в соответствии с данными таблицы 1 составляет 1011.

Коэффициент опасности $\lambda = 0,35$.

В соответствии с данными таблицы 2 интегральный код уязвимости плотины 1011, что определяет коэффициент уязвимости $v = 0,2833$.

В соответствии с полученными коэффициентами опасности λ и уязвимости v коэффициент риска аварии на плотине составляет:

$$r_a = 0,35 \times 0,2833 = 0,0992$$

Таким образом, уровень безопасности плотины, в соответствии с классификацией Российского Регистра ГТС, оценивается как нормаль-

ный, соответствующий коэффициенту риска аварии, находящемуся в установленных пределах, а именно, $r_a < 0,15$.

Тогда, с учетом полученных результатов по определению коэффициента риска аварии ($r_a = 0,0992$) в данном случае вероятность возникновения аварии: $P_a = 0,8 \cdot 10^{-3}$ 1/год. Таким образом, согласно классификации уровня риска [8], риск вероятности возникновения аварии ГТС оценивается как приемлемый (допустимый), так как полученные значения вероятности возникновения аварий на напорных ГТС IV класса менее $5 \cdot 10^{-3}$ 1/год.

Таблица 2

Интегральная оценка уязвимости

№	Показатель уязвимости	Уровень уязвимости	Код	Отличительные признаки, на основании которых устанавливается степень (уровень) опасности по рассматриваемому показателю уязвимости
1	Состояние плотины по данным визуальных и инструментальных наблюдений	Малая	1	По данным наблюдений и обследований в целом сооружения находятся в работоспособном состоянии, однако на некоторых участках верховой откос плотины размывает водобоем (что можно устранить в ходе проведения ремонтных работ); превышения ПДЗ контролируемых показателей отсутствуют.
2	Состояние окружающей среды в зоне влияния гидротехнического сооружения	Отсутствует	0	Водохранилище не влияет на состояние окружающей среды и условия жизнеобеспечения населения района расположения гидроузла
3	Организация эксплуатации плотины (соблюдение требований безопасной эксплуатации)	Малая	1	Организация эксплуатации имеет незначительные отклонения от современных нормативных требований. КИА на плотине не предусмотрено.
4	Готовность объекта к локализации и ликвидации ЧС	Малая	1	Имеются незначительные отклонения от предъявляемых требований по готовности объекта к локализации и ликвидации ЧС: запас строительных материалов хранится не на объекте, а на базе эксплуатирующей организации, отсутствует локальная система оповещения (ЛСО) об аварии.

Аналогично проведен расчет интегральной экспертной оценки опасности и уязвимости аварии ГТС по сценарию 3 (наиболее вероятной аварии).

Для сценария 3 интегральный код опасности оценивается как 1021, что соответствует коэффициенту опасности $\lambda = 0,125$.

При этом код уязвимости плотины 1021, что определяет коэффициент уязвимости $v = 0,3833$.

В соответствии с полученными коэффициентами опасности λ и уязвимости v коэффициент риска аварии на плотине составляет:

$$r_a = 0,125 \times 0,3833 = 0,0479$$

Таким образом, уровень безопасности плотины, в соответствии с классификацией Российского Регистра ГТС, оценивается как нормальный, соответствующий коэффициенту риска аварии, находящемуся в установленных пределах, а именно, $r_a < 0,15$.

Тогда, с учетом полученных результатов по определению коэффициента риска аварии ($r_a = 0,0479$) в данном случае вероятность возникновения аварии: $P_a = 1,6 \cdot 10^{-3}$ 1/год. Таким образом, согласно классификации уровня риска [8], риск вероятности возникновения аварии ГТС оценивается как приемлемый (допустимый), так как полученные значения вероятности возникновения аварий на напорных ГТС IV класса менее $5 \cdot 10^{-3}$ 1/год.

Аналогично приводим расчет интегральной экспертной оценки опасности и уязвимости ава-

рии ГТС плотины на пруду «Казенный» с. Верхавка по сценарию 2 с учетом небольшой вероятности его возникновения. Для сценария 2 интегральный код опасности оценивается как 0011, что соответствует коэффициенту опасности $\lambda = 0,1563$. При этом код уязвимости плотины 0010, что определяет коэффициент уязвимости $v = 0,1$.

В соответствии с полученными коэффициентами опасности λ и уязвимости v коэффициент риска аварии на плотине составляет:

$$r_a = 0,1563 \times 0,1 = 0,01563$$

Таким образом, уровень безопасности плотины, в соответствии с классификацией Российского Регистра ГТС, оценивается как нормальный, соответствующий коэффициенту риска аварии, находящемуся в установленных пределах, а именно, $r_a < 0,15$.

Тогда, с учетом полученных результатов по определению коэффициента риска аварии ($r_a = 0,01563$) в данном случае вероятность возникновения аварии составит: $P_a = 0,1 \cdot 10^{-3}$ 1/год. Таким образом, согласно классификации уровня риска [8], риск вероятности возникновения аварии ГТС оценивается как приемлемый (допустимый), так как полученные значения вероятности возникновения аварий на напорных ГТС IV класса менее $5 \cdot 10^{-3}$ 1/год.

Аналогично приводится расчет интегральной экспертной оценки опасности и уязвимости аварии плотины по сценарию 4 и сценарию 5. Учитывая, что оба сценария маловероятны, то коэффициентами опасности λ и уязвимости v и них

будут равны. Для сценария 4 и сценария 5 интегральный код опасности оценивается как 0001, что соответствует коэффициенту опасности $\lambda = 0,0625$. При этом код уязвимости плотины 0010, что определяет коэффициент уязвимости $v = 0,1$.

В соответствии с полученными коэффициентами опасности λ и уязвимости v коэффициент риска аварии на плотине составляет:

$$r_a = 0,0625 \times 0,1 = 0,00625$$

Таким образом, уровень безопасности плотины, в соответствии с классификацией Российского Регистра ГТС, оценивается как нормальный, соответствующий коэффициенту риска аварии, находящемуся в установленных пределах, а именно, $r_a < 0,15$.

Тогда, с учетом полученных результатов по определению коэффициента риска аварии ($r_a = 0,00625$) в данном случае вероятность возникновения аварии: $P_a = 0,75 \cdot 10^{-6}$ 1/год. Таким образом, согласно классификации уровня риска [8], риск вероятности возникновения аварии ГТС оценивается как приемлемый (допустимый), так как полученные значения вероятности возникновения аварий на напорных ГТС IV класса менее $5 \cdot 10^{-3}$ 1/год.

Выводы. Оценка качественных и количественных характеристик аварии на гидроузле пруда «Казенный» с. Верхазовка Дергачевского района Саратовской области, чрезвычайных ситуаций, их последствий, выполнялась согласно постановлению Правительства РФ [12].

Согласно данного постановления и полученных показателей оценки степени риска авария на ГТС плотины на пруду «Казенный» с. Верхазовка относится к чрезвычайной ситуации локального характера, так как при прорыве плотины зона затопления не приведет к ущербу для жизни и здоровью людей, общий размер материального ущерба составляет не более 100 тыс. рублей [13–14]. Что позволяет сделать вывод – рассматриваемый объект не является потенциально опасным.

Уровень безопасности ГТС плотины пруда «Казенный» с. Верхазовка Дергачевского района Саратовской области нормальный.

Проведенная оценка степени риска аварии гидроузла пруда «Казенный» села Верхазовка Дергачевского района Саратовской области, позволяет прогнозировать вероятность наступления чрезвычайной ситуации для действующих гидротехнических сооружений. Полученные показатели вероятности степени риска аварий могут быть использованы для разработки мероприятий по предотвращению чрезвычайной ситуации, что

поможет избежать гибели людей, затопления больших территорий и избежать катастрофических последствий прорыва плотины [15–20].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ефимова А.Е. Анализ риска аварий на гидротехнических сооружениях / Урбоэкология, экологические риски урбанизированных территорий научный симпозиум: сборник // Самарский научный центр РАН, Самарский государственный технический университет, 2017. С. 69–72.
2. Федеральный закон №117-ФЗ РФ от 21.07.1997 г. «О безопасности гидротехнических сооружений».
3. Гаджиева О.А., Баринов В.Н., Михайлов Е.А., Мухин Н.А. Оценка коэффициента риска и вероятности аварий на гидротехнических сооружениях // Шестьдесят девятая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием: сборник материалов конференции (Ярославль, 20 апреля 2016 г.), Ярославль: Ярославский государственный технический университет, 2016. С. 1058–1062.
4. Карпенко Н.П., Юрченко И.Ф. Теоретическое обоснование структуры классификатора критериев безопасности ГТС мелиоративного водохозяйственного комплекса // Природообустройство. 2015. №1. С. 12–15.
5. Виноградов О.С., Кондратьева О.М. Анализ проблем возникновения аварий на гидротехнических сооружениях / Синтез науки и общества в решении глобальных проблем современности: сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции: в 4 частях // Общество с ограниченной ответственностью "Агентство международных исследований" (Уфа), 2017. С. 25–26.
6. РД 03-521-02. Порядок определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии гидротехнического сооружения, утвержденный приказом МЧС России, Минэнерго России, МПР России, Минтранса России, 18.05.2002. № 243/150/270/68/89, зарегистрированным Минюстом России 03.06.2002, регистрационный номер № 3493 (дата актуализации 01.02.2017).
7. Методика определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии гидротехнического сооружения (за исключением судоходных и портовых гидротехнических

сооружений), утвержденная приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 29 марта 2016 г. № 120.

8. Методические рекомендации по оценке риска аварий на гидротехнических сооружениях водного хозяйства и промышленности. 2-е издание переработанное и дополненное, М. «ДАР/ВОДГЕО», 2009.

9. Жарницкий В.Я., Андреев Е.В. Грунтовые плотины как объект динамической системы // Природообустройство. 2016. №1. С. 16–22.

10. Абдразаков Ф.К., Панкова Т.А., Орлова С.С., Сирота В.Т. Оценка надежности и риска гидродинамической аварии на плотине // Аграрный научный журнал. 2017. №12. С. 61–65.

11. Щедрин В.Н., Косиченко Ю.М., Бакланова Д.В., Баев О.А., Михайлов Е.Д. Обеспечение безопасности и надежности низконапорных гидротехнических сооружений: монография. г. Новочеркасск. Издательство: Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации. 2016. 283 с.

12. Постановление Правительства РФ от 21.05.2007 № 304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» (с изменениями и дополнениями от 17 мая 2011 года).

13. Абдразаков Ф.К., Панкова Т.А., Щербаков В.А. Факторы, влияющие на эксплуатационное состояние гидротехнических сооружений // Аграрный научный журнал. 2016. №10. С. 56–61.

14. Абдразаков Ф.К., Панкова Т.А., Орлова С.С., Сирота В.Т. Прогноз параметров прорывной волны при гидродинамической аварии на плотине // Аграрный научный журнал. 2017. №1. С. 35–39.

15. Salmon G.M., Hartford D.N.D. Risk analysis for dam safety: Part I, II. // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts. 1995. №47(3). Pp. 42–47.

16. Hoeg K. New dam safety legislation and the use of risk analysis // Int. Journal on Hydro-power and Dams. 1998. №5. Pp. 85–88.

17. Kumamoto H., Henley E.J. Probabilistic Risk Assessment and Management for Engineers and Scientists. New York. IEEE Press, 1996. 597 p.

18. Silveira A.F. Deterioration in dams and reservoirs // Proc. of the 20-th IAHR Congress. 1983. Vol. 2. pp. 443–456.

19. Lagerholm S. Safety and reliability of spillway gates // Proceedings Supplement: Repair and upgrading of dams, Stockholm, Sweden. June 5–7, 1996. Pp. 362–373.

20. Serafim J.L., Coutinho-Rodrigues J.M. Statistics of dam Failures: a preliminary report // Int. Water Power & Dam Construction. 1989. Vol. 41. №4. Pp. 30–34.

Информация об авторах

Абдразаков Фярид Кинжаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения.

E-mail: abdrzakov.fk@mail.ru.

Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова.

Россия, 410012, Саратов, Театральная пл., 1.

Панкова Татьяна Анатольевна, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения.

E-mail: vtanja@mail.ru.

Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова.

Россия, 410012, Саратов, Театральная пл., 1.

Орлова Светлана Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения.

E-mail: orlovass77@mail.ru.

Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова.

Россия, 410012, Саратов, Театральная пл., 1.

Поступила в апреле 2018 г.

© Абдразаков Ф.К., Панкова Т.А., Орлова С.С., 2018

F.K. Abdrzakov, P.T. Pankova, S.S. Orlova

THE EVALUATION OF THE ACCIDENT RISK AT THE HYDROCHAIR

Carrying out an assessment of the risk level of the accident at the hydrosystem is certainly topical and necessary for the design and declaration of hydraulic structures. During hydrodynamic accident of any hydroelectric complex, an emergency threatens the life and health of people, destroys buildings, structures, equipment, vehicles, and damages the natural environment. The hazard analysis at the hydrosystem starts with predicting all possible scenarios for the development of a hydrodynamic accident and determining for each

scenario the accident risk factors, vulnerability, accident risk and the likelihood of a hydrodynamic accident in accordance with the parameters of the flooding zone and the negative impact on the environment. As an example in this article, the results of an assessment of the degree of risk of a hydrodynamic accident of a hydrosystem including an earth dam and spillway are given.

Keywords: waterworks, accident, scenarios, risk, danger, probability, reliability/

REFERENCES

1. Efimova A.E. Risk analysis of accidents at hydraulic structures. Urban Ecology, ecological risks of urban territories scientific Symposium: collection. Samara scientific center of RAS, Samara state technical University, 2017, pp. 69–72.
2. Federal law no. 117-FZ of the RF from 21.07.1997 «On safety of hydraulic structures».
3. Gadzieva O.A., Barinov V.N., Mihailov E.A., Muhin N.A. Assessment of the risk coefficient and probability of accidents at hydraulic structures. Sixty-ninth all-Russian scientific and technical conference of students, undergraduates and postgraduates of higher education institutions with international participation: proceedings of the conference (Yaroslavl, April 20, 2016), Yaroslavl: Yaroslavl state technical University, 2016. pp. 1058–1062.
4. Karpenko N.P., Yurchenko I.F. Theoretical justification of the structure of classification of criteria of safety of hydraulic structures and reclamation of the water management industry. Environmental engineering, 2015, no.1, pp. 12–15.
5. Vinogradov O.S., Kondratieva O.M. Analysis of problems of occurrence of accidents at hydraulic structures. Synthesis of science and society in solving global problems of our time: collection of articles on the results of the International scientific-practical conference: in 4 parts. Agency for international development (Ufa), 2017, pp. 25–26.
6. RD 03-521-02. Order of determination of the size of harm which can be caused to life, health of physical persons, property of physical persons and legal entities as a result of accident of a hydraulic engineering construction. Approved by the order of EMERCOM of Russia, Ministry of energy of Russia, Ministry of transport of Russia, 18.05.2002. № 243/150/270/68/89, registered by the Ministry of justice 03.06.2002, registration № 3493 (date of updating 01.02.2017).
7. The technique of determination of the size of harm which can be caused to life, health of physical persons, property of physical persons and legal entities as a result of accident of a hydraulic engineering construction (except for navigable and port hydraulic engineering constructions). Approved by the order of the Federal service for environmental, technological and nuclear supervision on March 29, 2016, no. 120.
8. Methodical recommendations on risk assessment of accidents at hydraulic structures of water management and industry. 2nd edition revised and expanded, M. "DAR/VODGEO", 2009.
9. Zarnickii V.Y., Andreev E.V. Ground dam as an object of dynamic systems. Environmental engineering, 2016, no. 1, pp. 16–22.
10. Abdrasakov F.K., Pankova T.A., Orlova S.S., Sirota V.T. Evaluation of the reliability and risk of a hydrodynamic accident at the dam. Agricultural research magazine, 2017, no. 12, pp. 61–65.
11. Schedrin V.N., Kosichenko Y.M., Baklanova D.V., Baev O.A., Michailov E.D. Ensuring the safety and reliability of low-pressure hydraulic structures: monograph. G. Novocherkassk. Publisher: Russian research Institute of problems of land reclamation. 2016, 283 p.
12. Resolution of the Government of the Russian Federation of 21.05.2007 № 304 "On the classification of emergency situations of natural and technogenic character" (with amendments and additions of may 17, 2011).
13. Abdrasakov F.K., Pankova T.A., Scherbakov V.A. Factors affecting the operational state of hydraulic structures. Agrarian scientific journal, 2016, no.10, pp. 56–61.
14. Abdrasakov F.K., Pankova T.A., Orlova S.S., Sirota V.T. The forecast parameters of breakthrough wave hydrodynamic accident at the dam. Agricultural research magazine, 2017, no. 1, pp. 35–39.
15. Salmon G.M., Hartford D.N.D. Risk analysis for dam safety: Part I, II. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 1995, no. 47(3), pp. 42–47.
16. Hoeg K. New dam safety legislation and the use of risk analysis. Int. Journal on Hydro-power and Dams, 1998, no. 5, pp. 85–88.
17. Kumamoto H., Henley E.J. Probabilistic Risk Assessment and Management for Engineers and Scientists. New York. IEEE Press, 1996, 597 p.
18. Silveira A.F. Deterioration in dams and reservoirs. Proc. of the 20-th IAHR Congress, 1983, vol. 2, pp. 443–456.
19. Lagerholm S. Safety and reliability of spillway gates. Proceedings Supplement: Repair and upgrading of dams, Stockholm, Sweden. June 5-7, 1996, pp. 362–373.
20. Serafim J.L., Coutinho-Rodrigues J.M. Statistics of dam Failures: a preliminary report. Int. Water Power & Dam Construction, 1989, vol. 41, no. 4, pp. 30–34.

Information about the author

Fyarid K. Abdrazakov, DSc, Professor.

E-mail: abdrazakov.fk@mail.ru

Saratov State Agricultural University N.I. Vavilova.

Russia, 410012, Saratov, Teatralnaya Square, 1.

Tatiana A. Pankova, PhD, Assistant professor.

E-mail: vtanja@mail.ru.

Saratov State Agricultural University. N.I. Vavilova.

Russia, 410012, Saratov, Teatralnaya Square, 1.

Svetlana S. Orlova, PhD, Assistant professor.

E-mail: orlovass77@mail.ru.

Saratov State Agricultural University. N.I. Vavilova.

Russia, 410012, Saratov, Teatralnaya Square, 1.

Received in April 2018

Для цитирования:

Абдразаков Ф.К., Панкова Т.А., Орлова С.С. Оценка степени риска аварии на гидроузле // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №7. С. 34–41. DOI: 10.12737/article_5b4f02b785cf25.07598976.

For citation:

Abdrazakov F.K., Pankova P.T., Orlova S.S. The evaluation of the accident risk at the hydrochair. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no.7, pp. 34–41. DOI: 10.12737/article_5b4f02b785cf25.07598976.

¹Дементьева М.Е., канд. техн. наук, доц.,
²Минин К.Е., инженер

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
²ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации»

АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРИГОДНОСТИ ПЛИТЫ ПОКРЫТИЯ БЛОКА СТАНЦИИ МЕТРОПОЛИТЕНА

Возведение и последующая эксплуатация технически сложных объектов сопряжена с необходимостью периодической оценки их эксплуатационной пригодности для контроля и обеспечения безопасности. Объектом исследования данной статьи является железобетонная монолитная плита покрытия блока станции метрополитена, возводимой на территории города Москвы. Предметом исследования являются методы оценки пригодности к эксплуатации конструкций на основе натурных и лабораторных испытаний, результатов численного моделирования напряженно-деформируемого состояния плиты. Актуальность исследования обоснована наличием дефектов, зафиксированных после завершения монолитных работ, и необходимостью в связи с этим определения пригодности к дальнейшей эксплуатации рассматриваемой несущей конструкции. Предложена программа исследования для оценки технического состояния с применением визуальных и визуальнотрументальных методов. Оценка прочностного состояния плиты покрытия проводилась по усилиям и напряжениям, возникающим в ней на момент возведения и завершения строительства станции метрополитена, а также с учетом дополнительных эксплуатационных нагрузок и фактического технического состояния. Предложена классификация дефектов по степени их влияния на работоспособность плиты покрытия. Дана оценка эффективности применения прямых и косвенных методов определения характеристик, позволяющих присвоить категорию технического состояния, а также рекомендации по устранению дефектов.

Ключевые слова: техническое состояние, шкала дефектов, прочность бетона, ультразвуковые испытания, метод конечных элементов.

Введение. Одним из главных направлений в строительстве системы скоростного рельсового транспорта Москвы является увеличение протяженности Московского метрополитена, вызванное развитием города и необходимостью ускоренной доставки пассажиров как из периферийных районов в центр, так и из одного района в другой. Строительство необходимо осуществлять с учетом требований Технического регламента о безопасности зданий и сооружений, согласно которым совокупность параметров эксплуатационных качеств сооружения должна обеспечивать безопасность объекта в течение всего периода эксплуатации. Исследования отечественных и зарубежных авторов в области обеспечения безопасности сооружений метрополитена посвящены вопросам совершенствования конструктивных и организационно-технологических решений [1–3], улучшению методов расчетного обоснования, развитию методов контроля изменения напряженно-деформированного состояния конструкций и методов эксплуатационного контроля и обслуживания [4–10]. Вместе с тем, несмотря на достаточный опыт строительства заглубленных объектов в условиях крупного города [11, 12] и привлечение квалифицированных проектировщиков и строителей, зачастую в

процессе строительного контроля выявляются ошибки, допущенные как при проектировании, так и при возведении объектов, оказывающие негативное влияние не только на техническое состояние конструкций, но и приводящие к необходимости оценки пригодности к эксплуатации еще не завершенного строительного объекта. Мировой опыт строительства технически сложных, уникальных объектов свидетельствует о необходимости непрерывного мониторинга качества работ на этапе возведения. Следовательно, актуальность работы обоснована необходимостью совершенствования методики оценки технического состояния объектов.

Анализ научно-технической литературы [13–18] показывает, что систематизация данных о нарушениях на этапах проектирования и возведения зданий и сооружений позволяет по характерным диагностическим признакам определять их причины, оценивать вероятные последствия этих нарушений. Вместе с тем, объекты метрополитена, согласно статье 48.1 Градостроительного кодекса РФ, относятся к технически сложным уникальным объектам, разрабатываемым по индивидуальным проектам. Как правило, дефекты и отклонения не являются системными, и поэтому

требуют индивидуального рассмотрения в каждом отдельном случае, что также обосновывает актуальность данной работы.

Объект исследования расположен в Юго-Восточном округе города Москвы, в Нижегородском районе. Станция метрополитена представляет собой трехэтажное подземное сооружение прямоугольной формы с размерами в плане 170.5×58 м, возводимое полужакрытым способом в котловане глубиной 25.5 м. Предметом исследования является уточнение принципы оценки

технического состояния на примере плиты покрытия блока станции, которая представляет собой прямоугольную в плане конструкцию с габаритными размерами в крайних осях 57.9×35.75 м и толщиной 1.0 м. Необходимость выполнения исследования объясняется наличием дефектов, выявленных визуально после выполнения арматурных, бетонных работ и снятия опалубки (рис. 1).

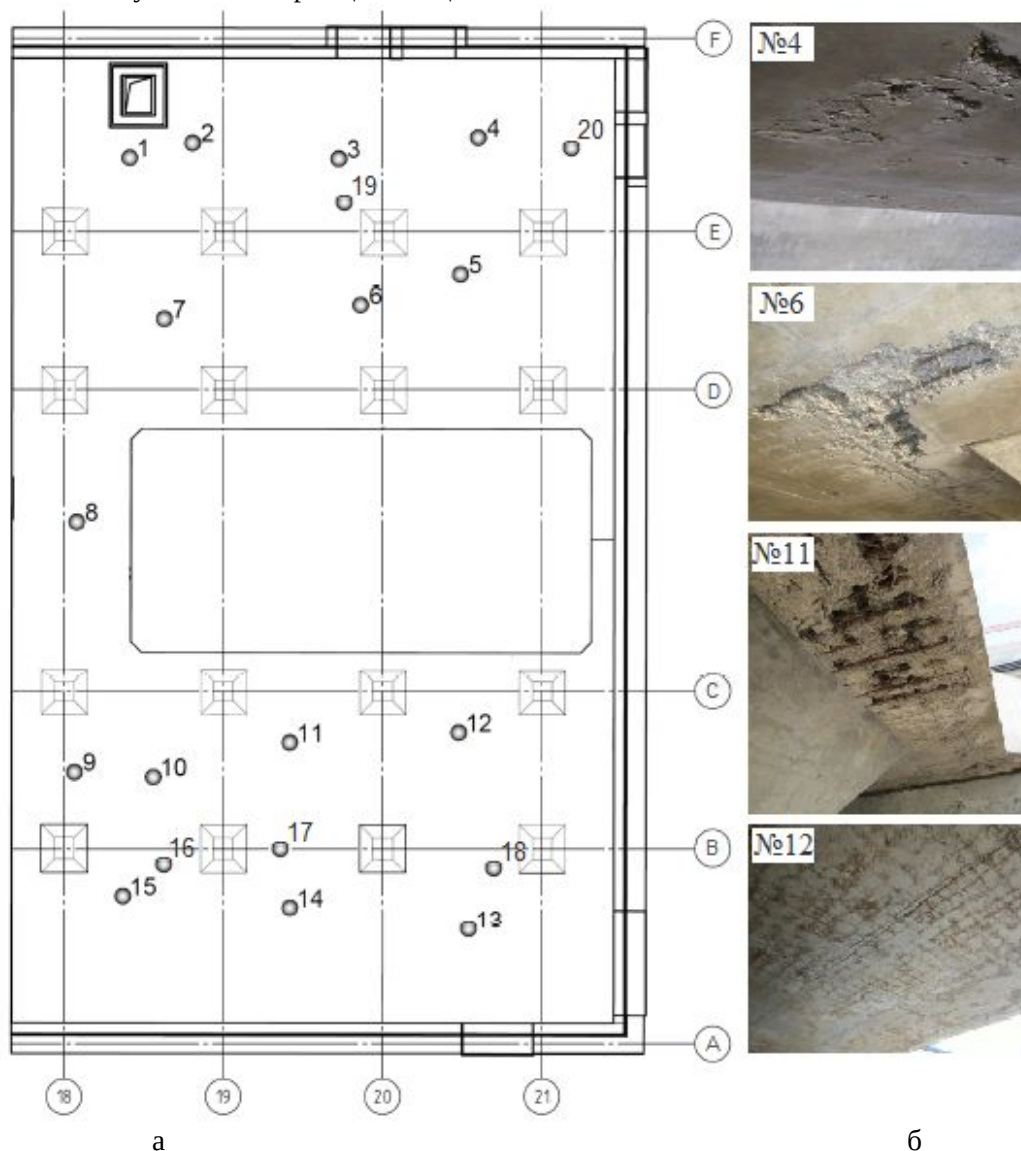


Рис. 1. Визуально-инструментальное обследование: а – схема расположения участков определения прочности бетона методом отрыва со скалыванием (1–15) и места отбора кернов (16–20); б – результаты фотофиксации дефектов

Целью исследования являлось уточнение методики определения технического состояния строительных конструкций. Для этого необходимо было решить следующие задачи:

1. Определить причины дефектов и повреждений плиты покрытия блока станции метрополитена.

2. Установить опасность выявленных отклонений и их влияние на пригодность объекта к эксплуатации.

3. Предложить корректировку методики определения технического состояния на примере плиты покрытия.

4. Разработать рекомендации по выбору технологии устранения дефектов и повреждений.

Методика. Оценка пригодности строительных конструкций к эксплуатации определяется на основании присвоения категории технического состояния согласно ГОСТ 31937–2011. Стандартная программа обследования включает:

1. Изучение характеристик материала.
2. Определение нагрузок и воздействий.
3. Определение перечня контролируемых параметров для оценки технического состояния.
4. Выбор методов определения значений контролируемых параметров.
5. Выполнение поверочных расчетов на основании результатов обследования.

В данной работе предложено дополнить программу исследования следующими этапами:

1. Определение шкалы характеристик дефектов, позволяющих классифицировать их тяжесть.
2. Моделирование изменения контролируемых параметров из-за наличия дефектов для оценки их влияния на работоспособность конструкции.

Для оценки эксплуатационной надежности железобетонной плиты покрытия были рассмотрены два параметра: потеря несущей способности и трещиностойкость, назначенные в соответствии с СП 63.13330.2012 и СП 120.13330.2012, которые были оценены по следующим характеристикам:

- геометрические размеры;
- толщина защитного слоя бетона;
- прочность на сжатие;
- коэффициент запаса прочности;
- параметры армирования;
- ширина раскрытия трещин;
- наличие пустот и разуплотнений, их размеры;
- прогиб плиты покрытия.

Согласно СП 63.13330.2012 коэффициент запаса по прочности от действия нагрузок должен быть больше 1.00, прогиб плиты покрытия должен быть не более 1/200 от длины пролета, согласно СП 120.13330.2012 ширина раскрытия трещин должна быть не более 0.2 мм. При этом градация категории тяжести нарушения отсутствует, что требует разработки шкалы для оценки тяжести нарушения.

Для определения значений указанных параметров использовались визуальный и визуально-инструментальный методы. Визуальным методом выявлялись видимые дефекты и повреждения. Визуально-инструментальными методами уточнялись геометрические размеры, высотное положение, реальные физико-механические характеристики материалов исследуемой конструкции, оценивались размеры дефектов и поврежде-

ний. Визуальное состояние конструкции фиксировалось цифровой аппаратурой с включением в отчет фотоматериалов.

Линейные измерения выполнялись лазерным дальномером, стандартной рулеткой, линейкой и штангенциркулем. Отклонения конструкции от вертикали контролировались с помощью отвеса и уровня. Взаимное высотное положение отдельных конструкций определялось с помощью нивелира.

Прочностные характеристики материалов определялись неразрушающими методами по ГОСТ 22690-2015, ГОСТ 17624-2012 и ГОСТ 18105-2010 (рис. 1):

- методом отрыва со скалыванием измерителем прочности бетона ПОС-50МГ4;
- методом ударного импульса измерителем прочности ОНИКС-2.6;
- ультразвуковым методом тестером УК 1401.

Необходимо отметить, что, хотя метод отрыва со скалыванием является прямым методом определения прочности бетона, однако особенности армирования (густое нижнее продольное армирование плиты при большом количестве хомутов и стержней поперечного армирования) не позволили получить достаточную выборку достоверных результатов. В этой связи для сплошного контроля прочности бетона обследуемого покрытия данный метод применялся в совокупности с двумя другими, которые являются косвенными и для которых требуется построение градуировочных зависимостей.

Для определения сплошности плиты покрытия, комплексных испытаний физико-механических свойств бетона, анализа макро- и микро-структуры произведен отбор образцов-кернов с помощью станка алмазного бурения (рис. 1). Определение толщины защитного слоя бетона и диаметра арматуры выполнялось магнитным методом по ГОСТ 22904-93 с помощью измерителя диаметров и глубины залегания арматуры FERROSCAN PS250 с проверкой и корректировкой результатов в ходе непосредственных измерений на вскрытых участках конструкции. Для поиска скрытых дефектов было выполнено выборочное георадарное обследование плиты. Для поиска приповерхностных дефектов в строительных конструкциях применялся ультразвуковой метод.

На завершающем этапе, на основании результатов обследования, методом математического моделирования проведено исследование напряженно-деформированного состояния плиты покрытия при строительстве стационарного комплекса и его изменения в перспективе при эксплуатации. Исследования и реализация

метода конечных элементов выполнялись на базе сертифицированного современного геотехнического программно-вычислительного комплекса Z_Soil 3D v.12.24 (Швейцария). При расчете высота сечения железобетонной конструкции принята равной проектной. Однако для учета ее фактического технического состояния были приняты следующие сечения:

1. Сечение 1-1 принято тавровое с высотой полки 0,92 м, шириной спинки 0,42 м, так как местами отсутствует защитный слой бетона и в растянутой зоне оголена одна из спаренных арматур диаметром 40 мм.

2. Сечение 2-2 принято тавровое с высотой полки 0,96 м, шириной спинки 0,90 м, так как местами отсутствует защитный слой бетона.

3. Сечение 3-3 с расчетной высотой сечения.

Также в расчете было учтено, что прочность бетона на дефектных участках снижена на 30–55 % по сравнению с бездефектным бетоном, и что 15 % арматуры в растянутой зоне в местах дефектов не вошли в работу, поскольку отсутствует защитный слой, частично отсутствует заделка арматуры в бетоне, местами отсутствует сцепление арматурных стержней с бетоном (до 20 % стержней).

Основная часть. При проведении визуального обследования плиты покрытия были обнаружены дефекты в состоянии нижней поверхности плиты в виде:

- раковин и каверн на поверхности бетона;
- участков недоуплотненного и недовибрированного бетона (участок конструкции с гравелистой или щебеночной структурой с низким содержанием растворной части);
- участков с отсутствием защитного слоя бетона, оголением арматуры, отсутствием адгезии арматурных стержней с бетоном;
- участков с поверхностными инородными включениями грязи и пыли в теле бетона;
- участков с низкой прочностью бетона.

Общая площадь нижней поверхности обследуемой конструкции плиты покрытия 1400 м².

После обработки полученных результатов визуального обследования была выполнена классификация дефектов по степени их влияния на пригодность к эксплуатации на основе метода экспертных оценок, для наглядности представленная в виде цветовой шкалы (рис. 2).

Цветовая шкала зонирования		
		
Качественная характеристика признаков дефектов		
раковины и каверны	раковины и каверны	глубокие раковины и полости в бетоне
недовибрирование бетона	недовибрирование бетона	нарушение структуры бетона
уменьшение толщины защитного слоя бетона	уменьшение толщины защитного слоя бетона	отсутствие защитного слоя бетона
незначительное снижение прочности бетона	участки с низкой прочностью бетона	отсутствие сцепления арматуры с бетоном
-	наличие скрытых дефектов в защитном слое бетона	большое количество скрытых дефектов
-	включения песка и грязи на поверхности бетона	-
-	-	оголение рабочей арматуры
Количественная характеристика признаков дефектов (глубина дефекта), мм		
до 10 мм	от 10 до 30 мм	до 80 мм
Площадь дефектного участка, м ² / Длина распространения дефекта, м		
100.48 м ² / менее 0.5 м	467.3 м ² / свыше 0.5 м, но менее 1.0 м	79.87 м ² / свыше 1.0 м
Степень распространенности дефекта, %		
7.2	33.4	5.7

Рис. 2. Квалиметрическая шкала дефектов

На основании предложенной шкалы была составлена схема зонирования дефектов и повреждений нижней поверхности плиты покрытия по (рис. 3).

В ходе выполнения обследования конструкции была установлена градировочная зависимость между прочностью, определенной методом отрыва со скалыванием и косвенной характеристикой – величиной ударного импульса. Для этого было отобрано пять кернов для проведения испытаний на одноосное сжатие. При проведе-

нии сплошного контроля прочности бетона ультразвуковым методом на участках имели место аномально низкие результаты, обусловленные наличием скрытых дефектов (рис. 4).

Результаты расчетов контролируемых параметров, в частности коэффициентов запаса по прочности и трещиностойкости, прогибов и ширины раскрытия трещин плиты покрытия блока на момент окончания строительства с учетом дополнительных эксплуатационных нагрузок по методике СП 63.13330.2012, приведены в таблице 1.

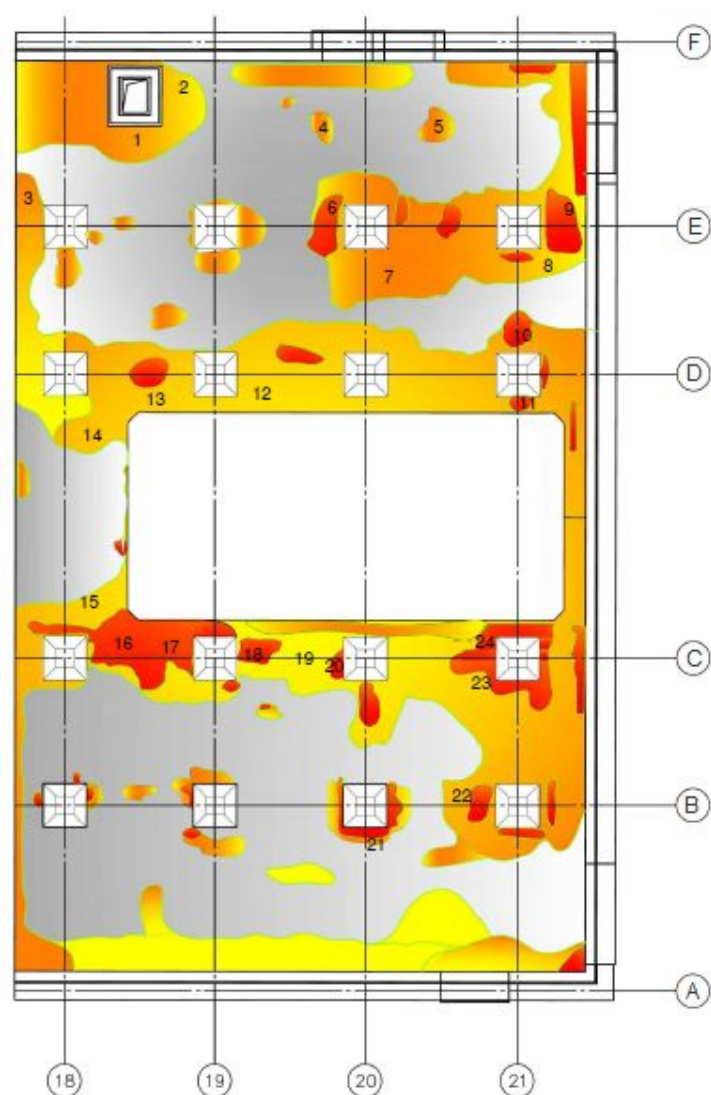


Рис. 3. Схема зонирования дефектов нижней поверхности плиты покрытия с указанием мест фотофиксации повреждений

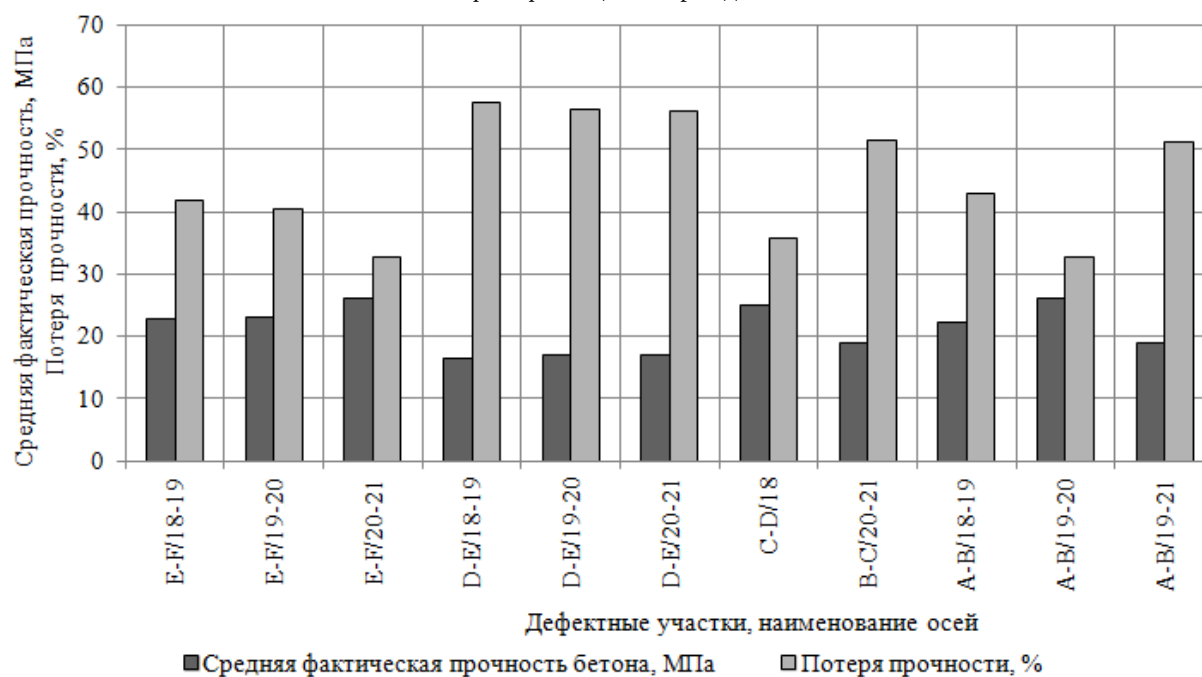


Рис. 4. Результаты определения прочности бетона класса В30 на дефектных участках нижней поверхности плиты неразрушающими методами в осях А-Е/18-21

Таблица 1

Результаты расчета параметров для оценки эксплуатационной пригодности плиты покрытия на основе инструментального обследования

Сечение (участок)	Изгибающий момент, кНм	Коэффициент запаса прочности	Прогиб от эксплуатационной нагрузки, мм	Предельно допустимый прогиб, мм	Коэффициент запаса по трещиностойкости
1-1 (С-D/18)	-2016.32	1.053	86	85.5	1.178
2-2 (Е-F/19-20)	-337.187	2.947	59	45	5.454
3-3 (В/19)	+448.96	9.04	58	45	4.887

На завершающем этапе была решена задача моделирования изменения контролируемых параметров вследствие дефектов для оценки их влияния на работоспособность конструкции. По-

ставленная задача решалась в объемной постановке методом конечных элементов. Внутренние усилия представлены в наиболее опасных сечениях (рис. 5–7).

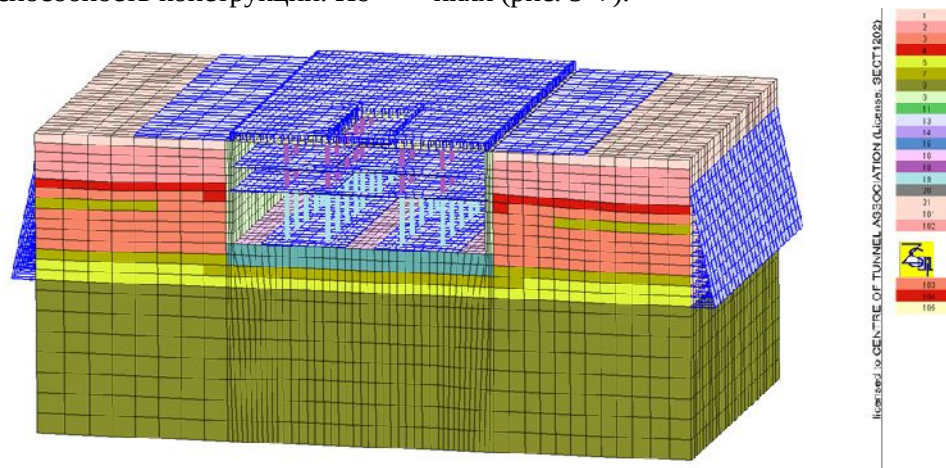


Рис. 5. Расчетная схема в ПКВ Z_Soil на момент окончания строительства с учетом дополнительных эксплуатационных нагрузок

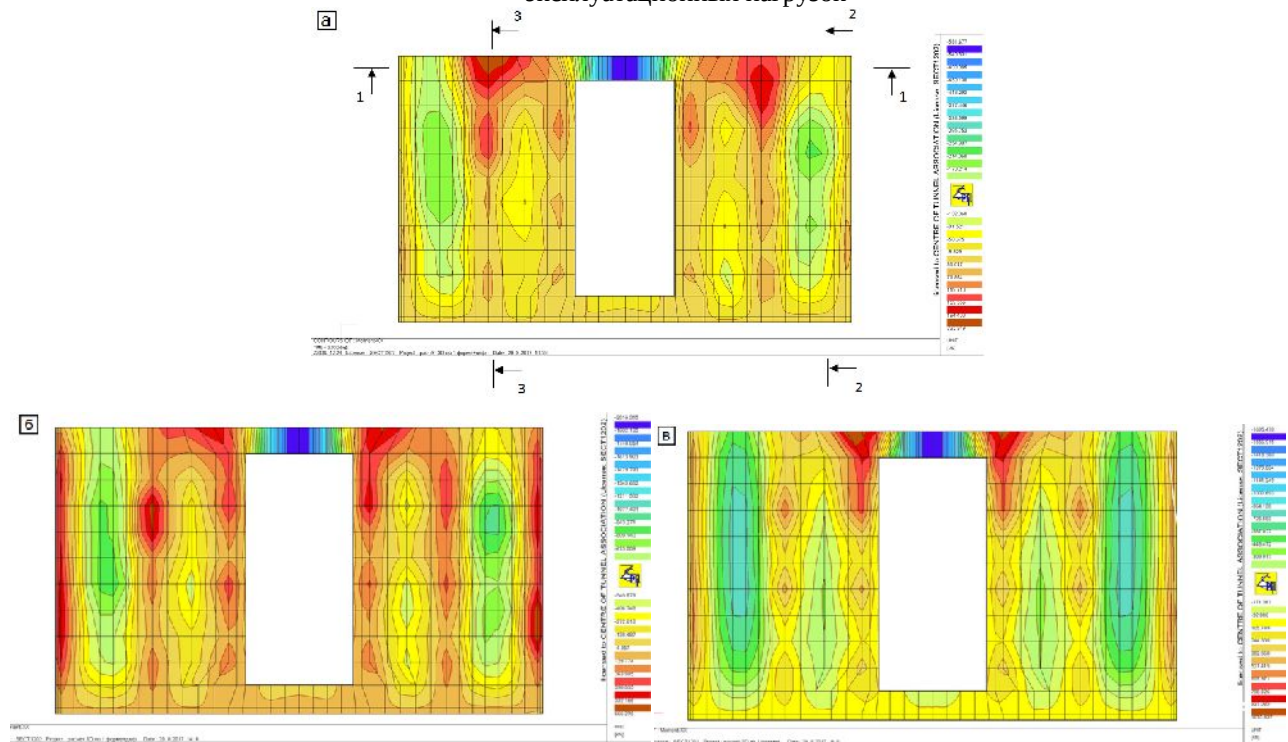


Рис. 6. Изополя изгибающих моментов: а – на момент окончания бетонирования и снятия опалубки с учетом фактического технического состояния; б – с учетом дополнительных эксплуатационных нагрузок и фактического технического состояния; в – с учетом выполнения ремонтно-восстановительных работ 1–1

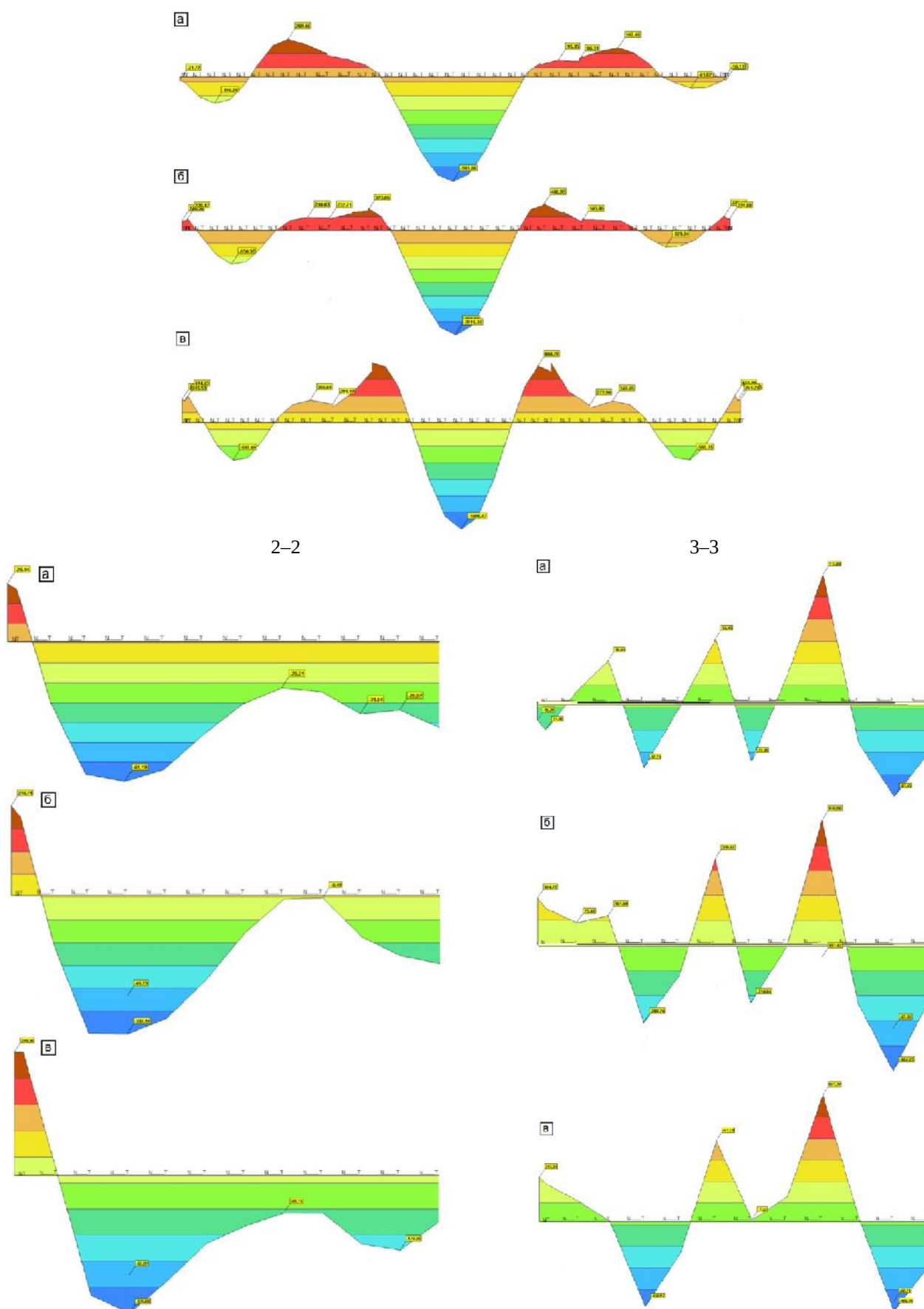


Рис. 7. Эпюра изгибающих моментов в сечениях 1–1, 2–2 и 3–3:

а – на момент окончания бетонирования и снятия опалубки с учетом фактического технического состояния;
 б – с учетом дополнительных эксплуатационных нагрузок и фактического технического состояния;
 в – с учетом выполнения ремонтно-восстановительных работ

В результате расчета было установлено, что коэффициенты запаса прочности и трещиностойкости плиты покрытия на момент окончания бетонирования и снятия опалубки, а также на мо-

мент окончания строительства с учетом дополнительных эксплуатационных нагрузок удовлетворяют условию прочности по предельным состояниям при условии выполнения ремонтных работ (табл. 2).

Таблица 2

Результаты расчета параметров для оценки эксплуатационной пригодности плиты покрытия на основе моделирования в ПК Z_Soil 3D

Вид воздействия и условия функционирования	Коэффициент запаса прочности	Коэффициент запаса по трещиностойкости
При нормативных нагрузках на момент окончания бетонирования и снятия опалубки	3.651	3.753
При эксплуатационных нагрузках на момент окончания строительства без учета проведения ремонтных работ	1.053	1.178
При эксплуатационных нагрузках на момент окончания строительства с учетом проведения ремонтных работ	3.818	1.555

Состав ремонтных работ определялся в зависимости от вида дефекта. Работы можно разделить на 3 основных группы:

1. На участках с оголенной арматурой необходимо зачистить арматуру от ржавчины, удалить ослабленный бетон, обработать арматуру ингибитором коррозии, обработать зоны сопряжения арматуры с бездефектным бетоном адгезионным составом и выполнить торкретирование поверхности ремонтной смесью, при большой глубине повреждения в несколько слоев с технологическими перерывами.

2. На участках с недовибрированным бетоном, с уменьшенной толщиной защитного слоя бетона, наличием инородных включений необходимо удалить дефектный слой бетона или инородные включения, нанести ингибирующую пропитку на бездефектную поверхность бетона, нанести грунтовку для повышения адгезии существующего и нового слоя бетона, выполнить укладку ремонтной смеси вручную при малых площадях повреждения или торкретирование.

2. На участках с полостями и пустотами выполняется бурение сетки инъекционных скважин Ø10 мм с учетом проектного шага арматуры. Через установленные пакеры выполняется нагнетание раствора в расчетном объеме или до отказа.

Выводы. Достижение поставленной в работе цели было основано на исследовании факторов, влияющих на эксплуатационную пригодность плиты покрытия блока станции метрополитена. Выполненные исследования позволили установить следующее:

1. В результате отбора кернов с помощью установки алмазного бурения количество пустот в образцах составило от 6 до 17 %, что говорит о локальном отсутствии сплошности плиты покрытия.

2. Отмечено снижение прочности бетона на дефектных участках на 30–55 % по сравнению с бездефектным бетоном.

3. Фактическая толщина защитного слоя бетона соответствует требуемым проектным и нормативным минимальным значениям применительно к участкам бездефектного бетона, соответственно, при наличии дефектов фактическая толщина слоя снижается, и на данных участках условия по защите арматуры не выполняются.

4. Коэффициенты запаса прочности плиты покрытия на момент окончания строительства с учетом дополнительных эксплуатационных нагрузок удовлетворяют условию прочности по первому предельному состоянию и остаются большими 1.00.

5. Ширина раскрытия трещин не превышает предельно допустимой величины.

6. Прогибы, возникающие в плите покрытия на момент окончания строительства с учетом дополнительных эксплуатационных нагрузок, превышают предельно допустимые значения, что может быть объяснено отсутствием капителей в расчетной схеме в ПК Z-Soil.

7. Исходя из установленных причин возникновения дефектов, есть основания полагать, что зона распространения дефектов по сечению плиты не выходит за пределы глубины заложения нижнего армирования, за исключением участков сопряжения плиты с капителями колонн и вутами стен.

8. С учетом изложенного выше, техническое состояние обследуемой плиты покрытия на основе методов экспертной оценки согласно ГОСТ 15467-79 признано ограниченно-работоспособным.

Для анализа эксплуатационной пригодности потребовалась корректировка программы обследования. Причинами возникновения дефектов

является несоответствие технологических параметров процесса бетонирования фактическим конструктивным параметрам плиты покрытия. Для обеспечения эксплуатационной надежности и восстановления прочности рекомендуется выполнить заделку трещин, раковин и каверн, а также организовать визуально-инструментальный мониторинг за состоянием с целью фиксации возможного развития старых и появления новых дефектов.

В ходе проведения обследования также было установлено, что поиск скрытых дефектов в средней зоне сечения конструкции значительно затруднен наличием густого нижнего и верхнего армирования, большого количества хомутов, поперечной и дополнительной арматуры, поэтому использование метода георадиолокационного профилирования не показало своей эффективности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корнилов М.В., Половов Б.Д., Кряжевских А.Н., Кузьмин Н.Г. Объемно-планировочные и конструктивно-технологические решения по строительству и эксплуатации линий Екатеринбургского и Челябинского метрополитенов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2014. № 6. С. 70–78.
2. Маслак В.А., Безродный К.П., Лебедев М.О., Гендлер С.Г. Новые технико-технологические решения для строительства тоннелей метрополитена в условиях мегаполиса // Горный журнал. 2014. № 5. С. 57–60.
3. Shen X., Lu M., Mao S., Wu X. Integrated approach to machine guidance and operations monitoring in tunnel construction // The 31st International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining (ISARC 2014). 2014. С. 103–109.
4. Деменков П.А., Очуров В.И., Шубин А.А. Методология прогнозирования напряженно-деформированного состояния конструкций станций метрополитена глубокого заложения с учетом этапов строительства // Проблемы современной науки и образования. 2016. № 4(46). С. 205–207.
5. Yin Z.Z. Application of hydrostatic leveling system in metro monitoring for construction deep excavation above shield tunnel // Applied Mechanics and Materials. 2013. Т. 333–335. С. 1509–1513.
6. Belostotsky A., Kaytukov T., Afanasyeva I., Grosel J. About contemporary problems of numerical modelling of unique structures, buildings and facilities // MATEC Web of Conferences. 2017. Т. 117. С. 00016. DOI: 10.1051/matecconf/201711700016
7. Дементьева М.Е., Шайтанов А.М. Повышение эксплуатационной пригодности гидротехнических сооружений на примере Кайраккумской ГЭС (Таджикистан) // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 10(109). С. 1098–1106. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.10.1098-1106
8. Bartholomew-Biggs M., Zuo M.J., Li X. Modelling and optimizing sequential imperfect preventive maintenance // Reliability Engineering and System Safety. 2009. Т. 94(1). С. 53–62.
9. Dement'eva M. Evaluation of exploitation suitability of enclosing structures of filling stations // MATEC Web of Conferences. 2017. Т. 117. С. 00037. DOI: 10.1051/matecconf/201711700037
10. Алпатов С.Н. Развитие метрополитена открывает перспективы комплексного освоения подземного пространства // Метро и тоннели. 2014. № 4. С. 16–17.
11. Дремов В.И., Мазеин С.В., Прудников А.Д., Акутин Д.В. Мероприятия промышленной безопасности при проектировании строительства московского метрополитена // Метро и тоннели. 2016. № 5. С. 31–38.
12. Дмитренко А.В. Как начинать строить линии метро в крупных городах // Вестник транспорта. 2016. № 3. С. 24–28.
13. Гарбер В.А. Нештатные ситуации при строительстве и эксплуатации Московского метрополитена за последние 40 лет // Метро и тоннели. 2014. № 3. С. 34–35.
14. Усанов С.В., Коновалова Ю.П. Аварийные деформации зданий при строительстве перегонных тоннелей на урбанизированных территориях // Проблемы недропользования. 2016. № 4(11). С. 104–110.
15. Соломатина И.А. Классификация нарушений для проведения экономической экспертизы объекта строительства // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. 2015. № 19. С. 179–184.
16. Pleshko M., Voinov I., Revyakin A. Assessment of the impact of railway tunnel lining defects with a long working lifespan on its carrying capacity // MATEC Web of Conferences. 2017. Т. 106. С. 05004. DOI: 10.1051/matecconf/201710605004
17. Zhang X., Han Y., Liu S., Su C. Deformation prediction analysis model for the mine shaft-wall // Journal of Liaoning Technical University (Natural Science Edition). 2014. №. 33(8). С. 1070–1073.
18. Daller J., Zibert M., Exinger C., Lah M. Implementation of BIM in the tunnel design – engineering consultant's aspect // Geomechanics and tunnelling. 2016. Т. 9. С. 674–683.

Информация об авторах

Дементьева Марина Евгеньевна, кандидат технических наук, доцент кафедры жилищно-коммунального комплекса.

E-mail: 7dem@mail.ru

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.
Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д.26.

Минин Кирилл Евгеньевич, инженер.

E-mail: kirk.min@yandex.ru

ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации».

Россия, 129344, Москва, ул. Енисейская д.7 стр.4.

Поступила в апреле 2018 г.

© Дементьева М.Е., Минин К.Е., 2018

M.E. Dement'eva, K.E. Minin

ANALYSIS OF OVERLAP SUBWAY STATION SUITABILITY EXPLOITATION

The erection and subsequent exploitation of technical complex facilities is associated with the need for periodic evaluation of their operational suitability for control and safety. The object of the study of this article is a reinforced concrete monolithic slab covering the block of the metro station, which is being built on the territory of the city of Moscow. The subject of the study are methods for assessing the suitability for the exploitation of structures based on full-scale and laboratory tests, the results of numerical simulation of the stress-strain state of the plate. The urgency of the study is justified by the presence of defects fixed after the completion of monolithic works and the need to determine the suitability for further exploitation of the bearing structure in question. A research program is proposed for assessing the technical state using visual and visual-instrumental methods. The evaluation of the strength of the slab was carried out according to the efforts and stresses arising in it at the time of erection and completion of construction, and also taking into account additional exploitation loads and actual technical condition. The classification of defects according to the degree of their effect on the working capacity of the slab of the coating is presented. The estimation of efficiency of application of direct and indirect methods of definition of the characteristics, allowing to assign a category of a technical condition is given. Recommendations for the elimination of defects are given.

Keywords: technical condition, scale of defects, strength of concrete, ultrasonic testing, finite element method.

REFERENCES

1. Kornilkov M.V., Polovov B.D., Kriazhevskikh A.N., Kuzmin N.G. Analysis of space-planning and design and technological solutions for construction and operation of Yekaterinburg and Chelyabinsk metro. News of higher educational institutions. Mountain magazine, 2014, no. 6, pp. 70–78.
2. Maslak V.A., Bezrodnyy K.P., Lebedev M.O., Gendler S.G. New technical and technological solutions for the construction of subway tunnels in the metropolis. Mountain magazine, 2014, no. 5, pp. 57–60.
3. Shen X., Lu M., Mao S., Wu X. Integrated approach to machine guidance and operations monitoring in tunnel construction. The 31st International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining (ISARC 2014), 2014, pp. 103–109.
4. Demenkov P.A., Ochukrov V.I., Shubin A.A. The methodology for predicting the stress-strain state of structures of metro stations deep foundations considering construction stages. Problems of modern science and education, 2016, no. 4(46), pp. 205–207.
5. Yin Z.Z. Application of hydrostatic leveling system in metro monitoring for construction deep excavation above shield tunnel. Applied Mechanics and Materials, 2013, vol. 333–335, pp. 1509–1513.
6. Belostotsky A., Kaytukov T., Afanasyeva I., Grosel J. About contemporary problems of numerical modelling of unique structures, buildings and facilities. MATEC Web of Conferences, 2017, vol. 117, p. 00016. DOI: 10.1051/mateconf/201711700016
7. Dement'eva M.E., Shajtanov A.M. Increase of Operational Suitability of Hydrotechnical Structures on the Example of Kayrakkum HPP (Tajikistan). Vestnik MGSU, 2017, vol. 12, no. 10(109), pp. 1098–1106.
8. Bartholomew-Biggs M., Zuo M.J., Li X. Modelling and optimizing sequential imperfect preventive maintenance. Reliability Engineering and System Safety, 2009, vol. 94(1), pp. 53–62.
9. Dement'eva M. Evaluation of exploitation suitability of enclosing structures of filling stations. MATEC Web of Conferences, 2017, vol. 117, p. 00037. DOI: 10.1051/mateconf/201711700037

10. Alpatov S.N. The development of the underground opens prospects for the integrated development of the underground space. *Metro and tunnels*, 2014, no. 4, pp. 16–17.

11. Dremov V.I., Mazein S.V., Prudnikov A.D., Akutin D.V. Measures of industrial safety in the design of the construction of the Moscow Metro. *Metro and tunnels*, 2016, no. 5, pp. 31–38.

12. Dmitrenko A.V. How to start building metro lines in large cities. *Transport Massanger Scientific*, 2016, no. 3, pp. 24–28.

13. Garber V.A. Unstable situations in the construction and operation of the Moscow subway over the past 40 years. *Metro and tunnels*, 2014, no. 3, pp. 34–35.

14. Usanov S.V., Konovalova Yu.P. Accidental buildings' deformations during construction deriving tunnels in urbanized territories. *Subsoil use problems*, 2016, no. 4(11), pp. 104–110.

15. Solomatina I.A. Classification of violations for the economic assessment of the construction site. *Fundamental and applied research: problems and results*, 2015, no. 19, pp. 179–184.

16. Pleshko M., Voinov I., Revyakin A. Assessment of the impact of railway tunnel lining defects with a long working lifespan on its carrying capacity. *MATEC Web of Conferences*, 2017, vol. 106, pp. 05004. DOI: 10.1051/mateconf/201710605004

17. Zhang X., Han Y., Liu S., Su C. Deformation prediction analysis model for the mine shaft-wall. *Journal of Liaoning Technical University (Natural Science Edition)*, 2014, no. 33(8), pp. 1070–1073.

18. Daller J., Zibert M., Exinger C., Lah M. Implementation of BIM in the tunnel design – engineering consultant's aspect. *Geomechanics and tunneling*, 2016, vol. 9, pp. 674–683.

Information about the author

Marina E. Dement'eva, PhD, Assistant professor.

E-mail: 7dem@mail.ru

Moscow State University of Civil Engineering.

Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

Kirill E. Minin, Geotechnical Engineer.

E-mail: kirk.min@yandex.ru

Limited Liability Company "Research and Engineering Center Tunnel Association".

Russia, 129344, Moscow, st. Eniseyskaya, 46.

Received in April 2018

Для цитирования:

Дементьева М.Е., Минин К.Е. Анализ эксплуатационной пригодности плиты покрытия блока станции метрополитена // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №7. С. 42–52. DOI: 10.12737/article_5b4f02b82615c0.05783178.

For citation:

Dement'eva M.E., Minin K.E. Analysis of overlap subway station suitability exploitation. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2018, no.7, pp. 42–52. DOI: 10.12737/article_5b4f02b82615c0.05783178.

Ди Сонхеак, аспирант
Государственный университет по землеустройству

КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ БАМБУКА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ КУЛЬТУРНО-ПРОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ КАМБОДЖИ

В статье раскрыты конструктивные решения бамбука в строительстве сооружений и зданий Камбоджи. Рассмотрены особенности проектирования и творческий подход архитекторов, работающих в данном направлении, актуальные проблемы конструкций из бамбука и решения проблем. В условиях современного развития экономики Камбоджи на уровне правительства страны сегодня идёт процесс активного планирования создания новых культурно-просветительных центров. В настоящее время недостаточно исследованы и разработаны методы и принципы выбора архитектурно-конструктивных решений культурно-просветительных центров для условий Камбоджи. В связи с этим актуальным, современный архитектор Камбоджи рекомендует конструкции из бамбука, потому что в Камбодже бамбук считается достаточно распространенным, экономически выгодным строительным материалом, соответствующим условиям страны. Конструкции из бамбука не использовались в местных районах Камбоджи, потому что в стране не было современных технологий его производства. Все здания и сооружения были построены из деревянных конструкций и железобетона. Кроме того конструкции из бамбука не входят в традиции строительного искусства Камбоджи.

Ключевые слова: строительные леса, соединение, возведение зданий, конструкции из бамбука, стальные конструкции, рациональность, междоузлие.

За последние годы объявления перестройки экономики страны, Камбоджа добилась определенных успехов в решении строительного вопроса. Эти успехи были достигнуты благодаря использованию комплекса мероприятий для привлечения инвестиций в строительство. Большинство специалистов считает, что лесной покров Камбоджи составляет 30–35 % от общей площади земель, однако по данным Министерства сельского хозяйства, лесного хозяйства и рыболовства Камбоджи площадь занятая лесами составляла 40 % в 1995 году. Согласно интерпретации отдела лесного хозяйства на основе аэрофотоснимки в 1997 году, площадь бамбуковых рощ составляла около 21 822 га (или 0,1 % от общей площади земель Камбоджи). В настоящее время идет расширение площадей бамбуковых плантаций, в связи с чем интерес к бамбуку как строительному материалу повышается [1].

Приведем два примера архитектурных проектов, представленных на Международном конкурсе «Архитектура из бамбука» в 2010 г., которые соответствуют условиям страны Камбоджи. Летнее кафе в городе Хо Чи Мин (Вьетнам), здание спроектировано архитектором Во Тронг Нгиа. Автор разработал проект с использованием местных строительных материалов, применив толстые структурные бамбуковые шесты с крышей из кокоса. Здание приспособлено с помощью ветра и воды под кондиционер. При использовании традиционных методов обработки бамбука, таких как смачивания с грязью и дымом, бамбук

демонстрирует свои выдающиеся характеристики эстетической, долговечности, экологии и эффективности затраты в качестве строительного материала. Кафе состоит из тысяч бамбуковых стеблей с минимальным использованием стали.

Вторым примером является культурный курорт Ден Сонева Кири в Тайланде. Основная его структура была построена с использованием бамбука длиной до 9 м и диаметром 10–13 см. Вторичная крыша и конструкция сделаны из бамбука с длиной 4 м и диаметром около 5 см. Оба вида бамбука берутся с плантаций в соседней тайской провинции Прачинбури. [2]

Практические примеры теории для уплотнения швов могут быть впечатляющими. Всем известно, что бамбук является идеальным материалом для строительных лесов (рис.1).

Строительные леса выполнены с помощью веревок. Строительные леса из бамбука известны своей устойчивой способностью к выживанию в ураганы, а также его низкой стоимостью. Несмотря на эти преимущества, однако, строительные леса из бамбука сталкиваются с сильной конкуренцией со стороны стальных строительных лесов. Стальные строительные леса являются более дорогими строительными материалами, но это промышленно развитая и стандартизированная система. Для того, чтобы конкурировать со сталью, строительные леса из бамбука вынуждены искать улучшения, которые будут сохранять свои преимущества, в то же время, обладая некоторыми полезными аспектами современного промышленного дизайна. Если строительные

леса из бамбука будут использоваться во всем мире, стандартизированная система для них имеет важное значение.

При возведении современной архитектуры из бамбука необходимым условием является обращение к опыту строительства сооружений из стальных конструкций. Существует несколько важных причин, обуславливающих подобную связь. Во-первых, бамбук имеет прекрасные механические свойства, а, во-вторых, его особенности – это естественная форма цилиндра и колена. Таким образом, использование бамбука в

качестве строительного материала имеет много общего с применением стальных элементов. Поскольку в области применения стальных конструкций в строительстве наблюдаются высокие достижения, то применение схожих принципов в возведении современной архитектуры из бамбука является наиболее эффективным способом её прогрессивного роста. Ведь даже на самом раннем этапе своего развития строительство с применением стальных конструкций оказывало огромное влияние на произведения деревянного зодчества [3].



Рис. 1. Строительные леса из бамбука с различными формами

Вначале была идея рассмотреть возможности использования стволов бамбука для филигранных стержневых конструкций, выполнявшихся до сих пор из стали. Бамбук по своей геометрии и свойствам материала исключительно подходит для таких легких стержневых структур. Но, тем не менее, отсутствовала техника креплений, которая смогла бы оптимально использовать преимущества бамбука. При этом научная группа факультета архитектуры г. Аахена разработала прототипы соединений, провела их лабораторные испытания, а также выполнила экспериментальные конструкции из бамбука.

Арсе в 1993 г. разработал философию и теорию конструкции из бамбука, которые могут быть обобщены следующим образом. Целевой функцией соединения является достижение структурной целостности цепи между элементами. В соответствии с требованием безопасности, прогиб бамбука может быть передан определенным образом и деформации можно держать под контролем. Внутренние ограничения зависят от свойств материала и формы. [4]

Следующее внутреннее ограничение – это форма. Форма бамбука полая с переменным размером, по толщине и форме. Междоузлия и от-

крытые концы могут быть раздавлены легко, лучшее место для соединения находится вблизи узлов. Однако, они наблюдаются на разных расстояниях.

Внешние ограничения заключаются в следующем:

1. *Преимущества.* В случае применения бамбука в качестве строительного материала, необходимо искать максимизацию его использования. Бамбук имеет преимущества и недостатки. Необходимо в полной мере воспользоваться хорошими свойствами, избегая при этом его недостатки.

2. *Простота.* Конструкция из бамбука в основном предназначена для решения проблем инфраструктуры в районах, где сложное оборудование и технические возможности не всегда доступны. Таким образом, бамбуковая конструкция должна быть простой с точки зрения навыков и оборудования, участвующих в его производстве. Это особенно важно в случае самостоятельных архитектурно-строительных проектов.

3. *Стабильность.* Соединения должны быть стабильными по отношению к времени. Прочность должна быть связана с требованиями срока эксплуатации здания.

4. *Адаптивность размеров к модульной системе.* Традиционно, это представляется не обязательным, но ввиду огромных строительных проблем в развивающихся странах, модульная конструкция является необходимостью. Только с современными методами можно решать строительные проблемы для миллионов людей в мире. Модульная конструкция открывает возможность производства в специализированных магазинах и использование неквалифицированного труда на строительной площадке.

5. *Сила предсказуемости.* Правила проектирования необходимы для экстраполяции, прогнозирования прочности и оценки безопасности. Оправданные механические модели и звуковые экспериментальные данные должны сопровождать предложения для соединения.

6. *Эффективность затрат.* Соединения являются очень важным компонентом в строительстве, и в общих структурных затратах. Необходимо учитывать влияние соединений на общую стоимость. Простое сравнение одного соединения с другим является недостаточным.

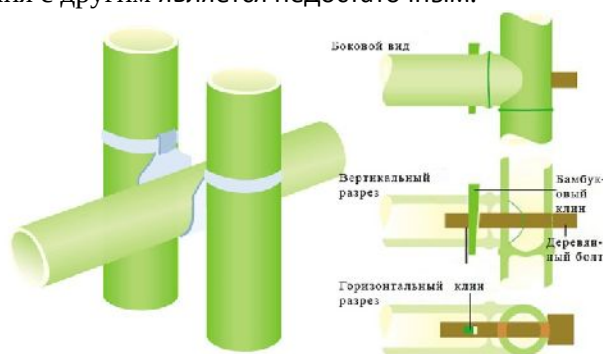


Рис. 2 Детали бамбукового сустава

Бамбук в качестве устойчивого материала с низким уровнем воздействия на среду сыграет

более важную роль в современной архитектуре и в будущем. Традиционные и современные строительные конструкции с использованием бамбука имеют очень серьезные основания для распространения на другие районы, в том числе и в Камбодже. В то же время строительство бамбуковых зданий ограничено по высоте до трех, максимум девяти этажей, имеет сравнительно небольшой масштаб. Современная архитектура бамбуковых зданий имеет тенденцию соответствовать потребностям природно-климатических условий местности Юго-Восточной Азии, на примере Камбоджи [5].

БИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. National forest products statistics, Cambodia [Сетевой ресурс]. URL: <http://www.fao.org/docrep/005/ac778e/AC778E09.htm>

2. Robert Henrikson, David Greenberg. Wind and water café in Vietnam, The Den Soneva Kiri resort in Thailand // Bamboo architecture in competition and exhibition, 2011.

3. Яо Вей Анализ принципов и способов современного проектирования архитектурных сооружений из бамбука // Современные науки и образования, 2015, №1-1. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=18197> (дата обращения: 11.06.2018).

4. Arce O. Fundamentals of the design of bamboo structures. Ph.D. thesis at the Technical University of Eindhoven, The Netherlands. 1993. 260 p.

5. Ильвицкая С.В., Ди Сопхеак. Инновации и технологии: путь к современной архитектуре культурных центров Юго-Восточной Азии // Архитектура и время. №4. 2015. С. 3–7.

Информация об авторах

Ди Сопхеак, аспирант кафедры архитектуры.

E-mail: dy.sopheak@mail.ru

Государственный университет по землеустройству.

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

Поступила в марте 2018 г.

© Ди Сопхеак, 2018

Dy Sopheak

THE CONSTRUCTIVE SOLUTIONS OF BAMBOO IN CULTURAL CENTERS BUILDING IN CAMBODIA

The article describes the design solutions of bamboo in the construction of buildings in Cambodia. The features of design and creative approach of architects, actual problems of bamboo structures and problem solving are considered in this direction. Under the conditions of the modern development of the economy in Cambodia by the government today new cultural and educational centers are built actively in this country. At this moment methods and principles for the selection of architectural design solutions of cultural and educational centers for the conditions of Cambodia have not been sufficiently studied and developed. In this case, modern architects of Cambodia recommend the design of bamboo, because bamboo in Cambodia is considered

to be quite common, cost-effective building material that suitable for the conditions in this country. Bamboo structures were not used in the local areas of Cambodia, because the country did not have modern technologies for its production. All buildings and structures were built of wooden structures and reinforced concrete. In addition, bamboo structures are not included in the traditions of the construction art of Cambodia.

Keywords: scaffolding, connection, construction of buildings, bamboo structures, steel structures, rationality, internodes.

REFERENCES

1. National forest products statistics, Cambodia [Network resource]. URL: <http://www.fao.org/docrep/005/ac778e/AC778E09.htm>
2. Robert Henrikson, David Greenberg. Wind and water café in Vietnam, The Den Soneva Kiri resort in Thailand. Bamboo architecture in competition and exhibition, 2011.
3. Yao Wei. Analysis of the principles and methods of modern design of architectural structures made of bamboo. Modern science and education. 2015, no. 1–1.
4. Arce O. Fundamentals of the design of bamboo structures. Ph.D. thesis at the Technical University of Eindhoven, The Netherlands, 1993, 260 p.
5. Ilvitskaya S.V., Dy Sopheak. Innovation and technology: the road to modern architecture, cultural centers in South-East Asia. Architecture and time, 2015, no. 4, pp. 3–7.

Information about the author

Dy Sopheak, Postgraduate student.

E-mail: dy.sopheak@mail.ru

State university of land use and planning.

Russia, 105064, Moscow, Street Kazakova, building 15.

Received in March 2018

Для цитирования:

Ди Сопхеак. Конструктивные решения бамбука в строительстве культурно-просветительных центров Камбоджи // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №7. С. 53–56. DOI: 10.12737/article_5b4f02b8b01a81.10752021.

For citation:

Dy Sopheak. The constructive solutions of bamboo in cultural centers building in Cambodia. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no.7, pp. 53–56. DOI: 10.12737/article_5b4f02b8b01a81.10752021.

К ВОПРОСУ О КОМПЛЕКСНОМ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Обозначена необходимость комплексного выполнения градостроительного проектирования с целью сохранения индивидуального характера города при реконструкции и новом строительстве и выработке соответствующих методических рекомендаций. Названы направления развития объёмно-пространственной композиции сложившихся городов. Рассмотрен основной метод работы градостроителя – прогнозирование, основанный на результатах исходных данных и исследованиях, и позволяющий намечать и реализовывать концепцию развития объёмно-пространственной композиции города на всех стадиях проектирования. Применены основные принципы комплексной методики проверки сочетания новой и сложившейся застройки. Предложена модель комплексного процесса градостроительного проектирования с учётом разработки на всех стадиях объёмно-пространственного решения. Рассмотрены составляющие предложенной модели в виде этапов проектирования и их элементов. Сделаны выводы о результатах градостроительного проектирования с использованием предложенной модели комплексного четырёхэтапного процесса проектирования и его возможностях.

Ключевые слова: градостроительное проектирование, новая и сложившаяся застройка, объёмно-пространственная композиция, градостроительный план, прогнозирование, силуэт города, модель проектирования.

Введение. Современная практика застройки и реконструкции городов в связи с высокими темпами и объёмами строительства приводит к нивелированию характера и индивидуального облика городов, несмотря на все положительные стороны в решении социальных, функциональных и технических проблем [7]. Такая тенденция становится почти повсеместной и часто обусловлена позицией, что чем меньше сохранять старое, тем меньше будет помех новому.

В функциональной и композиционной структуре города, формировавшегося на протяжении долгого времени, выработались определённые индивидуальные принципы градостроительства, многие из которых не потеряли своего значения и в настоящее время. Чтобы не исчезало своеобразие города, эти принципы необходимо выявлять, понимать и развивать дальше. Поэтому целью комплексного проектирования уже сложившихся городов является максимальное сохранение их индивидуального облика с соблюдением всех современных норм и учётом аспектов: функционального, социального, планировочного, транспортного и инженерного [2].

В связи с этим для перспективного объёмно-пространственного развития города с учётом уже сложившихся закономерностей необходимы методические разработки, в которых должны быть сформулированы требования к функциональному, визуальному и композиционному построению в процессе проектирования.

В комплекс историко-культурного наследия любого города, которое следует сохранять и развивать, может входить: городской и природный

ландшафт, застройка, функциональная и планировочная организация, благоустройство и озеленение, национально-бытовой уклад.

При комплексном проектировании города, градостроители изучают его, проводят натурные обследования, собирают исходные данные, но не всегда достаточно глубоко и системно [4, 10]. Подтверждением этому являются примеры вторжения в сложившуюся городскую среду, отрицательно воздействующие на облик города и его экологию [12].

В ходе градостроительного проектирования с учётом сложившейся городской среды определились элементы, требующие особого анализа:

- историческая планировка, характеризующаяся рядовой застройкой и наличием ценного природного ландшафта;
- историческая среда с наличием сохранившихся отдельных архитектурных памятников или ансамблей, выполняющих роль доминант;
- сохранившаяся историческая среда, но с нарушенной застройкой и ландшафтом;
- полностью нарушенная историческая среда с сохранившимися единичными ценными фрагментами. Территории названных элементов, не имеющие границ, обозначаются, фиксируются, корректируются, и при необходимости обобщаются.

Сохранить сложившийся облик города можно, развивая его по следующим направлениям:

- максимально сохранить ценную историко-культурную основу, с включением её в современный облик города;

– развивать сложившиеся градостроительные традиции при реконструкции и новом строительстве.

Процесс комплексного проектирования по любому из названных направлений должен базироваться на методической основе. При этом необходимо определить, что в городе действительно ценно, т. к. проектировщику нельзя работать, не зная историко-культурной подосновы города. Для этого должны быть выработаны соответствующие методические рекомендации по комплексному градостроительному проектированию [3].

Методика. Основным методом работы градостроителя должно стать прогнозирование. Например, строительство высотных зданий [1, 4], влияние которых ощущается в разных частях города, т. к. их видно ото всюду: проезжая или проходя по улицам, с видовых площадок, с повышенных точек рельефа и т. п. Эти здания становятся акцентами, соответствующими масштабу города и его застройке. Поэтому их восприятие должно прогнозироваться не с точки зрения отдельного здания и его ближайшего окружения, а с позиций всего города [5].

Для решения этой задачи предлагается создать методику, позволяющую целенаправленно разрабатывать объёмно-пространственную композицию города, его силуэт, создавать характер и намечать место высотных акцентов, т. е. разработать «визуальный» градостроительный план, а затем на основе принятой концепции реализовывать его на всех стадиях проектирования – проекте планировки территории, в проекте комплексной застройки или отдельного здания.

Для разработки объёмно-пространственной композиции должны применяться основные принципы комплексной методики проверки сочетания новой и сложившейся застройки. При этом следует анализировать возможность размещения здания, имеющего значимую высоту, решая задачу формирования объёмно-пространственной системы города на уровне восприятия как отдельного здания, так и комплекса в сочетании со сложившейся застройкой [5]. Такой анализ можно выполнять, перенося габариты исследуемого здания с плана, выясняя тем самым как оно будет вписываться в панораму городского ландшафта.

Чтобы прогнозировать построение силуэта города и его пространственную композицию, можно использовать и перенос нанесённых на фотоснимки объектов на план города, определяя их истинные размеры.

Основной принцип проектирования объёмно-пространственной композиции города и её

элементов с применением комплексной методики заключается в том, что поиск силуэта и пространственной организации города ведётся на панорамах городского ландшафта, выполненных с различных точек зрительного восприятия [8]. Подобно тому, как подосновой для разработки градостроительного плана служит геодезическая съёмка, так подосновой для разработки схемы объёмно-пространственной композиции города служат снимки его панорам. На панорамах изображается эскиз-идея развития уже сложившейся пространственной композиции, а также силуэта с учётом градостроительного задания. Такой подход позволяет получить наглядное представление об облике городского ландшафта после реализации архитектурного проекта.

Поиск пространственной композиции на панорамах города производится параллельно с процессом проектирования архитектурно-планировочной структуры, постоянно взаимоувязывая планировочное и объёмно-пространственное решения. Переходы от изображений на фотоснимках к изображениям в плане и обратно могут быть выполнены различными способами: графическим, аналитическим, графоаналитическим, аналоговым [9, 11].

Такой путь прогнозирования объёмно-пространственной системы застройки приемлем для любого сложившегося и вместе с тем развивающегося города. Однако, при этом особенно важно создание схемы пространственной композиции для городов, имеющих односторонний визуальный план восприятия. Есть другая категория городов, для которых целесообразно разрабатывать отдельные схемы пространственной композиции для тех территорий, которые также имеют односторонний визуальный план.

Рассматриваемая методика даёт практическую возможность поиска объёмно-пространственной композиции последовательно на всех стадиях проектирования. Поэтому обычно разрабатываемую проектную документацию следует дополнять материалами, отражающими объёмно-пространственное построение городской среды: схемой пространственной композиции на стадии разработки генплана; схемами пространственной композиции, детализирующими решения «визуального» градостроительного плана для отдельных территорий; схемами объёмно-пространственного построения городских комплексов, ансамблей, улиц, площадей и т. д. на стадии детальной разработки проекта [15]. Модель комплексного процесса градостроительного проектирования с учётом разработки на всех его стадиях объёмно-пространственного решения приведена на

рис. 1 и включает предпроектный этап, разработку проекта планировки территории, проект детальной планировки и проект застройки [16].

Предпроектный этап должен включать в себя исследовательскую работу, проектные решения, технико-экономическое обоснование и рекомендации для следующих этапов, т.к. полученные материалы используются в процессе всего комплексного проектирования.

Исследования на начальном этапе проектирования включают определение и всесторонний анализ сложившейся городской среды, её историческую и архитектурную ценность. Результаты исследований должны быть направлены не только на учёт и сохранение элементов существующей среды, но и на преобразование и развитие городского пространства.



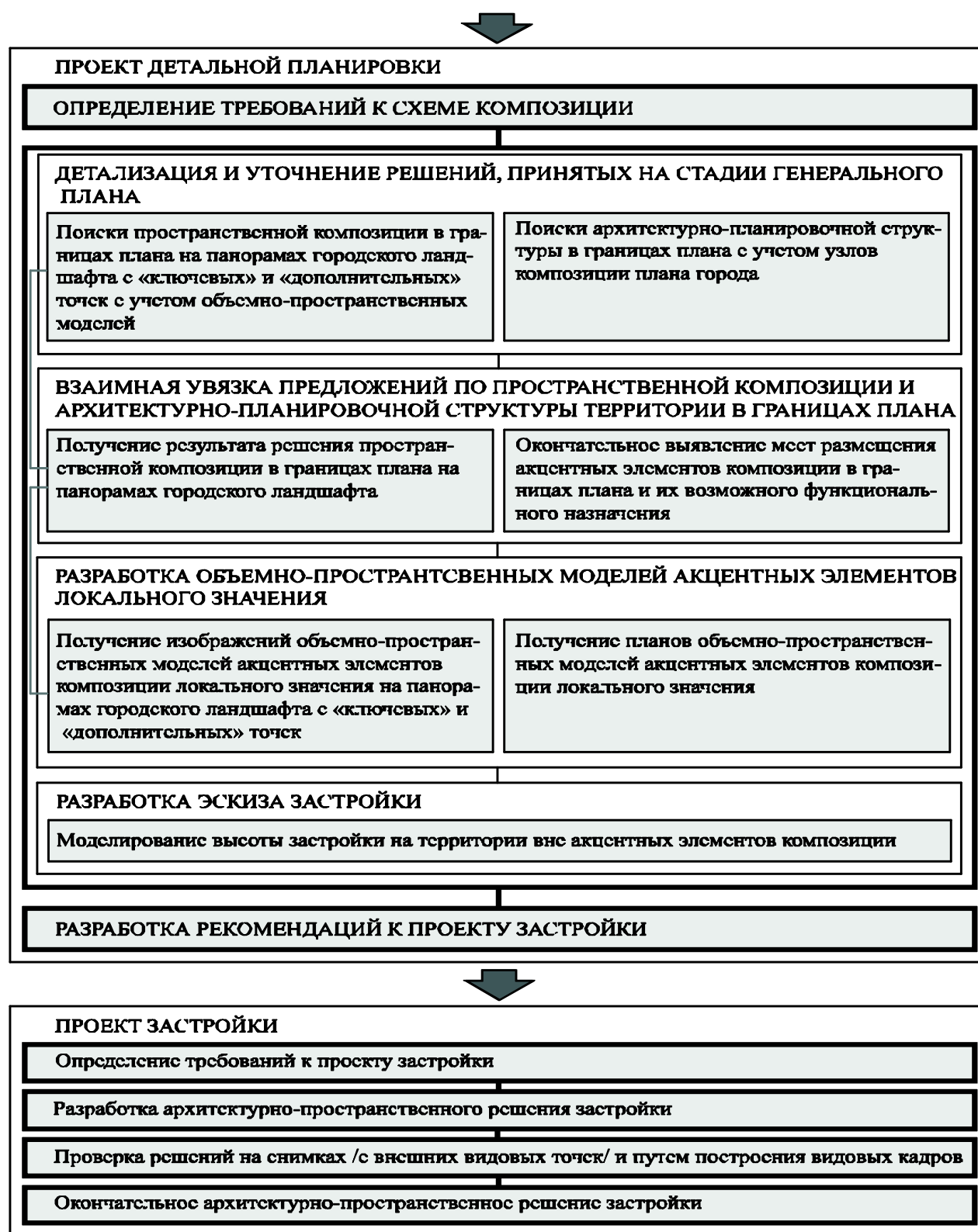


Рис. 1. Модель комплексного процесса градостроительного проектирования.

Основная часть. Для разработки всех вышеперечисленных материалов перед началом проектирования должны быть выполнены исследования, цель которых сводится к определению:

– основных принципов и положений проектирования

– объёмно-пространственной композиции города;

– к подготовке исходных данных и разработке исходных материалов для проектирования [13].

На основании исследований должны быть сформулированы рекомендации по развитию объёмно-пространственной композиции города при сохранении её индивидуальных характеристик.

С учётом этих рекомендаций выбираются точки визуального восприятия и разрабатывается градостроительное задание для расчётов высоты новой застройки, «безопасной» для сложившейся объёмно-пространственной композиции. Из числа выбранных точек выделяют ключевые – наиболее важные точки визуального восприятия городского ландшафта для каждого направления, увязанные с местами наибольшего скопления людей: центры жилых районов, видовые площадки, памятные места, зоны отдыха, зоны внешнего транспорта и т. д.

Исходные данные и материалы для разработки объёмно-пространственного решения города включают:

- фотоснимки с выбранных точек зрительного восприятия;
- графические и табличные исходные материалы;
- расчёт по определению высоты новой застройки.

Расчёт по определению высоты новой застройки анализируется с целью выявления места в городе, где новые здания или их комплексы могут стать активным элементом его композиции. Это оценивается по схеме зонирования территории города, куда наносятся участки с размещением зданий разной этажности. На эту же схему наносят предполагаемые новые акценты с учётом их высоты и окружающей застройки. Такой приём даёт возможность размещать в сложившейся среде новостройки так, чтобы они действительно стали акцентами, при этом лаконично вписываясь в существующий городской силуэт.

Разработка объёмно-пространственной композиции дополняет процесс градостроительного проектирования на всех его стадиях, поэтому она осуществляется параллельно с выработкой функционально-планировочного решения развития города или его отдельного района [14].

На стадии разработки проекта планировки территории (ППТ) разрабатывается схема объёмно-пространственной композиции города. Основным требованием к ней, выявленным на стадии предпроектных исследований и градостроительного задания, является необходимость развития композиции и силуэта города, связанного с увеличением его территории и масштаба застройки. Сложившийся к моменту проектирования облик города должен сохранить свою роль в новом городском ансамбле. При этом должны

быть соблюдены ограничения по восприятию городского ландшафта с ключевых точек, а места расположения акцентов должны взаимоувязываться с размещением основных функциональных и планировочных узлов градостроительного плана, а также перспективным развитием территории. Это позволит определить функциональное назначение акцентов и пространственной роли композиционных узлов плана. При этом возможна ситуация, когда основным элементом, формирующим силуэт, может стать жилая или промышленная застройка, а застройка акцентов композиции плана может решаться более низкими зданиями и сооружениями и не вписываться в силуэт города. Такого результата надо избегать и стремиться к планируемому соотношению высот. Для этого необходимо последовательно выполнять поиск силуэта новых композиционных акцентов, а принятое решение наносить на план и панорамные изображения, корректировка которых осуществляется в течение всего периода проектирования.

На плане должны быть уточнены возможные границы размещения акцентных элементов композиции с учётом территорий, занятых существующей застройкой [11]. Высота отдельных участков территории принимается в соответствии с высотой проекций акцентных элементов, полученных в процессе моделирования.

Следовательно, модели акцентных элементов композиции являются основой для детального решения объёмно-пространственной композиции на следующей стадии разработки проекта детальной планировки, где пространственное решение разрабатывается не только с учётом ключевых точек, но и всех остальных, с которых воспринимается разрабатываемая территория. Общие габариты и высота акцентных элементов, установленные на предыдущих стадиях проектирования, в проекте детальной проработки должны уточниться, детализироваться, взаимоувязаться.

Такая последовательность в ходе комплексного градостроительного проектирования исключает случайные решения в выборе как силуэта новостроев, так и силуэта городской застройки в целом.

Решения, принятые на стадии детальной проработки, становятся основой для разработки рекомендаций к заключительной стадии проекта застройки.

Заключительная детальная проработка акцентных элементов может быть выполнена двумя способами:

- с фотоснимка изображения проектируемого здания или комплекса с ближайшим окружением осуществляют перенос на план, а затем

рассчитывают высоту; а т.к. территория акцентного элемента ограничена, то определение габаритных размеров определить несложно;

– проверка в процессе проектирования графоаналитическим методом расположения новостроек, значимой застройки и их окружения, ориентации, направления пешеходных связей и их взаимного расположения с застройкой.

С использованием компьютерной графики описанные материалы разрабатываются легко и просто.

Выводы. Полученный в результате комплексного проектирования материал, будет полезен для определения с большой точностью того, как новые сооружения будут сочетаться с окружающим ландшафтом и сохраняемой застройкой.

Предложенная модель:

1. Даёт возможность разрабатывать на всех стадиях проектирования полноценную объёмно-пространственную композицию города, его отдельных районов, ансамблей, магистралей;

2. Позволяет создать строгую систему высотного построения застройки города, его объёмно-пространственную композицию;

3. Позволяет избежать градостроительных ошибок.

Такую комплексную методику можно применять в любой градостроительной ситуации, модифицируя её в соответствии с градостроительным заданием.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Петрянина Л.Н. Реконструкция жилых зданий опорного городского фонда как направление современного городского строительства // Региональная архитектура и строительство. №3 (32). 2017. С.172–176
- Кубецкая Л.И., Кудрявцева Н.О. Историко-генетические модели поселения и ценностное зонирование территорий // Градостроительство. №3 (49). ОАО «ВНИИНТПИ». 2017. С. 9–23
- Петрянина Л.Н. К вопросу о моделях реконструкции городов // News of Science and Education. Т. 4. №12. 2017. С.051–053.
- Петрянина Л.Н. Оценка существующей среды при архитектурно-строительном проектировании // News of Science and Education. Т.4. №12. 2017. С. 054–056.
- Семенюк О.В., Минин А.А. Экологические функции исторических природных территорий // Градостроительство. №1 (47). 2017. С. 63–67.
- Береговой А.М., Пучков Ю.М., Качкуркин П.В. Тепловой режим помещений с ограждающими конструкциями разной тепловой инерции // Вестник ПГУАС: Строительство, наука, образование. №1 (4). 2017. С. 17–21.
- Сарченко В.И., Сарченко М.В., Хиревич С.А. Разработка концепции застройки жилого района с учётом основных положений формирования рационального уровня качества городской среды // Градостроительство. №4 (44). 2016. С. 61–71.
- Митягин С.Д. Градостроительная база устойчивого развития урбанизированных территорий // Градостроительство. №2 (42). 2016. С. 72–75.
- Береговой А.М., Береговой В.А., Монастырёв П.В., Тараканов О. В. Аспекты термомодернизации зданий старой застройки // Региональная архитектура и строительство. №4 (29). 2016. С. 62–66.
- Ещина Е.В., Ещин Д.В. Проблемы сохранения деревянного наследия в архитектуре и градостроительстве // Образование и наука в современном мире. Инновации. №4. 2016. С. 172–181.
- Береговой А.М., Дерина М.А., Сухов Я.И. Анализ использования факторов энергосбережения в архитектурно-строительном проектировании зданий различной этажности в региональных условиях // Образование и наука в современном мире. Инновации. №4. 2015. С. 81.
- Гутников В.А. Природно – ресурсный потенциал и ландшафтная модель для стратегии пространственного развития // Градостроительство. №4 (38). 2015. С. 53–62.
- Волкова Т.Ф. Исследования потребительских качеств городской среды // Перспективы науки и образования. №3 (9). 2014. С. 109–113.
- Волкова Т.Ф. Типы современного жилища и дифференциация жилой среды // Перспективы науки и образования. №4 (10). 2014 С. 144–148.
- Колясников В.А. Понятия и принципы инновационного градостроительства // Архитектура, градостроительство, дизайн. №1. 2014. С. 9–13.
- Регамэ С.К., Брунс Д.В., Омеляненко Г.Б. Сочетание новой и сложившейся застройки при реконструкции городов, М., Стройиздат, 1989. С.115–118.

Информация об авторах

Петрянина Любовь Николаевна, доцент кафедры «Городское строительство и архитектура».

E-mail: arhlyubov@yandex.ru.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства.

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

Поступила в марте 2018 г.

© Петрянина Л.Н., 2018

L.N. Petryanina

TO THE QUESTION OF INTEGRATED URBAN DESIGN

The necessity of complex implementation of town-planning design for the purpose of preservation of individual character of the city at reconstruction and new construction and development of the corresponding methodical recommendations is designated. The directions of development of the spatial composition of the existing cities are named. The main method of work of the city Builder is forecasting based on the results of initial data and research, and allowing to plan and implement the concept of the development of spatial composition of the city at all stages of design. The basic principles of a complex method of checking the combination of new and existing buildings are applied. The model of complex process of town-planning design taking into account development at all stages of volume-spatial decision is offered. The components of the proposed model in the form of design stages and their elements are considered. The conclusions about the results of urban planning using the proposed model of a complex four-stage design process and its capabilities.

Keywords: urban planning design, new and existing buildings, spatial composition, urban plan, forecasting, silhouette of the city, design model.

REFERENCES

1. Petryanina L.N. Renovation of residential buildings support city Fund as the direction of modern urban development. Regional architecture and construction, 2017, no. 3 (32), pp. 172–176
2. Kubecka L.I., Kudryavtseva N.O Historical-genetic model of the settlement value and zoning. Urban planning, 2017, no. 3 (49), pp. 9–23
3. Petryanina L.N. To the question about models of urban renewal. News of Science and Education, 2017, vol. 4, no. 12, pp. 051–053.
4. Petryanina L.N. Assessment of the existing environment in architectural design. The News of Science and Education, 2017, vol. 4, no. 12, pp. 054–056.
5. Semenyuk O.V., Minin A.A. the historical Ecological functions of natural areas. Urban planning, 2017, no. 1 (47), pp. 63–67.
6. Beregovoy A.M., Puchkov Yu.M., Kakurkin P.V. Thermal regime of the premises with the envelopes of different thermal inertia. Bulletin of PGWS: construction, science, education, 2017, no. 1 (4), pp. 17–21.
7. Sarchenko V.I., Sarchenko M.V., Gerevich S.A. Development of the concept of building residential area with the main provisions of forming a rational level of quality of the urban environment. Urban planning, 2016, no. 4 (44), pp. 61–71.
8. Mityagin S.D. Urban development base of sustainable development of urban areas. Urban planning, 2016, no. 2 (42), pp. 72–75.
9. Beregovoy A.M., Beregovoy V.A., Monastirev P.V., Tarakanov O.V. Aspects of thermomodernization of buildings of old buildings. Regional architecture and construction, 2016, no. 4 (29), pp. 62–66.
10. Eshina E.V., Eshin D.V., Problems of preservation of wooden heritage in architecture and urban planning. Education and science in the modern world. Innovations, 2016, no. 4, pp. 172–181.
11. Beregovoy A.M., Derina M.A., Suhov Y.I. Analysis of the use of the factors of energy saving in architectural designing of buildings of varying height in the local conditions. Education and science in the modern world. Innovations, 2015, no. 4, p. 81.
12. Gutnikov V.A. Natural and resource potential and landscape model for the spatial development strategy. Urban planning, 2015, no. 4 (38), pp. 53–62.
13. Volkova T.F. Researches of consumer qualities of an urban environment. Prospects of science and education, 2014, no. 3 (9), pp. 109–113.
14. Volkova T.F. Types of modern housing and differentiation of living environment. Prospects of science and education, 2014, no. 4 (10), pp. 144–148.
15. Kolesnikov V.A. Concept and principles of innovative urban planning. Architecture, urban planning, design, 2014, no. 1, pp. 9–13.
16. Regime S.K., Bruns D.V., Omel'yanenko B. Combination of new and existing buildings in urban renewal. M., Stroyizdat, 1989, pp. 115–118.

Information about the author

Lyubov N. Petryanina, Assistant professor.

E-mail: arhlyubov@yandex.ru.

Penza State University of Architecture and Construction.

Russia, 440028, Penza, St. Herman Titov, 28.

Received in March 2018

Для цитирования:

Петрянина Л.Н. К вопросу о комплексном градостроительном проектировании // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №7. С. 57–64. DOI: 10.12737/article_5b4f02bc546e26.20024943.

For citation:

Petryanina L.N. To the question of integrated urban design. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no.7, pp. 57–64. DOI: 10.12737/article_5b4f02bc546e26.20024943.

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.12737/article_5b4f02bd57c851.94144673

¹Бондаренко Д.О., аспирант,²Бессмертный В.С., д-р техн. наук, проф.,¹Строкова В.В., д-р техн. наук, проф.,¹Бондаренко Н.И., канд. техн. наук, доц.,¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова²Белгородский университет кооперации, экономики и права

ПРОЦЕССЫ ОБРАЗОВАНИЯ ЛИКВАЦИЙ, ТЕРМОДИФФУЗИИ И ИСПАРЕНИЯ В ОБЛИЦОВОЧНОМ КОМПОЗИЦИОННОМ МАТЕРИАЛЕ ПРИ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОМ МОДИФИЦИРОВАНИИ

В работе представлены результаты исследования влияния высоких температур плазмы на испарение легкоплавких оксидов, термодиффузию отдельных катионов и процессы образования микроликваций. Были изучены микроструктура защитно-декоративного покрытия на основе боя высокоглинозёмистого огнеупора, процессы испарения отдельных ингредиентов в поверхностном оплавленном слое защитно-декоративного покрытия, термодиффузии по глубине защитно-декоративного покрытия и образования микроликваций в зоне, обогащённой катионом натрия.

Установлено, что при плазмохимическом модифицировании облицовочного композиционного материала с защитно-декоративным покрытием на основе боя высокоглинозёмистого огнеупора и натриевого жидкого стекла с поверхности лицевого слоя испаряются оксиды кальция и натрия, увеличивается содержание оксидов кремния и алюминия. За счёт интенсивной термодиффузии наиболее подвижного катиона натрия на поверхности образуются области микроликваций.

Ключевые слова: плазмохимическое модифицирование, облицовочный композиционный материал, защитно-декоративное покрытие, испарение оксидов, термодиффузия катионов.

Введение. Плазмохимическое модифицирование широкого спектра материалов – стекла, керамики, бетона и различных композиционных материалов показали возможности технологий плазменного получения покрытий как оплавлением лицевой поверхности, так и порошковым или стержневым напылением [1–3].

При кратковременном высокотемпературном воздействии плазмы обрабатываемый материал может прогреваться на глубину до 3000–4000 мкм, а температура расплава на поверхности может достигать 2000 °С [4–6]. Такие температуры значительно интенсифицируют процессы плавления кристаллической фазы [7].

Для оптимизации технологических плазменных процессов ряд исследователей разрабатывали методики расчёта температурных полей и напряжений в оплавленных плазмой слоях бетона и различных композиционных материалах [8–10]. Однако они не учитывали послойного изменения химического состава покрытия, которые были вызваны испарением наиболее летучих оксидов и диффузией компонентов в сторону высоких температур [11].

Декорирующий слой на бетоне и композиционных материалах в зависимости от состава и структуры в значительной степени может изменить кинетику нагрева, оплавленного плазмой

многослойного защитно-декоративного покрытия [12–14]. Плазменная отделка с различным многокомпонентным декорирующим слоем позволит улучшить их тепловые, коррозионные, физико-механические и эстетические свойства [15–16].

Однако открытыми остаются вопросы формирования ликваций в многослойном оплавленном плазмой покрытии. В недостаточной степени изучены процессы термодиффузии и испарения компонентов при плазмохимическом модифицировании бетона и различных облицовочных композиционных материалов.

Методология. Оплавление производили при скорости прохождения плазменной струи по лицевой поверхности 10 мм/с на электродуговом плазмотроне «Горыныч». Температура плазменной струи в точке контакта с лицевой поверхностью составляла 6000 °С.

Затем образцы испытывали на прочность сцепления покрытия с основой. После отрыва от подложки микроструктуру оплавленного защитно-декоративного покрытия исследовали на электронном микроскопе TESCAN MIRA 3 LMU. По всей толщине покрытия определялась концентрация оксидов CaO, SiO₂, Al₂O₃.

Основная часть. Высокие температуры плазменной струи вызывают в оплавленном слое

термодиффузию и испарение оксидов в поверхностном слое защитно-декоративного покрытия облицовочного композиционного материала. Для изучения этих процессов предварительно производили оплавление облицовочного композиционного материала с защитно-декоративным покрытием из смеси боя высокоглинозёмистого огнеупора фракционного состава 0,63–0,8 мм с

жидким стеклом. На рис. 1 показано, что в защитно-декоративном покрытии концентрация оксида кальция уменьшалась, а оксидов кремния и алюминия возрастала, что способствует увеличению значения микротвёрдости защитно-декоративного покрытия. Содержание вышеуказанных оксидов была исследована в зонах 1–5.

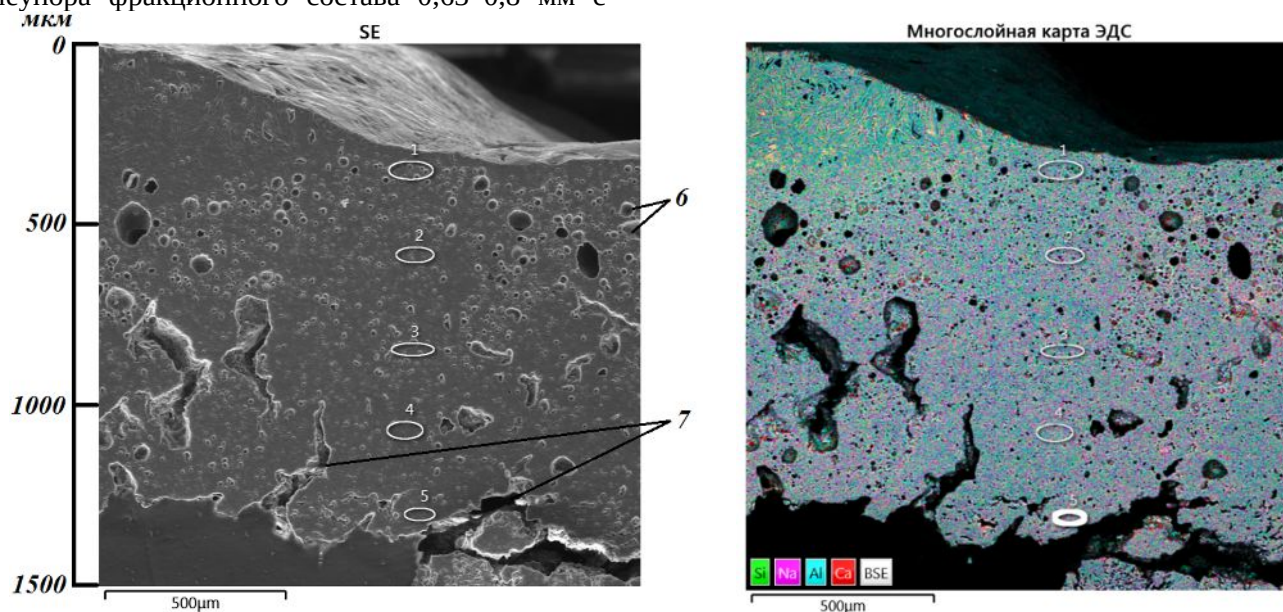


Рис. 1. Микроструктура защитно-декоративного покрытия:
1–5 – исследуемые зоны по толщине покрытия; 6 – газовые включения; 7 – трещины

Экспериментально установленная закономерность изменения концентрации по толщине защитно-декоративного покрытия представлена в табл. 1 и на рис. 2.

Механизм формирования многослойной структуры защитно-декоративного покрытия на основе боя высокоглинозёмистого огнеупора с добавлением жидкого стекла в количестве 5 % значительно отличается. Содержание оксида натрия, поступающего в покрытие вместе с жидким стеклом в условиях перегретого расплава при плазмохимическом модифицировании снижает его вязкость, интенсифицируются процессы термодиффузии. Наиболее подвижным диффундирующим элементом является катион натрия.

Из стеклокристаллического слоя катионы натрия диффундировали в сторону высоких температур. На лицевой поверхности образовался аморфный слой, обогащенный оксидом натрия с образованием областей ликвации. Низкая вязкость расплава обеспечивала интенсивный выход газовых включений. В стеклокристаллической зоне, обогащенной оксидом алюминия, происходила кристаллизация α - Al_2O_3 (рис. 3).

В поверхностном аморфном слое А (зона 2) имеются области ликвации с содержанием катионов Na^+ 8,57 %. На глубине 250 мкм содержание

Na^+ составляет 7,69 % (зона 1). На границе между аморфным слоем и стеклокристаллическим слоем (зона 3) Na^+ составляет 5,7 %. В центре стеклокристаллического слоя на глубине 650 мкм содержание Na^+ составляет 4,2 %. В дегидратационном слое, где температура прогрева не превышает 400 °С, натрия содержится 8,2 % (зона 7).

Таблица 1

Распределение концентрации элементов по толщине защитно-декоративного покрытия

№ п/п	Толщина (глубина) покрытий, мкм	Вес, %		
		Ca	Si	Al
1	55,6	0,60	3,61	52,50
2	291,6	1,27	3,52	52,07
3	555,6	1,29	2,73	51,43
4	777,8	1,52	2,11	50,86
5	1013,8	1,91	1,49	50,30

Особенности строения стеклокристаллического слоя представлены на рисунке 4. В этом слое имеются области с кристаллами α - Al_2O_3 , а также незакристаллизованные участки, содержащие аморфную зону, имеющую в своем составе Na_2O .

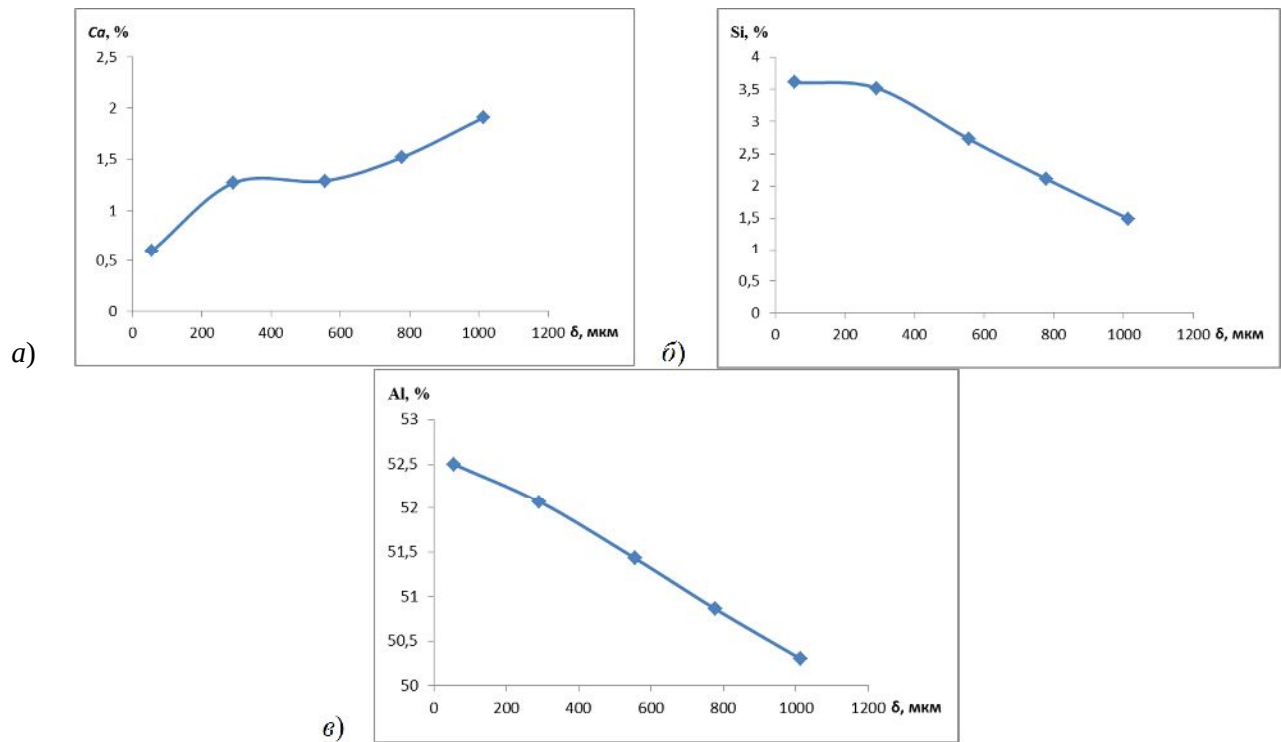


Рис. 2. График зависимости изменения содержания отдельных элементов по толщине оплавленного слоя:
а – Ca; б – Si; в – Al

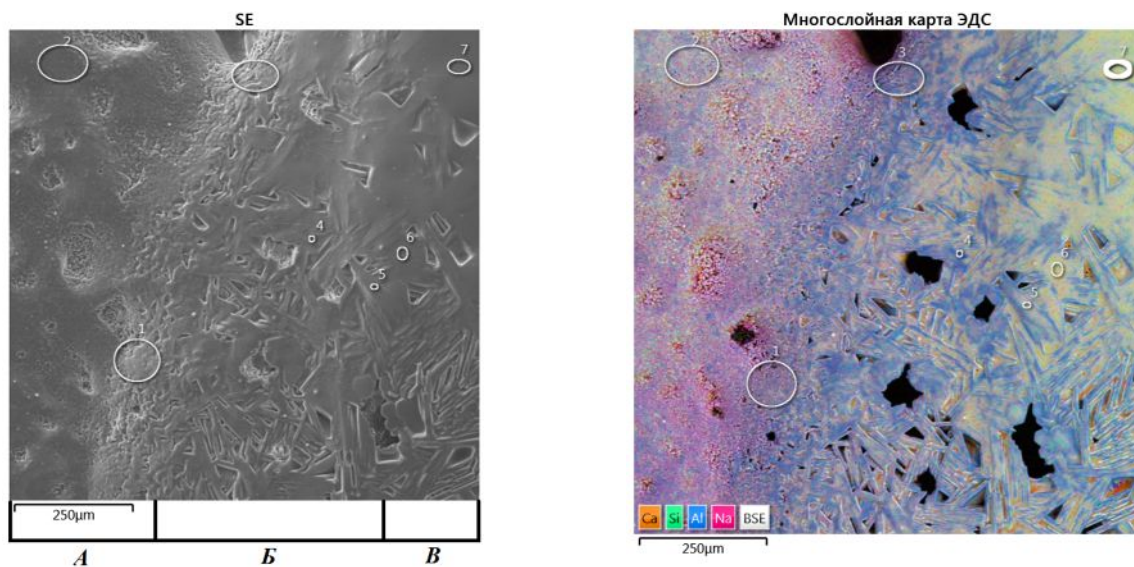


Рис. 3. Микроструктура аморфного (А) стеклокристаллического (Б) и дегидратационного слоя (В)

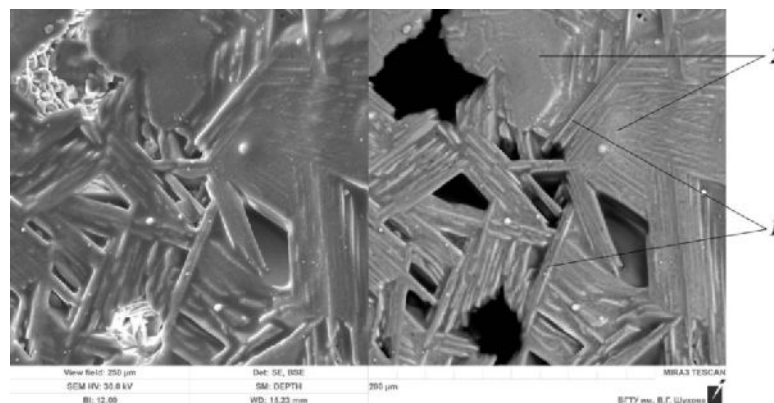


Рис. 4. Стеклокристаллический слой:
1 – кристаллы $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$; 2 – аморфная фаза

Выводы. Установлено, что за весьма короткие промежутки времени, при быстром охлаждении расплава и увеличении его вязкости, процессы гомогенизации расплава и кристаллизации остаются незавершенными. Вследствие этого в стеклокристаллическом слое имеются как закристаллизованные участки, так участки с аморфной фазой.

Проведенные исследования позволили сделать вывод, что защитно-декоративные покрытия, частично закристаллизованные, будут обладать повышенными эксплуатационными показателями за счет наличия кристаллической фазы и отсутствия микротрещин.

Установлено, что под действием высоких температур плазменной струи происходит огненная полировка лицевой поверхности стеклокристаллического композиционного материала.

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Akulova M.V., Fedosov S.V. Atmospheric and corrosion resistance ingrease of concrete by plasma spaying of zink // Problemy naukowobadawcze budownietwa: XLIII Konferencja naukowa. Poznan: Krynica, 1997. Volume VI. P. 5–7.
2. Федосов С.В., Акулова М.В., Кошелев Е.В. Закрепление плазмооплавленного стекловидного декоративного слоя на бетоне с помощью пропиток // Научный Вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. 2008. № 3. С. 44–49.
3. Ковальченко Н.А., Здоренко Н.М., Бурлаков Н.М., Карайченцев Р.С. Плазменное напыление цветных металлов на изделиях стеновой керамики // Международный журнал экспериментального образования. 2016. № 11–1. С. 81.
4. Ильина И.А., Минько Н.И., Борисов И.Н., Бондаренко Д.О., Скрипченко П.В. Локальная термическая обработка стеновых строительных материалов автоклавного твердения // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 3. С. 165.
5. Здоренко Н.М., Ильина И.А., Бондаренко Н.И., Борисов И.Н., Изофатова Д.И. Формирование качества и конкурентоспособности стеновых строительных материалов автоклавного твердения // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 10. С. 120.
6. Федосов С.В., Акулова М.В., Щепочкина Ю.А., Подлозный Э.Д., Науменко Н.Н. Плазменное оплавление строительных композитов. М.: Изд-во АСВ; Иваново: ИГАСУ, 2009. 228 с.
7. Волокитин О.Г., Верещагин В.И., Шеховцов В.В. Процессы получения расплава из кварцевого песка в агрегатах низкотемпературной плазмы // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2015. Т. 58. № 1. С. 62–65.
8. Баженов Ю.М., Федосов С.В., Щепочкина Ю.А., Акулова М.В. Высокотемпературная отделка бетона стекловидными покрытиями. М.: Изд-во АСВ, 2005. 128 с.
9. Подлозный Э.Д., Митюшев В.В. Теплопроводность двухслойной композитной прямоугольной плиты, оплавленной движущимся источником тепла // Современные методы проектирования машин: сб. тр. БНТУ. Минск, 2002. Т. 3. № 1. С. 89–99.
10. Подлозный Э.Д., Митюшев В.В. Температурные напряжения в полуплоскости с полубесконечной трещиной при плазменном воздействии на композиты // Нелинейная динамика механических и биологических систем: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2004. С. 63–74.
11. Бондаренко Н.И., Бессмертный В.С., Ильина И.А., Гащенко Э.О. Глазурование изделий из бетона с использованием факела низкотемпературной плазмы // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. № 2. С. 124–127.
12. Федосов С.В., Ибрагимов А.М., Гушчин А.В. Влияние тепловлажностной обработки на прочность железобетонных ограждающих конструкций и изделий // Строительные материалы. 2006. № 9. С. 7–8.
13. Федосов С.В., Аксаковская Л.Н., Ибрагимов А.М., Анисимова Н.К. Математическое моделирование переноса тепла при оплавлении стеклобоя на поверхности бетона // Строительные материалы. 2006. № 9. С. 12–13.
14. Бессмертный В.С., Панасенко В.А., Ляшко А.А., Антропова И.А., Ильина И.А., Ткаченко Н.И., Кротова О.В. Инновационная технология плазменной обработки тугоплавких неметаллических силикатных материалов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2012. № 4. С. 40.
15. Волошко Н.И., Ковальченко Н.А., Здоренко Н.М., Купавцев Э.И. Повышение коррозионной стойкости бетонных изделий методом плазменной обработки // Международный журнал экспериментального образования. 2017. № 1. С. 114.
16. Bessmertnyi V.S., Simachev A.V., Zdorenko N.M., Rozdol'skaya I.V., Min'ko N.I., Bondarenko N.I., Bondarenko D.O. Evaluation of the competitiveness of wall building materials with glassy protective-decorative coatings obtained by plasma fusing // Glass and Ceramics. 2015. Vol. 72. № 1–2. С. 41–46.

Информация об авторах

Бондаренко Диана Олеговна, аспирант кафедры материаловедения и технологии материалов.

E-mail: di_bondarenko@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

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

Бессмертный Василий Степанович, доктор технических наук, профессор.

E-mail: vbessmertnyi@mail.ru, bessmertnyy.vs@bstu.ru

Белгородский университет кооперации, экономики и права.

Россия, 308023, г. Белгород, ул. Садовая, д. 116а.

Строкова Валерия Валерьевна, доктор технических наук, заведующий кафедрой материаловедения и технологии материалов.

E-mail: vvstrokova@gmail.com, strokova.vv@bstu.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

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

Бондаренко Надежда Ивановна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии стекла и керамики.

E-mail: bondarenko-71@mail.ru, bondarenko.ni@bstu.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

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

Поступила в марте 2018 г.

© Бондаренко Д.О., Бессмертный В.С., Строкова В.В., Бондаренко Н.И., 2018

D.O. Bondarenko, V.S. Bessmertnyi, V.V. Strokova, N.I. Bondarenko
PROCESSES OF FORMATION OF LIQUACIA, THERMODIFFUSION AND EVAPORATION
IN FACING COMPOSITE MATERIAL IN PLASMOCHEMICAL MODIFICATION

The work presents the results of a study of the influence of high plasma temperatures on the evaporation of fusible oxides, the thermal diffusion of individual cations, and the processes of formation of micro-waxes. The microstructure of the protective and decorative coating based on the battle of high-alumina refractory, the evaporation of individual ingredients in the surface melted layer of the protective and decorative coating, the thermal diffusion along the depth of the protective and decorative coating, and the formation of micro-beads in the zone enriched with sodium cation were studied.

It has been established that during the plasma-chemical modification of the facing composite material with a protective-decorative coating based on the battle of high-alumina refractory and sodium liquid glass, oxides of calcium and sodium evaporate from the surface of the face layer, the content of silicon and aluminum oxides increases. Due to the intense thermal diffusion of the most mobile sodium cation, micro-deposition regions form on the surface.

Keywords: plasma-chemical modification, facing composite material, protective decorative coating, evaporation of oxides, thermal diffusion of cations.

REFERENCES

1. Akulova M.V., Fedosov S.V. Atmospheric and corrosion resistance increase of concrete by plasma spaying of zink. Problemy naukowobadawcze budownictwa: XLIII Konferencja naukowa. Poznan: Krynia, 1997, vol. VI, pp. 5–7.
2. Fedosov S.V., Akulova M.V., Koshelev E.V. Fixation of a plasma-melted glassy decorative layer on concrete with the help of impregnations. Scientific Herald of Voronezh State Architectural and Construction University, 2008, no. 3, pp. 44–49.
3. Kovalchenko N.A., Zdorenko N.M., Burlakov N.M., Karaychentsev R.S. Plasma sputtering of non-ferrous metals on wall ceramics. International journal of experimental education, 2016, no. 11–1, pp. 81.
4. Ilyina I.A., Minko N.I., Borisov I.N., Bondarenko D.O., Skripchenko P.V. Local heat treatment of wall building materials of autoclave hardening. Modern high technologies, 2014, no. 3, pp. 165.
5. Zdorenko N.M., Ilyina I.A., Bondarenko N.I., Borisov I.N., Izofatova D.I. Formation of quality and competitiveness of wall building materials of autoclave hardening. Modern high technologies, 2014, no. 10, pp. 120.
6. Fedosov S.V., Akulova M.V., Shchepochkina Yu.A., Podlozny E.D., Naumenko N.N. Plasma fusion of building composites. Moscow: Publishing House of the DIA; Ivanovo: IGASU Publ., 2009, 228 p.
7. Volokitin O.G., Vereshchagin V.I., Shekhovtsov V.V. Processes for obtaining a melt from quartz

sand in aggregates of low-temperature plasma. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Series: Chemistry and Chemical Technology*, 2015, vol. 58, no. 1, pp. 62–65.

8. Bazhenov Yu.M., Fedosov S.V., Shchepochkova Yu.A., Akulova M.V. High-temperature finishing of concrete with vitreous coatings. Moscow: ASV Publ., 2005, 128 p.

9. Podlozny E.D., Mityushev V.V. Thermal conductivity of a two-layer composite rectangular plate, fused by a moving heat source. *Modern methods of designing machines: Sat. tr. BNTU. Minsk*, 2002, vol. 3, no. 1, pp. 89–99.

10. Podlozny E.D., Mityushev V.V. Temperature stresses in a half-plane with a semi-infinite crack at plasma action on composites. *Nonlinear dynamics of mechanical and biological systems: interuniversity sci. Sat. Saratov: SSTU*, 2004, pp. 63–74.

11. Bondarenko N.I., Bessmertnyi V.S., Ilyina I.A., Gaschenko E.O. Glazing of products made of concrete using a torch of low-temperature plasma. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2012, no. 2, pp. 124–127.

12. Fedosov S.V., Ibragimov A.M., Gushchin A.V. Influence of heat and moisture treatment on the strength of reinforced concrete enclosing structures

and products. *Stroitel'nyye materialy*, 2006, no. 9, pp. 7–8.

13. Fedosov S.V., Aksakovskaya L.N., Ibragimov A.M., Anisimova N.K. Mathematical modeling of heat transfer during reflow of cullet on the concrete surface. *Stroitel'nyye materialy*, 2006, no. 9, pp. 12–13.

14. Bessmertnyi V.S., Panasenkov V.A., Lyashko A.A., Antropova I.A., Ilina I.A., Tkachenko N.I., Krotova O.V. Innovative technological plasma processing of refractory nonmetallic silicate materials // *International journal of applied and fundamental research*, 2012, no. 4, pp. 40.

15. Voloshko N.I., Koval'chenko N.A., Zdorenko N.M., Kupavtsev E.I. Increase of corrosion resistance of concrete products by the method of plasma treatment. *International journal of experimental education*, 2017, no. 1, p. 114.

16. Bessmertnyi V.S., Simachev A.V., Zdorenko N.M., Rozdol'skaya I.V., Min'ko N.I., Bondarenko N.I., Bondarenko D.O. Evaluation of the competitiveness of wall building materials with glassy protective-decorative coatings obtained by plasma fusing. *Glass and Ceramics*, 2015, vol. 72, no. 1–2, pp. 41–46.

Information about the author

Diana O. Bondarenko, Research assistant.

E-mail: di_bondarenko@mail.ru

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

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Vasiliy S. Bessmertnyi, DSc, Professor.

E-mail: vbessmertnyi@mail.ru, bessmertnyy.vs@bstu.ru

Belgorod University of Cooperation, Economics and Law.

Russia, 308012, Belgorod, st. Sadovaya 116A.

Valeria V. Stroikova, DSc, Professor.

E-mail: vvstroikova@gmail.com, stroikova.vv@bstu.ru

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

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Nadezda I. Bondarenko, PhD, Assistant professor.

E-mail: bondarenko-71@mail.ru, bondarenko.ni@bstu.ru

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

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in March 2018

Для цитирования:

Бондаренко Д.О., Бессмертный В.С., Строикова В.В., Бондаренко Н.И. Процессы образования ликваций, термодиффузии и испарения в облицовочном композиционном материале при плазмохимическом модифицировании // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №7. С. 65–70. DOI: 10.12737/article_5b4f02bd57c851.94144673

For citation:

Bondarenko D.O., Bessmertnyi V.S., Stroikova V.V., Bondarenko N.I. Processes of formation of liquacia, thermosdiffusion and evaporation in facing composite material in plasmochemical modification. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2018, no.7, pp. 65–70. DOI: 10.12737/article_5b4f02bd57c851.94144673

Мирошникова О.В., аспирант,
Борисов И.Н., д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ГОРЮЧИХ ОТХОДОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА

В настоящее время мировое сообщество стремится к снижению объемов использования не возобновляемых источников энергии, таких как газ, нефть и уголь. И цементная промышленность не исключение, так как получение цемента характеризуется большим расходом энергии и тепла. Варианты решения достаточно разнообразны, от использования и модернизации технических средств, до замены топлива техногенными горючесодержащими отходами. С помощью технических средств снижение расхода топлива не всегда достижимо и возможно только в небольшой мере. А использование отходов экономически и технологически эффективно, что подтверждено опытом цементных предприятий. В данной статье рассматривается использование отходов для замены части основного технологического топлива, их влияние на технологический процесс получения клинкера, его качество и физико-механические характеристики. В качестве отходов были использованы: бумага, опилки, пластик, нефтяной кокс, углеотходы и автомобильные шины. Приведены их основные характеристики, в частности, наличие зольного остатка и теплотворная способность. Теоретически рассчитано максимально возможное количество вводимых отходов. Показаны положительные и отрицательные стороны применения этих отходов на основании отечественного и зарубежного опыта, экономическая эффективность. А также причины и возможные способы введения в зависимости от характеристик самих отходов и печных агрегатов мокрого и сухого способов производства. Пути предотвращения выбросов вредных веществ, таких как диоксины, в окружающую среду при использовании таких отходов как бутылочный пластик. Дано обоснование повышения активности клинкеров и снижения времени измельчения цемента при использовании отходов.

Ключевые слова: клинкер, цемент, горючие отходы, экономия топлива, альтернативное топливо, выгорающая добавка.

Введение. Использование отходов в технологическом процессе производства цемента является перспективным направлением, успешно применяемым во многих странах Европы и США. Причиной служит стремление к экономической выгоде и снижению экологической нагрузки на окружающую среду [1–5].

Планирование применения отходов предполагает решение какой-либо одной или нескольких технологических задач, например, замена сырьевого компонента, интенсификация процесса помола сырья, снижение тепловых затрат на обжиг клинкера, расхода топлива, количества клинкерной части в цементе и другое. В соответствии с этим отходы принято классифицировать по химическому и морфологическому составу, наличию определенных качеств и характеристик. В представленной работе были рассмотрены горючие техногенные отходы, позволяющие частично заменить основное технологическое топливо.

Основная часть. Возможны несколько агрегатов и схем использования горючих отходов в цементной печи.

При сухом способе производства:

– подача в шахту циклонного теплообменника.

– подача вместе с форсуночным топливом в зону спекания печи.

При мокром способе производства цемента:

– подача через систему шлюзовых затворов в зону декарбонизации печи;

– подача вместе с форсуночным топливом в зону спекания печи;

– подача совместно с сырьевой смесью с холодного конца печи.

В работе главным образом рассматривался мокрый способ производства, а именно подача отходов совместно с сырьевой смесью с холодного конца печи, а также для некоторых отходов по ряду причин, подача через систему шлюзовых затворов в зону декарбонизации печи.

Выбор мокрого способа обусловлен невозможностью подачи горючих отходов с сырьем в сухом способе производства из-за большой вероятности не сгорания горючего вещества. На рис.1 представлены результаты дифференциально-термического анализа используемых в работе отходов, согласно которым, выход горючего вещества из них начинается в пределах 100–450 °С. И если вводить отходы в сырьевую смесь сухого способа производства, в первом циклоне при 350 °С произойдет выход летучих веществ без

возгорания. Это может привести к потере тепла и кроме того существует вероятность взрыва в электрофилтре. Тогда как в печи мокрого способа производства температура газового потока на участке зоны подогрева на 650–850 °С выше

температуры материала. Это позволяет горючему попадать в газовую среду, и при наличии кислорода полностью сгорать. Выгорание добавки в подготовительных зонах обеспечивает лучшую тепловую подготовку материала [6].

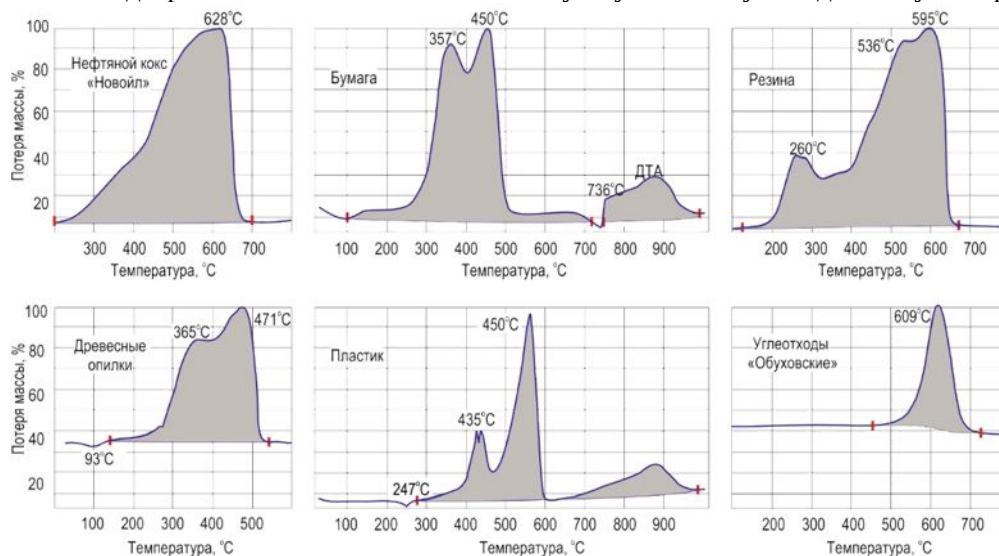


Рис. 1. Результаты дифференциально-термического анализа горючих отходов

При вводе горючего вещества в шлам нужно обеспечить кислород для горения, которое будет происходить в пламенном пространстве печи. Увеличение коэффициента избытка воздуха приводит к снижению температуры факела и, следовательно, теплообмену. В связи с чем, введение большого количества отходов таким способом

невозможно. В работе определялся коэффициент избытка воздуха, обеспечивающий необходимую теплопередачу и, следовательно, наибольшее количество вводимого горючего отхода по сухому сырью [6]. Так для нефтяного кокса «Новыйл» – 2,8 % (рис. 2а), для бумаги оно равно 7 % (рис. 2б).

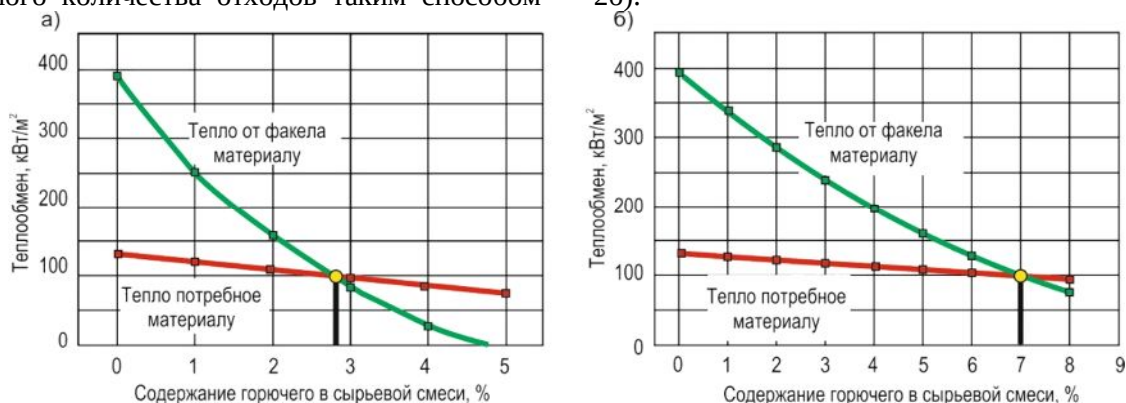


Рис. 2. Теплопередача при различной концентрации в пересчете на горючее вещество отходов:

а) нефтяного кокса «Новыйл»; б) бумаги

Углеотходы. Являются побочным продуктом добычи угля. Характеризуются высоким содержанием минеральной части, в связи с чем, первоначально использовались как замена глинистого компонента цементной сырьевой смеси.

Углеотходы «Обуховские» на 40 % состоят из кварца, каолинита, гидрослюда в виде глауконита, а также волластонита и арканита. Теплотворная способность составляет 28,1 МДж/кг. Максимально возможное вводимое количество, в сырьевую смесь, горючей части углеотходов –

3 %. Из результатов рентгеноспектрального анализа клинкеров следует, что имеются незначительные различия в минералогическом составе рядовых клинкеров и тех для получения, которых вводились углеотходы и корректирующая сырьевая смесь.

Введение углеотходов способствовало увеличению пористости клинкеров при помоле, и, следовательно, меньшему времени достижения требуемой удельной поверхности, так при введении 3 % горючего вещества по сухому сырью размоломоспособность увеличилась на 15 % [7].

Прочность на сжатие цементов, полученных с использованием углеотходов, оказалась выше по сравнению с рядовыми во все сроки твердения. Например, разность прочности на сжатие в 28 сутки твердения между рядовым и добавочным с введением 3 % горючего вещества составила 14,4 %. Вероятной причиной этому является образование клинкерных фаз, свойства которых, отличаются по причине переменного температурного поля в системе, так как происходит локальное горение углеотходов.

Нефтяной кокс. Нефтяной кокс – твердый пористый неплавкий и нерастворимый продукт от темно-серого до черного цвета, получаемый при коксовании нефтяного сырья. Характеризуется небольшим содержанием зольной части и высокой тепловой способностью. К недостаткам можно отнести повышенное содержание серы (от 3 до 5 %) и тяжелых металлов ($RT < 1800$ ppm) [8–10].

В работе использовался нефтяной коксик «Новыйл». Теплотехнические расчеты позволяют введение в сырьевой шлам до 2,8 % кокса с обеспечением требуемой теплопередачи тепла.

При подаче в сырьевой шлам 2,8 % кокса с зольностью около 0,6 % количество минеральной составляющей в нем составит менее 0,02 % и, следовательно, при этом реально не изменится химический состав клинкера. Кроме того, становится неактуальным главный недостаток кокса, а именно, содержание серы и тяжелых металлов будет незначительным.

Нефтяной кокс, вследствие высокой теплоты сгорания, может быть успешно использован для замены до 23 % основного технологического топлива путем подачи его в сырьевой шлам при мокром способе производства цемента. Во все сроки

твердения при добавлении в шлам нефтяного кокса наблюдается повышение активности клинкера [11].

Шины. Шины один из наиболее высококалорийных видов альтернативного топлива, кроме того отличается легкодоступностью. Достаточно быстрое горение покрывшек обеспечивается его химическим составом, они на 87 % и более состоят из кислорода и углерода. Наличие в шинах железного корда дает возможность замены некоторого количества железосодержащего компонента при обжиге клинкера. Теплотворная способность резины (без металлического корда) составляет более 30 МДж [12].

По использованию автомобильных шин при производстве цемента выработан многолетний мировой опыт. В связи с чем, было решено осуществлять ввод резиновой шины в цементную вращающуюся печь мокрого способа производства в высокотемпературную область, где температура превышает 900 °С или в декарбонизатор сухого способа производства. Так обеспечивается полное выгорание горючей составляющей автомобильной шины при данных характеристиках горения отхода и температурных условиях во вращающейся печи мокрого способа производства и декарбонизатора сухого способа производства.

Резиновые шины подавались в сырьевую смесь в количестве 1,5 и 2,0 % горючего вещества по сухому сырью.

Содержание золы у резиновой шины составляет 4,65 %, при введении небольшого количества отхода до 2 % ГВ, зола не повлияла на расчетный химический состав смесей, поэтому пересчет сырьевых смесей не производился.

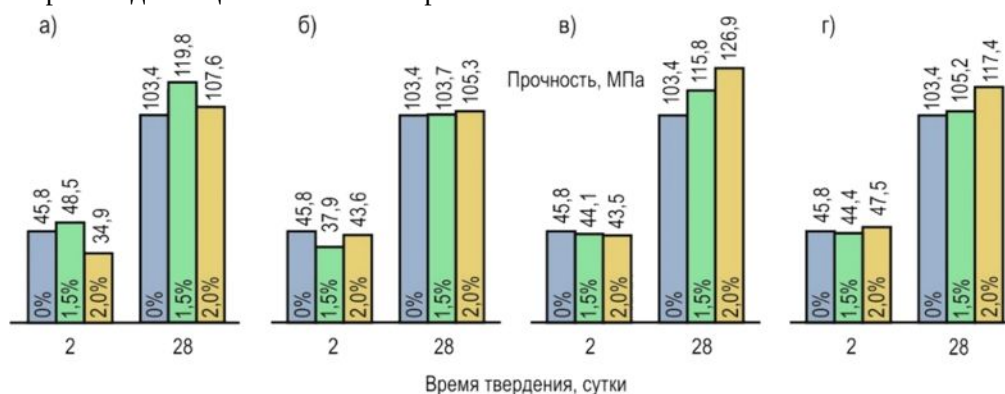


Рис. 3. Активность клинкера на 2 и 28 суток гидратации при введении горючих отходов: а) автомобильной шины; б) опилок; в) бумаги; г) пластика

Качество клинкера не снизилось в результате ведения в цементную печь покрывшек (рис.3а). При этом возможно снижение затрат при производстве клинкера на потребление при-

родного газа примерно на 12 %, с учетом организации бесплатного сбора и доставки шин на предприятие.

Древесные отходы. Состав органической массы древесины практически постоянен и

только в небольшой степени зависит от породы дерева. Влажность древесины находится в пределах 50–60 %, а содержание зольной части не более 1 %. В реальных условиях данные показатели могут значительно изменяться. Теплотворная способность древесных отходов примерно 18 МДж/кг [13].

Рядовой и экспериментальные клинкера были получены при введении в сырьевые смеси 0 %, 1,5 %, 2 % горючего вещества опилок по сухому сырью.

Выгорающая добавка – опилки, вследствие незначительного содержания зольной части, не оказала воздействия на активность клинкера. А предварительный экономический эффект составить около 12 %.

ТБО: бумага, пластик. Твердые бытовые отходы (ТБО) – это отходы бытовых предметов, которые после использования выбрасывают, таких как упаковка продукта, мебели, одежды, бутылки, пищевые отходы, газеты, бытовая техника краски и батареи [14].

В работе было отдельно рассмотрено введение бумаги и пластика.

Бумага – горючий отход потребления всех видов бумаги и картона. Теплотворная способность бумаги составляет 12,4 МДж/кг, зольность – 10,1 %. Бумага вводилась в количестве 1,5 и 2 %. При этом отсутствовала потребность в корректировке сырьевых смесей.

Введение бумаги в количестве 1,5 и 2,0 % горючего вещества по сухому сырью позволило повысить прочность цементного камня соответственно на 10,7 % и 18,5 % (рис. 3в). Предварительный экономический эффект составил около 7 %.

Сжигание пластика в обычных котлах затруднено с точки зрения образования вредных выбросов, наиболее безопасным является сжигание их во вращающихся печах при производстве цемента, так как температура горения составляет свыше 1450 °С, при этой температуре наиболее токсичные вещества – диоксины и др. не будут образовываться, поскольку диоксины начинают разлагаться при температуре свыше 800 °С [15]. Цементная печь дает возможность обеспечить длительность пребывания газов более 2 сек. в зоне печи с температурой не менее 850 °С. В результате не произойдет образование диоксинов, а тяжелые металлы в топочном пространстве перейдут в клинкер, образуя с входящими в клинкер минералами химические соединения. По этим причинам ввод пластика осуществлялся в горячий конец печи.

В 28 суточном возрасте происходит увеличение активности экспериментальных клинкеров

по сравнению с рядовым (рис. 3г). Некоторое повышение активности клинкеров можно объяснить изменением протекания физико-химических процессов обжига цементного клинкера, при наличии и отсутствии пластика. Экономический эффект составил 15 %.

Выводы. Использование представленных отходов способствовало экономии основного технологического топлива, при сохранении, а иногда и повышении качества клинкера.

1. Согласно теплотехническим расчетам обеспечить теплообмен в пламенном пространстве печи можно при введении горючей части отходов в количестве, не превосходящем для нефтяного кокса – 2,8 %, бумаги – 7 %, углеотходов из шахтоуправления «Обуховская» – 3 %, и 4,7 % древесных опилок. Резиновую шину и пластик вводить рекомендуется в горячий конец печи, на основании литературных данных оно наиболее эффективно.

2. Небольшое содержание зольной части техногенных отходов дало возможность не корректировать сырьевые смеси, исключением стали углеотходы «Обуховские». Кроме того происходит увеличение активности клинкеров, получение которых сопровождалось введением следующих отходов, по сравнению с рядовыми клинкерами: нефтяной кокс до 10,6 %; углеотходы до 14,4 %; бумаги до 18,5 %; пластика до 11,9 %. Автомобильные шины и опилки не оказали влияния на активность клинкера.

3. Минералогические составы клинкеров различаются незначительно. При этом полифракционный состав основных клинкерных минералов, стал основным фактором, который смог повлиять на рост прочности цементного камня с использованием отходов. Так, к примеру, у клинкеров, сырьевая смесь которых приготавливалась с добавлением нефтяного кокса и углеотходов.

4. Важнейшей характеристикой эффективности использования отходов, как горючесодержащих отходов, есть экономия основного топлива. По этому показателю из всех рассмотренных в работе отходов является введение 2,8 % горючего вещества нефтяного коксика по сухому сырью, экономия природного газа может достигать 39 м³ природного газа с 1 т клинкера.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шубин В.И. Применение техногенных материалов, в том числе и горючих отходов при производстве цемента // Цемент Информ. 2014. №1. С. 3–8.
2. Скупин Л. Использование альтернативных видов топлива // Цемент. 2013. №4. С. 130–132.

3. Айхас К., Виноградов К.А., Корнеев В.В. Предварительное технико-экономическое обоснование по организации комплексного предприятия по подготовке отходов для утилизации в производстве цемента // Цемент Информ. 2014. №1. С. 34–38.
4. Rivero R., Del Rio R. An advanced technological strategy for energy and the environment // Strategic Planning for energy and the environment. 2000. Vol. 19. № 3. P. 9–24.
5. Князев Я.И., Желтобрюхов В.Ф. Мировой опыт использования ТБО для цементной промышленности // Цемент Информ. 2014. №1. С. 66–73.
6. Классен В.К., Борисов И.Н., Мануйлов В.Е. Техногенные материалы в производстве цемента. Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. 126 с.
7. Мирошникова Ю.В., Мирошникова О.В., Классен В.К. Влияние введенных в сырьевой шлам углеотходов на качество цементного клинкера // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №11. С. 159–163.
8. Борисов И.Н., Мандрикова О.С., Мишин Д.А. Нефтяной кокс – альтернативное топливо для цементной вращающейся печи [Электронный ресурс]. Современные проблемы науки и образования. 2014. №6. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=16660> (дата обращения: 20.05.2018).
9. Мандрикова О.С., Борисов И.Н. Применение топливосодержащих отходов в производстве цемента // Цемент Информ. 2014. № 1. С. 9–11.
10. Tokheim L.-A, Dr.-Ing. Kiln system modification for increased utilization of alternative fuels as Norcem Brevik // Cement international. 2006. №4. Vol. 4. С. 52–59.
11. Классен В.К., Мирошникова О.В. Зависимость активности цементного клинкера от вводимого в сырьевой шлам нефтяного кокса // Техника и технология силикатов. 2017. №4. С. 2–6.
12. Бушихин В.В., Ломтев А.Ю., Колтон Г.П. Вовлечение в хозяйственный оборот резиновой крошки и альтернативных видов топлива // Экология производства. 2014. №10. С. 59–62.
13. Отходы деревообработки. Утилизация и переработка отходов [Электронный ресурс]. URL: <http://greenologia.ru/othody/derevoobrabotka> (дата обращения: 5.04.2018).
14. Бушихин В.В., Полозов Г.М., Кайгородов О.Н., Федосеев О.Е. Традиционные энергоносители и альтернативное топливо // Цемент. 2013. №1. С. 80–84.
15. Здоров А.И. Златковский А.Б. Современные направления экономии энергоресурсов в цементной промышленности Украины [Электронный ресурс]. Строительные материалы и изделия. 2007. URL: <http://sbcmi.ru/sovremennye-napravleniya-ekonomii-energoresursov-v-tsementnoj-promyshlennosti-ukrainy> (дата обращения 18.04.2018).

Информация об авторах

Мирошникова Оксана Викторовна, аспирант кафедры технологии цемента и композиционных материалов.

E-mail: miroshnikova.oksana@list.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

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

Борисов Иван Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии цемента и композиционных материалов.

E-mail: borisov@intsel.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

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

Поступила в мае 2018 г.

© Мирошникова О.В., Борисов И.Н., 2018

O.V. Miroshnikova, I.N. Borisov

THE USE OF VARIOUS TYPES OF COMBUSTIBLE WASTE IN CEMENT PRODUCTION

The global community is committed to the reduction of usage of non-renewable energy sources such as gas, oil and coal. The cement industry is no exception, as cement production is characterized by increased consumption of energy and heat. Solutions vary from the use and modernization of technical means to the replacing the fuel with technogenic waste with combustibles. It is not always possible to cut down fuel consumption via technical means or it can be done partially. The use of waste is economically and technologically effective, as confirmed by the experience of cement plants. This article describes waste using to partially replaced primary process fuel, its effect on the clinker production process, its quality and physical-mechanical characteristics. The following types of waste were used: paper, sawdust, plastics, petroleum coke, coal mining waste, and tires. It describes their main properties, in particular, the presence of ash residue and a calorific value. The maximum possible amount of waste has been theoretically calculated. The article covers pros and

cons of using these types of waste, based on domestic and foreign experience, as well as economic efficiency, reasons and possible ways of their introduction, depending on the characteristics of waste and furnaces for wet and dry production. Ways to prevent emissions of harmful substances, such as dioxins, into the environment during the use of such waste as plastic bottles. The articles includes a rationale for increasing the activity of clinkers and reducing the time of cement grinding using waste.

Keywords: clinker, cement, combustible waste, fuel saving, alternative fuel, burnable additive.

REFERENCES

1. Shubin V.I. The use of technogenic materials, including combustible waste, during cement production. *Cement Inform*, 2014, no. 1, pp. 3–8.
2. Skupin L. The use of alternative fuels. *Cement*, 2013, no. 4, pp. 130–132.
3. Aikhas K., Vinogradov K.A., Korneyev V.V. Pre-feasibility study for an integrated enterprise preparing waste for utilization in cement production. *Cement Inform*, 2014, no. 1, pp. 34–38.
4. Rivero R., Del Rio R. An advanced technological strategy for energy and the environment. *Strategic Planning for energy and the environment*, 2000, vol. 19, no. 3, pp. 9–24.
5. Knyazev Y.I., Zheltobryukhov V.F. International experience of using MSW for cement production. *Cement Inform*, 2014, no. 1, pp. 66–73.
6. Klassen V.K., Borisov I.N., Manuilov V.Ye. Technogenic materials in cement production. Belgorod: BSTU. 2008, 126 p.
7. Miroshnikova Yu.V., Miroshnikova O.V., Klassen V.K. The impact of coal waste, introduced in raw slurry, on the quality of cement clinker. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2016, no. 11, pp. 159–163.
8. Borisov I.N., Mandrikova O.S., Mishin D.A. Petroleum coke – alternative fuel for a cement rotary kiln. *Architecton: modern problems of science and education*, 2014, no. 6. Available at: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=16660> (accessed 20.05.2018).
9. Mandrikova O.S., Borisov I.N. The use of fuel-containing waste in cement production. *Cement Inform*, 2014, no. 1, pp. 9–11.
10. Tokheim L.-A, Dr.-Ing. Kiln system modification for increased utilization of alternative fuels as Norcem Brevik. *Cement international*, 2006, no. 4, vol. 4, pp. 52–59.
11. Klassen V.K., Miroshnikova O.V. The dependence of the activity of cement clinker on petroleum coke, added to raw slurry. *Equipment and Technology of Silicates*, 2017, no. 4, pp. 2–6.
12. Bushikhin V. V., Lomtev A. Yu, Kolton G.P. Including rubber granules and alternative fuels in the economic turnover. *Ecology of Production*, 2014, no. 10, pp. 59–62.
13. Woodworking waste. Disposal and recycling. Available at: <http://greenologia.ru/othody/derevoobrabotka> (accessed 5.04.2018).
14. Bushikhin V.V., Kaigorodov O.N., Polozov G.M., Fedoseyev O.Ye. Traditional energy carriers and alternative fuel. *Cement*, 2013, no. 1, pp. 80–84.
15. Zdorov A.I., Zlotkovsky A.B. Modern energy saving trends in the cement industry of Ukraine. *Architecton: Building materials and products*. 2007. Available at: <http://sbcmi.ru/sovremennye-napravleniya-ekonomii-energoresursov-v-tsementnoj-promyshlennosti-ukrainy> (accessed 18.04. 2018).

Information about the author

Oksana V. Miroshnikova, Postgraduate student.

E-mail: miroshnikova.oksana@list.ru

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

Ivan N. Borisov, DSc, professor.

E-mail: borisov@intsel.ru

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

Received in May 2018

Для цитирования:

Мирошникова О.В., Борисов И.Н. Использование различных горючих отходов в производстве цемента // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №7. С. 71–76. DOI: 10.12737/article_5b4f02bef029e8.04326623.

For citation:

Miroshnikova O.V., Borisov I.N. The use of various types of combustible waste in cement production. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2018, no.7, pp. 71–76. DOI: 10.12737/article_5b4f02bef029e8.04326623.

¹Федюк Р.С., канд. техн. наук,¹Мочалов А.В., соискатель,²Лесовик В.С., член-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф.,²Гридчин А.М., д-р техн. наук, проф.,³Фишер Х.-Б., Dr.-Ing.¹Дальневосточный федеральный университет²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова³Баухаус университет Веймара

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ВЯЖУЩИЕ И САМОУПЛОТНЯЮЩИЕСЯ ФИБРОБЕТОНЫ ДЛЯ ЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Разработано композиционное вяжущее, полученное совместным помолом (до 550–600 м²/кг): 52,5 % цемента, 31 % золы рисовой шелухи, 10,5 % кварцевого песка и отсева дробления известняка и 6 % гиперпластификатора. Выявлен характер влияния композиционного вяжущего на реологические и физико-механические характеристики самоуплотняющихся бетонных смесей и фибробетонов. Выявлено, что применение разработанного композиционного вяжущего способствует образованию более плотной микроструктуры, при этом четко различимы системы игольчатых и пластинчатых новообразований, заполняющих поры. Это способствует формированию жесткой матрицы с меньшим количеством пор, что и предопределяет повышение прочности при сжатии цементного камня. Применение композиционного вяжущего позволяет повысить физико-механические характеристики бетона, по сравнению с аналогичными составами, изготовленными с применением традиционных вяжущих. Результаты исследований реологических характеристик показали, что все смеси КВ отвечают требованиям текучести и сопротивляемости расслоению для самоуплотняющихся бетонных смесей. Полученные характеристики ударной выносливости разработанных фибробетонов позволяют применять данный материал для защитных сооружений.

Ключевые слова: композиционные вяжущие, техногенное сырье, зола рисовой шелухи, самоуплотняющиеся бетоны, фибробетоны.

Введение. Бетоны для защитных сооружений в связи с участвовавшими природными (в т. ч. глобальным изменением климата) и техногенными (в т. ч. нарастанием международной напряженности и террористическими актами) катастрофами приобретают особую значимость. Для этих бетонов необходим особый набор характеристик – прочность на сжатие, ударная выносливость, трещиностойкость, непроницаемость, удобоукладываемость.

Таким образом, представляется целесообразной разработка перспективных композиционных вяжущих с использованием отходов растениеводства для повышения эффективности самоуплотняющихся фибробетонов на их основе.

В ранее выполненных исследованиях [1–5] были разработаны теоретические основы создания композиционных вяжущих (КВ) с использованием в качестве активных кремнеземсодержащих компонентов отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов, отсевов дробления кварцитопесчанника, доменных шлаков, вулканического пепла и др. Однако, вопрос применения новых видов нанодисперсных минеральных добавок, а также принципы их совместимости для обеспечения требуемых эксплуатационных характеристик КВ изучены недостаточно.

Для расширения использования КВ в строительстве необходимо исследование композиций из портландцемента и многокомпонентных тонкодисперсных минеральных и органических добавок для получения требуемых свойств вяжущих и композитов на их основе для защитных сооружений.

В связи с вышеизложенным в работе формулируется рабочая гипотеза о том, что применение золы рисовой шелухи (ЗРШ) в сочетании с портландцементом, кварцевым песком, известняком и эффективными для базового портландцемента гиперпластификатором позволит получить композиционное вяжущее, которое повысит качество высокоподвижной бетонной смеси, в дальнейшем позволит получить высокопрочные бетоны за счет обеспечения повышенного сцепления цементного камня с заполнителем вследствие применения ЗРШ, регулирования поровой структуры, собственных и вынужденных деформаций вследствие применения КВ.

Методология. План исследований приведен на рис. 1.

Минеральный состав исходных компонентов получен путем обработки рентгенограмм методом полнопрофильного количественного анализа.

Гранулометрический состав порошкообразных материалов определяли методом лазерной гранулометрии, позволяющим непосредственно

определять размеры частиц и процент их содержания в анализируемом материале.



Рис. 1. План исследований композиционного вяжущего и бетонов на его основе

Исследование морфологических особенностей микроструктуры проводилось с помощью сканирующего электронного микроскопа Carl Zeiss CrossBeam 1540XB. Дериватограммы образцов были получены на термогравиметрическом анализаторе Shimadzu DTG-60H.

Удельная поверхность вяжущих, а также используемых минеральных добавок измерялась, согласно ГОСТ 310.2-76, с помощью прибора ПСХ-11. Нормальная плотность цементного теста определялась при помощи прибора Вика. Для исследования вязкости бетонных смесей использовали ротационный вискозиметр «НААКЕ RheoStress 600» с измерительной системой FL22 (пропеллерного типа).

Испытания самоуплотняющихся бетонных смесей (СУБС) проводили, как по ГОСТ 10181-2000 «Смеси бетонные. Методы испытаний», так и по международным нормативным документам. Сначала определялся расплав конуса (мм) и время, затраченное на достижение расплава стандартного конуса бетонной смеси до диаметра 500 мм (сек), то есть мера скорости.

Далее смеси подвергались следующим тестам:

1. Испытание самоуплотняющейся бетонной смеси в V-образной воронке (V-funnel test).
2. Испытание самоуплотняющейся бетонной смеси в L-образном ящике (L-box).
3. Испытание самоуплотняющейся бетонной смеси в U-образном ящике (U-box).
4. Исследование расслоения смеси с использованием колонки Static Segregation Column Mold– HC-3666.

Основная часть. При получении риса каждый год в качестве отходов складывается около

100 миллионов тонн рисовой шелухи, из которой можно синтезировать почти пятнадцать миллионов тонн аморфного кремнезема. Кроме того, с позиции защиты окружающей среды, утилизация отходов является одной из приоритетных задач. Успешной реализацией этой задачи может служить применение ЗРШ в качестве альтернативного материала при производстве бетонов.

В Институте химии ДВО РАН под руководством Л.А. Земнуховой [7-8] был получен аморфный кремнезем термическим способом и осаждением из рисовой шелухи.

Для достижения цели работы было разработано композиционное вяжущее, полученное совместным помолом следующих компонентов: 60 % цемента, 25 % золы рисовой шелухи, 5 % кварцевого песка, 5 % отсева дробления известняка, 5 % гиперпластификатора (ГП). Композиционное вяжущее измельчалось до 500–900 м²/кг. Вода добавлялась в количестве, необходимом для обеспечения одинаковой подвижности, но из расчета водовяжущего отношения не выше 0,25. Цементный камень изучался в возрасте 1,3,7,28 суток.

В качестве пластифицирующей добавки были оценены шесть наиболее распространенных на Дальнем Востоке России супер- и гиперпластификаторов. Первичные исследования были проведены только для эталонного образца, чистого ЦЕМ I. Результаты исследования текучести показаны на рис. 3. Хотя результаты для Pantarhit PC160, Melflux 5581F и Melflux 1641 F практически аналогичны, все дальнейшие эксперименты были проведены с использованием Pantarhit PC 160, ввиду более низкой стоимости данного продукта.

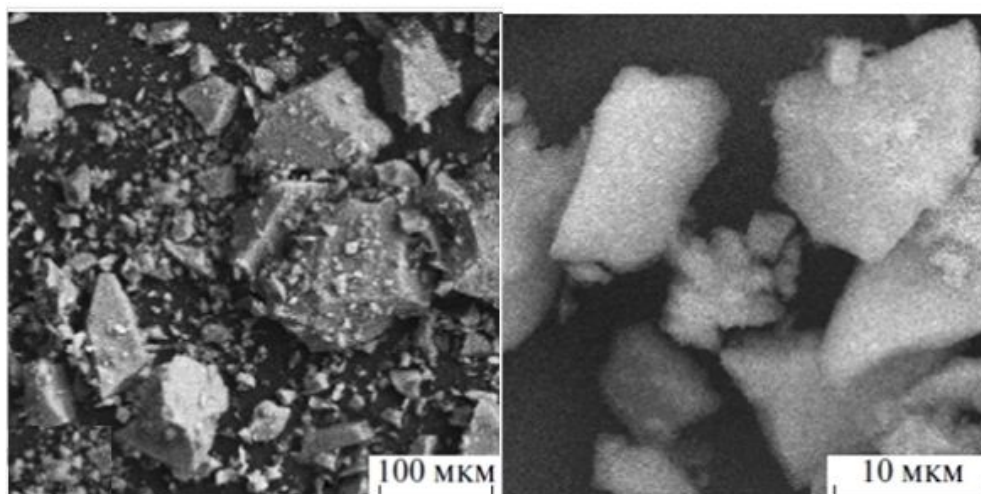


Рис. 2. Микрофотографии образцов аморфного кремнезема

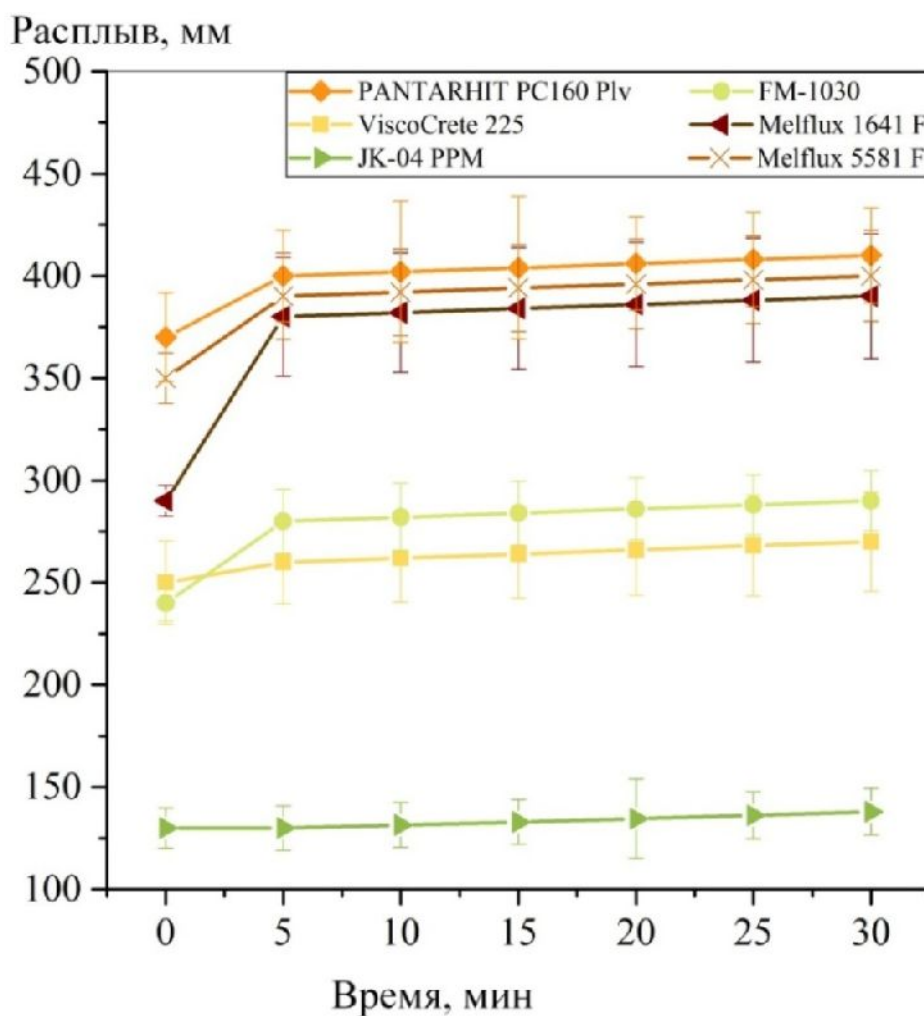


Рис. 3. Расплав цементного теста с различными гиперпластификаторами (каждая точка представляет собой среднее из шести измерений)

С целью определения максимальной эффективности действия ЗРШ на цементный камень было произведено двухфакторное варьирование: первый фактор – оптимальная дозировка (0–30 %), второй фактор – тонкость помола (500–900 м²/кг).

Установлено, наибольший рост прочности (30 %) по сравнению с контрольными образцами наблюдается в присутствии 25 % ЗРШ (рис. 4).

Далее была выявлена почти линейная зависимость требуемого времени помола КВ для достижения различной удельной поверхности в диапазоне от 280 до 900 м²/кг (рис. 5, а).

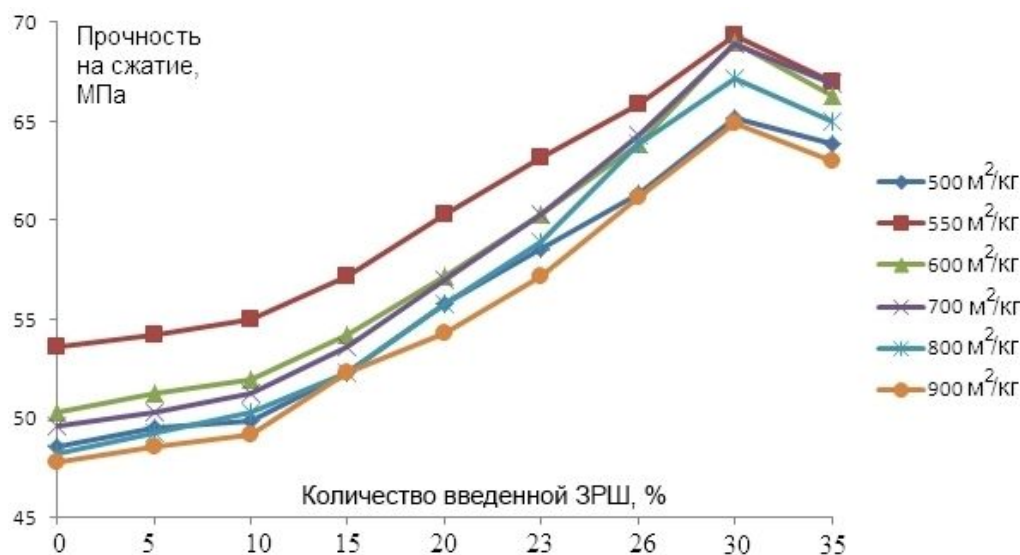


Рис. 4. Влияние золы рисовой шелухи на прочность цементного камня

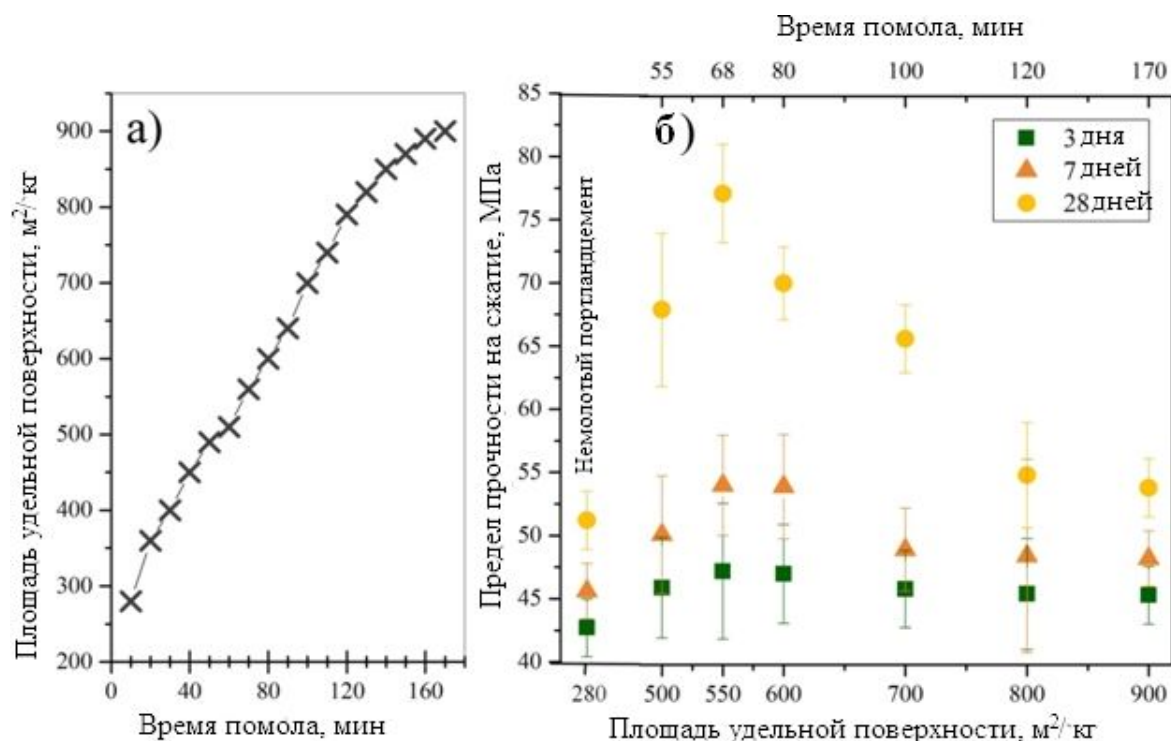


Рис. 5. Зависимость между прочностью на сжатие образцов цементного камня и площадью удельной поверхности КВ. Каждая точка представляет собой среднее из шести измерений

Очевидно, что с этими данными можно прогнозировать требуемое время измельчения для достижения определенной площади поверхности. После измельчения компонентов КВ и измерения площади поверхности, добавляли воду и измеряли прочность на сжатие в возрасте 28 дней. (рис. 5, б.) Максимальная прочность на сжатие была получена при удельной поверхности от 550 до 600 м²/кг. Дальнейшее увеличение этих показателей не приводит к росту прочности, и даже ведет к уменьшению. Это связано с превышением количества тонкодисперсных частиц, по-

тому что был достигнут предел действия гиперпластификатора, что нами было исследовано ранее [10]. Такое поведение наблюдалось также в изменении вязкости смеси, когда площадь поверхности частиц была выше 600 м²/кг. Ожидается, что увеличение количества гиперпластификатора приведет к созданию бетона с еще большей прочностью на сжатие.

Существенное повышение прочности композита можно объяснить более прочной микроструктурой синтезированных образцов, отсутствием микротрещин и разнообразием новообразований (рис. 6, а).

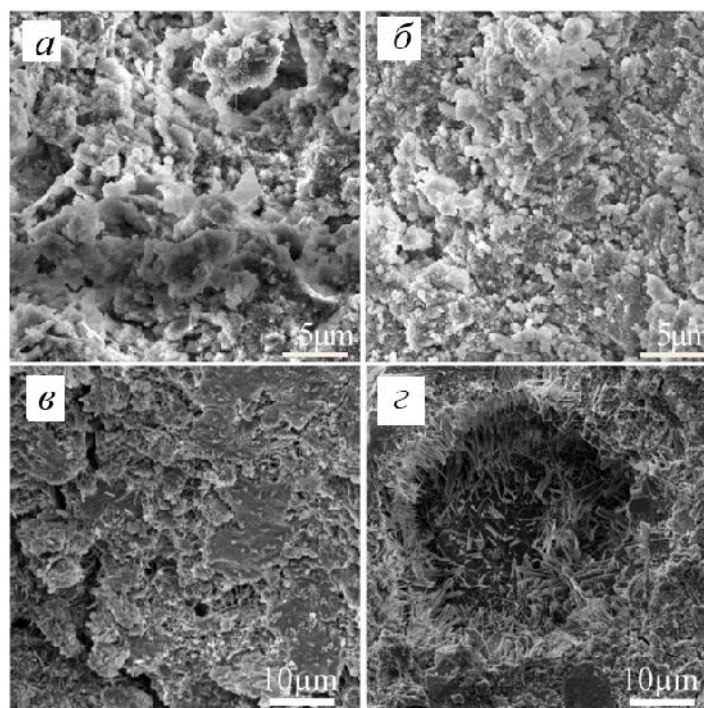


Рис. 6. Микрофотография новообразований (возраст 28 суток): чистый цементный камень (а, в) и цементный камень на разработанном KB (б, г)

Направления последующих исследований были ориентированы на разработку составов KB на основе портландцемента, ЗРШ, кварцевого песка, отсева дробления известняка и гиперпластификатора. С этой целью была запланирована матрица, где в качестве факторов варьирования были приняты: количество инертного наполнителя, включающего кварцевую муку и отсев

дробления известняка (7–14 % от массы KB) и содержание гиперпластификатора (3–9 % от массы смеси KB).

Выходным параметрам являлся показатель предела прочности при сжатии. В качестве контрольных образцов выступали цементные камни, полученные из следующих вяжущих: чистый портландцемент, портландцемент + ЗРШ, портландцемент + Pantarhit PC-160 (ПЦ+ГП) и KB (табл. 1).

Таблица 1

Контрольные составы

Вяжущее	Нормальная густота, %	Средняя плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте 28 сут.	Процентный прирост предела прочности при сжатии по отношению к чистому портландцементу
ЦЕМ I 42,5 Н	25,9	2269	43,89	–
ПЦ+31 % ЗРШ*	24,4	2359	69,02	57,26
ПЦ+ 6 % ГП	21,6	2431	60,63	38,14
KB	21,5	2340	71,21	62,25

* - добавки к цементу измельчены до удельной поверхности 550 м²/кг

Анализ полученных результатов показал (табл. 2), что максимальные показатели предела прочности при сжатии характерны для цементного камня с содержанием в вяжущем 52,5 % цемента, 31 % ЗРШ, 10,5 % комплекса инертных наполнителей и 6 % гиперпластификатора. За оптимальный принимаем состав 2-2.

Исследование физико-механических свойств мелкозернистого бетона (табл. 3) показало, что применение KB позволяет повысить

технические характеристики бетона, по сравнению с аналогичными составами, изготовленными с применением традиционных вяжущих материалов. Данный факт объясняется более плотной структурой цементного камня на разработанном композиционном вяжущем, меньшей пористостью, вследствие меньшего количества воды в бетоне. Наилучшие физико-механические характеристики показал состав 2-2. Следует отметить, что с увеличением количества золы и уменьше-

нием количества цемента для обеспечения равно-
подвижности составов (ОК=10-12), необходимо

увеличивать количество введенной в бетонную
смесь воды затворения.

Таблица 2

Результаты подбора оптимального состава КВ

№ п/п	Состав КВ				Норм. гу- стота, %	Средняя плот- ность, кг/м ³	редел прочности при сжатии, МПа
	ПЦ	КМ+О ДИ	ЗРШ	ГП			
1-1	58	7	32	3	22,3	2369	62,36
1-2	56	7	31	6	21,6	2372	63,96
1-3	54	7	30	9	20,3	2370	64,21
2-1	54,5	10,5	32	3	22,7	2336	67,36
2-2	52,5	10,5	31	6	21,5	2340	71,21
2-3	50,5	10,5	30	9	20,8	2346	66,39
3-1	51	14	32	3	23,0	2320	63,36
3-2	49	14	31	6	22,1	2323	64,65
3-3	47	14	30	9	22,6	2325	62,11

Таблица 3

Физико-механические характеристики мелкозернистого бетона в зависимости от состава вяжущего

Состав	Расход материалов на 1 м ³				Кубиковая прочность, МПа	Призменная прочность, МПа	Модуль упругости, ГПа
	Цемент, кг	Наполни- тели КВ, кг	Песок, кг	Вода, л			
1-2	646	508	1020	223	73,6	54,0	41,0
2-2	606	548	1020	231	82,6	65,2	55,3
3-2	565	589	1020	236	75,3	50,3	41,3
ЦЕМ I 42,5 Н	545	—	1634	218	62,9	41,8	35,2
ПЦ+31 % ЗРШ*	376	169	1634	241	71,2	52,3	44,0
ПЦ+6 % ГП	512	33	1634	182	65,3	49,2	41,2

* - зола рисовой шелухи измельчена до 550 м²/кг

Для установления оптимального процента
армирования мелкозернистого сталефибробетона
были заформованы образцы бетона одинакового

состава (2-2) с различным содержанием стальной
и базальтовой фибры. (рис. 7)

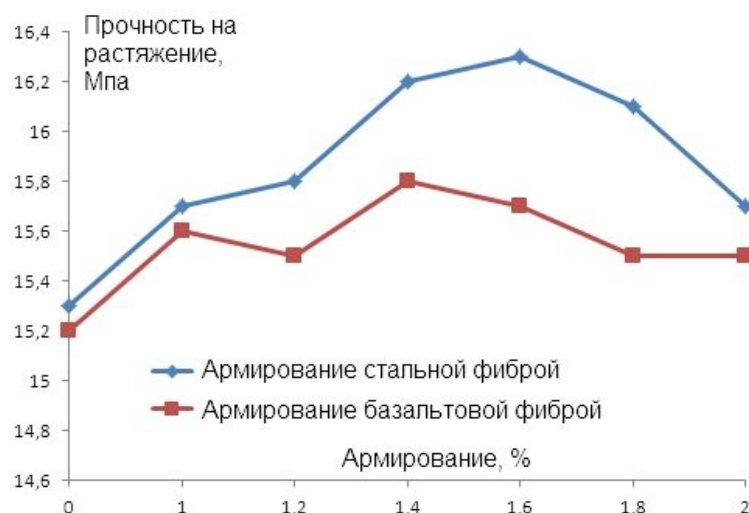


Рис. 7. Зависимость прочности на растяжение фибробетона от процента армирования различными видами фибры

Для определения удобоукладываемости все
бетонные смеси были спроектированы таким об-
разом, чтобы иметь расплыв конуса среднего
диаметра 680±30 мм, который был достигнут за
счет варьирования водовязущего отношения.
Здесь следует отметить, что увеличение содержа-

ния ЗРШ в смесях привело к снижению удобо-
укладываемости из-за более высокой удельной
поверхности частиц золы, что привело к боль-
шему водопотреблению для облегчения движе-
ния и скольжения частиц друг над другом. Как
указывалось, ранее, частицы ЗРШ измельчали,
чтобы сделать более благоприятным материалом.

Тем не менее, в ЗРШ все еще есть некоторые неизмельченные или недостаточно измельченные частицы (см. рис. 2), которые являются чрезвычайно пористыми и агломерированными, в то время как частицы портландцемента были плотнее даже чем измельченная ЗРШ. По мере увели-

чения содержания воды увеличивается пористость, что может привести к неблагоприятному влиянию на свойства бетонной смеси (рис. 8). Кроме того, полученные данные показали, что все смеси КВ отвечают требованиям текучести и сопротивляемости расслоению согласно требованиям EFNARC.

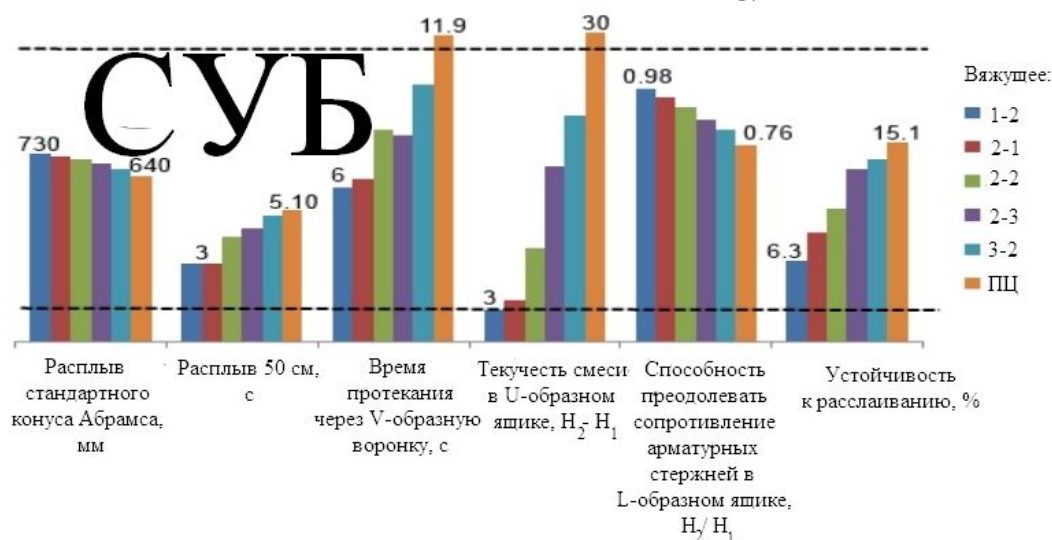


Рис. 8. Результаты исследования реологических характеристик самоуплотняющихся бетонных смесей

Для оценки стойкости фибробетона к удару были выполнены эксперименты по моделированию ударного воздействия на защитное сооружение. В качестве ударника использовался стальной цилиндр, который разгонялся в поддоне газовой пушкой калибра 20 мм с затвором диафрагменного типа. В качестве рабочего газа использовался воздух и гелий. При исследовании ударной выносливости фибробетона, армированного различными видами фибры были получены результаты, давшие 1600–1700 ударов до разрушения при 1,4–1,6 % армирования, что на 25–30 % больше по сравнению с контрольными образцами.

Выводы. Таким образом, в ходе проведения исследований было разработано композиционное вяжущее и самоуплотняющиеся фибробетоны на его основе. Применение данного композиционного вяжущего позволяет повысить эффективность самоуплотняющихся фибробетонов по различным физико-механическим и эксплуатационным характеристикам.

В частности, кубиковая прочность, призмная прочность и модуль упругости фибробетона были повышены на 50–60 %, а предел прочности на растяжение увеличен на 42 % по сравнению со стандартным железобетоном. При этом, реологические характеристики разработанных фибробетонных смесей, позволяют отнести эти смеси к классу самоуплотняющихся.

Полученные характеристики ударной выносливости разработанных фибробетонов (на 25–

30 % выше аналогичных характеристик для стандартных железобетонов) позволяют применять данный материал для защитных сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ranjbar N, Kuenzel C. Cenospheres: A review. Fuel. № 207. 2017.
2. Лесовик В.С. Геоника. Предмет и задачи. Белгород. Изд-во БГТУ. 2012. 219 с.
3. Трунов П.В., Алфимова Н.И., Лесовик В.С., Потапов В. В., Шадский Е.Е. К вопросу об использовании вулканического сырья Камчатки в качестве минеральной добавки // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. №4. С. 85–90
4. Гридчин А.М., Лесовик Р.В., Агеева М.С. Мелкозернистые бетоны для дорожного строительства на основе техногенного сырья. М., Белгород. Изд-во БГТУ, 2009. 104 с.
5. Lesovik R.V., Ageeva M.S., Shakarna M. Efficient binding using composite tuffs of the middle east // World Applied Sciences Journal. 2013. Т. 24. № 10. С. 1286–1290.
6. Баландин В.В. Установка для исследования процессов высокоскоростного соударения // Проблемы прочности и пластичности. №75 (3). 2013. С. 232–237.
7. Земнухова Л.А., Панасенко А.Е., Цой Е.А., Федорищева Г.А., Шапкин Н.П., Артемьянов А.П., Майоров В.Ю. Состав и строение образцов аморфного кремнезема // Неорганические материалы. Т. 50. № 1. 2014. С. 82–89.

8. Земнухова Л.А., Бабушкина Т.А., Климова Т.П., Холомейдик А.Н. Пористая структура образцов аморфного кремнезёма разного происхождения по данным ЯМР ^1H // Журнал прикладной химии. 2010. Т. 83. № 2. С. 203–206.

9. Земнухова Л.А., Егоров А.Г., Федорищева Г.А. и др. Свойства аморфного кремнезёма, полученного из отходов переработки риса и овса // Неорганические материалы. 2006. Т. 42. № 1. С. 27–32.

10. Федюк Р.С. Повышение непроницаемости фибробетонов на композиционном вяжущем: дисс. ...к.т.н.. Улан-Удэ, 2016.

11. Федюк Р.С., Смоляков А.К., Тимохин Р.А. Строительные материалы для войсковой фортификации // XVIII Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов в г. Нерюнгри, с международным участием, посвященной 25-летию со дня образования Технического института (филиала) СВФУ. Материалы конференции. Секции 1-3. 2017. С. 109–113.

Информация об авторах

Федюк Роман Сергеевич, кандидат технических наук, доцент Отдела подготовки инженерных войск Учебного военного центра при ДВФУ.

E-mail: roman44@yandex.ru

Дальневосточный Федеральный университет
690001, г. Владивосток, ул. Экипажная, 18

Мочалов Александр Викторович, соискатель.

E-mail: roman44@yandex.ru

Дальневосточный Федеральный университет
690001, г. Владивосток, ул. Экипажная, 18

Лесовик Валерий Станиславович, доктор технических наук, профессор.

E-mail: naukavs@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Гридчин Анатолий Митрофанович, доктор технических наук, профессор.

E-mail: prezident@intbel.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Фишер Ханс-Бертрам, доктор-инженер.

E-mail: hans-bertram.fischer@uni-weimar.de

Баухауз-Университет Ваймар.
Германия, 899423, Веймар, Geschwister-Scholl-Straße 8.

Поступила в апреле 2018 г.

© Федюк Р.С., Мочалов А.В., Лесовик В.С., Гридчин А.М., Фишер Х.-Б., 2018

R.S. Fedyuk, A.V. Mochalov, V.S. Lesovik, A.M. Gridchin, H.-B. Fisher **COMPOSITE BONDING AND SELF-FITTING FIBROBETONS FOR PROTECTIVE FACILITIES**

A composite binder was prepared, obtained by joint grinding (up to 550–600 m²/kg): 52.5 % of cement, 31 % of rice husks, 10.5 % of quartz sand and screening of limestone and 6 % of hyperplasticizer. The nature of the effect of composite binder on the rheological and physico-mechanical characteristics of self-compacting concrete mixtures and fiber-reinforced concrete has been revealed. It has been revealed that the use of the developed composite binder promotes the formation of a denser microstructure, while the needle and lamellar neoplasms filling the pores are clearly distinguishable. This contributes to the formation of a rigid matrix with a smaller number of pores, which predetermines the increase in strength when compressing cement stone. The use of composite binder allows to increase physical and mechanical characteristics of concrete, in comparison with similar compositions made with the use of traditional binders. The results of studies of rheological characteristics showed that all mixtures of HF meet the requirements of fluidity and resistance to delamination for self-compacting concrete mixtures. The obtained characteristics of shock endurance of the developed fiber-reinforced concrete allow using this material for protective structures.

Keywords: composite astringents, technogenic raw materials, rice husks, self-compacting concretes, fiber-reinforced concrete.

REFERENCES

1. Ranjbar N., Kuenzel C. Cenospheres: A review. *Fuel*. № 207. 2017.
2. Lesovik V.S. Geonics. Subject and tasks. Belgorod: BGTU. 2012, 213 p.
3. Trunov P.V., Alfimova N.I., Lesovik V.S., Potapov V.V., Shadsky E.E. On the use of volcanic raw materials of Kamchatka as a mineral additive. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2014, no. 4, pp. 85–90.
4. Gridchin A.M., Lesovik R.V., Ageeva M.S. Melkozernistye betony dlya dorozhnogo stroitel'stva na osnove tekhnogennogo syr'ya : monografiya. M., Belgorod. Izd-vo BGTU, 2009. 104 p.
5. Lesovik R.V., Ageeva M.S., Shakarna M. Efficient binding using composite tuffs of the middle east. *World Applied Sciences Journal*, 2013, vol. 24, no. 10, pp. 1286–1290.
6. Balandin V.V. A setup for investigating the processes of high-velocity collision. *Problems of Strength and Plasticity*, 2013, no. 75 (3), pp. 232–237.
7. Zemnukhova L.A., Panasenkov A.E., Tsoy E.A., Fedorischeva G.A., Shapkin N.P., Artemyanov A.P., Mayorov V.Yu. Composition and structure of samples of amorphous silica. *Inorganic materials*, 2014, vol. 50, no. 1, pp. 82–89.
8. Zemnukhova L.A., Babushkina T.A., Klimova T.P., Kholomedik A.N. Porous structure of samples of amorphous silica of different origin according to NMR ¹H. *Journal of Applied Chemistry*, 2010, vol. 83, no. 2, pp. 203–206.
9. Zemnukhova L.A., Egorov A.G., Fedorischeva G.A. et al. Properties of Amorphous Silica, Obtained from Waste from Processing Rice and Oat. *Inorganic Materials*, 2006, vol. 42, no. 1, pp. 27–32.
10. Fediuk R.S. Increase of impermeability of fiber-reinforced concrete on composite binder: diss. Ph.D. Ulan-Ude, 2016.
11. Fediuk R.S., Smoliakov A.K., Timokhin R.A. Building materials for military fortification // XVIII All-Russian scientific-practical conference of young scientists, graduate students and students in Neryungri, with international participation, dedicated to the 25th anniversary of the formation of the Technical Institute (branch) NEFU Conference proceedings. Sections 1-3. 2017, pp. 109–113.

Information about the author

Roman S. Fediuk, PhD, Assistant professor.

E-mail: roman44@yandex.ru

Far Eastern Federal University.

Russia, 690001, Vladivostok, st. Crew, 18.

Alexander V. Mochalov, applicant.

E-mail: roman44@yandex.ru

Far Eastern Federal University.

Russia, 690001, Vladivostok, st. Crew, 18

Valery S. Lesovik, DSc, Professor.

E-mail: naukavs@mail.ru

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

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Anatoly M. Gridchin, DSc, Professor

E-mail: prezident@intbel.ru

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

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Hans-Bertram Fischer, Dr.-Ingenieur

E-mail: hans-bertram.fischer@uni-weimar.de

Bauhaus-Universität Weimar.

Germany, 999423, Weimar, Geschwister-Scholl-Straße 8.

Received in April 2018

Для цитирования:

Федюк Р.С., Мочалов А.В., Лесовик В.С., Гридчин А.М., Фишер Х.-Б. Композиционные вяжущие и самоуплотняющиеся фибробетоны для защитных сооружений // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №7. С. 71–76. DOI: 10.12737/article_5b4f02bf93df52.30110991.

For citation:

Fedyuk R.S., Mochalov A.V., Lesovik V.S., Gridchin A.M., Fisher H.-B. Composite bonding and self-fitting fibrobetons for protective facilities. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2018, no.7, pp. 71–76. DOI: 10.12737/article_5b4f02bf93df52.30110991.

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.12737/article_5b4f02c028e513.07525318

Яцун С.Ф., д-р техн. наук, проф.,
Ворочаева Л.Ю., канд. техн. наук, доц.,
Мальчиков А.В., канд. техн. наук, доц.,
Политов Е.Н., канд. техн. наук, доц.
Юго-Западный государственный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ ТРЕХЗЕННОГО РОБОТА С ДВУХКООРДИНАТНЫМИ ШАРНИРАМИ ПО ШЕРОХОВАТОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В работе представлена конструкция трехзвенного ползающего робота с двухкоординатными сочленениями звеньев, позволяющими устройству перемещаться по шероховатой поверхности за счет изменения формы корпуса, а также благодаря управлению коэффициентом трения в опорах центрального звена. Осуществлен переход к расчетной схеме устройства, введены допущения, используемые при разработке математической модели, приведено описание поэтапной походки робота, которая характеризуется противофазными движениями боковых звеньев относительно центрального в горизонтальной плоскости и синфазными - в вертикальной. а также разработана математическая модель движения объекта. Приведено описание прототипа ползающего робота, представлен сравнительный анализ результатов натурных экспериментов и данных, полученных в ходе численного моделирования, установлено влияние на среднюю скорость движения робота коэффициента трения между опорами центрального звена и поверхностью.

Ключевые слова: трехзвенный ползающий робот, фрикционные опоры, управление коэффициентом трения, этапы движения, экспериментальный стенд.

Введение. В настоящее время интенсивно растёт число роботов, разрабатываемых на основе принципов движения живых организмов. Подобные устройства доказали свою эффективность в разнообразных условиях эксплуатации. Одним из распространенных типов таких устройств являются ползающие роботы, чаще всего состоящие из нескольких звеньев и соединяющих их шарниров, в которых размещены приводы. Такая конструкция позволяет звеньям совершать движения относительно друг друга, реализуя различные варианты походки, в том числе имитирующие перемещение гусениц, червей и змей, перемещаться как по поверхностям, так и внутри труб.

Остановимся на более детальном рассмотрении некоторых работ, посвященных многозвеным ползающим роботам. В [1] рассматривается червеподобный робот, состоящий из пяти одинаковых модулей и одного головного, оснащенного видеокамерой, предназначенный для перемещения по горизонтальным и вертикальным трубопроводам, а также обладающий способностью преодолевать соединения труб между собой. Работа [2] посвящена разработке алгоритма движения ползающего змееподобного робота по поверхности с препятствиями, за счет большого

числа звеньев, соединенных между собой шарнирами, траектория перемещения робота плавная. Другой змееподобный робот представлен в [3], данное устройство выполнено в виде последовательно соединенных между собой шарнирами параллельных механизмов, оснащенных рычагами, позволяющими секциям упираться в стенки труб и продвигаться вперед, проведенные исследования показали высокую проходимость робота в местах стыка труб. Робот-змея для перемещения по кабелям и мониторинга их состояния описан в [4], робот состоит из одинаковых секций, число которых можно изменять в зависимости от длины кабеля. Работы [5–7] посвящены разработке систем управления ползающими многозвеными роботами, причем в [5] рассматривается робот-змея, а в [6, 7] – робот-гусеница. В статье [8] внимание уделено вопросам управляемого движения плоских многозвенных механизмов по горизонтальной плоскости при наличии сил сухого трения. Исследования движения трехзвенного робота в среде с сопротивлением описаны в [9–11]. Так в [9] представлено решение задачи оптимального перемещения центрального звена робота между двумя заданными положениями на плоскости, в [10] определены законы управления перемещением звеньев, обеспечивающие максимальную среднюю скорость робота.

Несмотря на большое число работ, посвященных ползающим роботам, большинство из них являются теоретическими, в них слабое внимание уделено разработке систем управления движением таких устройств, учитывающих особенности динамики роботов, обусловленные их конструкцией и взаимодействием с опорной поверхностью. Также необходимо отметить, что практически не рассмотрены механизмы и соответствующие им математические модели, позволяющие управлять силой трения между контактными элементами роботов и поверхностью, что позволило бы увеличить скорость перемещения механизмов за счет периодической фиксации одних звеньев и движения относительно них других звеньев.

В предыдущих работах авторов статьи рассматривается движение трех- и пятизвенного роботов, способных перемещаться по шероховатой поверхности за счет сил трения, управление которыми осуществляется посредством конструктивных особенностей устройства. Так в [12, 13] описан оригинальный способ перемещения трехзвенного робота по горизонтальной плоскости: при взаимодействии опор контактными элементами с большим коэффициентом трения основ-

ное звено неподвижно, а с малым коэффициентом – перемещается по поверхности. Рассмотренный в [14, 15] робот представляет собой цепочку из пяти звеньев и оснащен четырьмя опорными элементами, два из которых установлены на крайних звеньях, а два других расположены на центральном звене и являются управляемыми фрикционными элементами, обеспечивающими периодическую фиксацию звеньев на поверхности. Данная работа посвящена исследованию особенностей движения трехзвенного ползающего робота с управляемыми силами трения в опорах по поверхности с сухим трением. В статье наряду с описанием математической модели и результатами численного моделирования приводятся графики экспериментальных исследований прототипа устройства, выполнен анализ полученных зависимостей.

Описание конструкции робота. Рассматриваемый ползающий робот представлен тремя звеньями, соединенными между собой посредством двухкоординатных активных шарниров (рис. 1). На рис. 1 обозначены следующие позиции: 1 – боковые звенья робота, 2 – центральное звено, 3 – двухкоординатные шарниры, 4 – опоры звеньев, 5 – микроконтроллер системы управления, 6 – элементы питания.

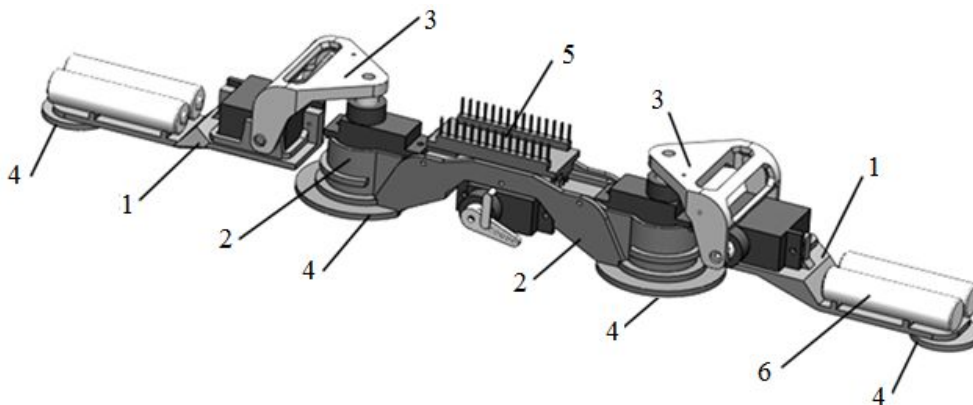


Рис. 1. Ползающий трехзвенный робот

Двухкоординатный шарнир (рис. 2) позволяет осуществлять смещение боковых звеньев как в горизонтальной, так и в вертикальных плос-

костях, что обеспечивает изменение конфигурации устройства в зависимости от используемого режима перемещения.

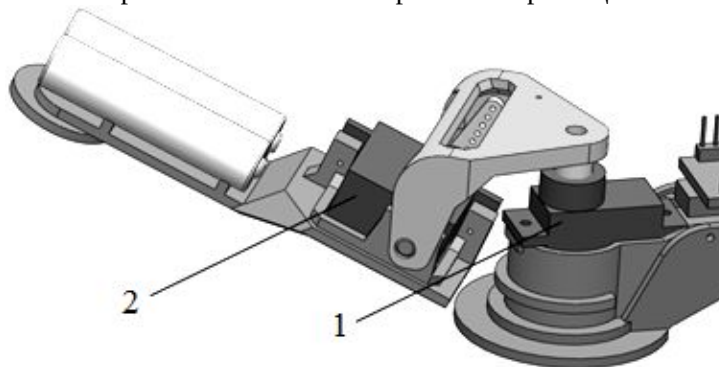


Рис. 2. Двухкоординатный шарнир: 1 – привод поворота звена в горизонтальной плоскости, 2 – привод поворота звена в вертикальной плоскости

Подъем и опускание боковых звеньев позволяет скомпенсировать неровность поверхности, а также управлять величиной нормальной реакции, распределяя необходимым образом массу на опорных точках. Смещения звеньев в горизонтальной плоскости позволяют реализовывать продольные, поперечные, а также смешанные походки. Робот оснащен системой управления, реализующей различные алгоритмы движения устройства.

Важной конструктивной особенностью робота является то, что на каждом звене установлены фрикционные опоры 4 (рис.1), посредством которых робот взаимодействует с поверхностью. Однако, опоры центрального звена могут изменять свои свойства с помощью механизма, показанного на рис. 3.

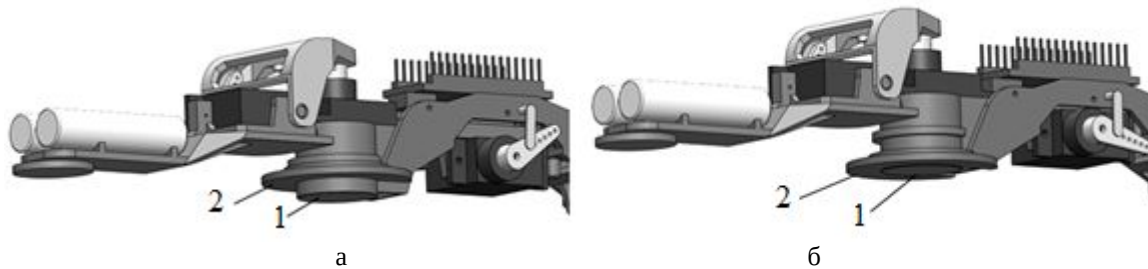


Рис. 3. Опора центрального звена:

а – контакт с поверхностью осуществляется стационарной опорой 1,
б – контакт осуществляется дополнительной опорной поверхностью 2

Как видно из рис. 3, центральное звено оснащено электроприводом, перемещающим дополнительный опорный элемент 2, поверхность которого выполнена из материала, обеспечивающего более высокий коэффициент трения опоры по поверхности.

Математическая модель робота. Перейдем от конструкции робота к его расчетной схеме (рис. 4). Будем рассматривать движение робота в пространственной системе координат $Oxyz$. Все звенья робота будем считать абсолютно твердыми телами $i=1-3$ в виде стержней O_iO_{i+1} длинами l_i и массами m_i , центры масс которых совпадают с центрами их симметрии C_i . С центром

масс звена 2 свяжем относительную систему координат $C_2x_2y_2z_2$, ось C_2x_2 которой направлена вдоль звена. Будем считать, что двухкоординатные шарниры с соответствующими приводами 4-7 располагаются в точках O_2 и O_3 , а опоры 8, 9 – в крайних точках звеньев – O_1 - O_4 , причем высоту опорных элементов положим настолько малой, что ею можно пренебречь. Будем рассматривать такой способ перемещения робота, при котором звено 2 никогда не будет отрываться от поверхности, т.е. плоскости Oxy и $C_2x_2y_2$ совпадают, а сама поверхность является горизонтальной.

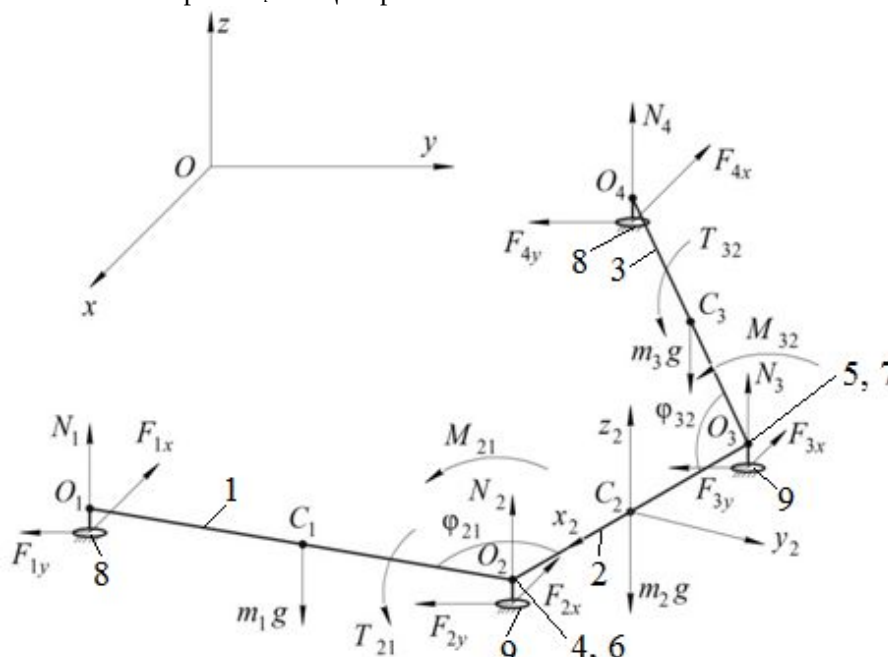


Рис. 4. Расчетная схема ползающего робота

Приводы 4 и 5 обеспечивают поворот звеньев 1 и 3 относительно звена 2 в горизонтальной плоскости на углы φ_{21} и φ_{32} , определяемые по формулам

$$\varphi_{21} = \varphi_2 - \varphi_1, \quad \varphi_{32} = \varphi_3 - \varphi_2, \quad (1)$$

где φ_i – абсолютные углы поворота звеньев, отсчитываемые от положительного направления оси Ox против часовой стрелки.

Приводы 6 и 7 позволяют звеньям 1 и 3 отрываться от поверхности за счет поворотов на относительные углы θ_{21} и θ_{32} :

$$\theta_{21} = \theta_2 - \theta_1 = -\theta_1, \quad \theta_{32} = \theta_3 - \theta_2 = \theta_3, \quad (2)$$

где θ_i – абсолютные углы поворота звеньев, отсчитываемые в вертикальных плоскостях против часовой стрелки. Т.к. звено 2 не отрывается от поверхности, то $\theta_2 = 0$.

Повороты звеньев происходят под действием моментов, создаваемых соответствующими приводами: на углы φ_i за счет моментов M_{21} и M_{32} , на углы θ_i – за счет моментов T_{21} и T_{32} .

Контакт крайних звеньев с опорной поверхностью осуществляется опорами 8, расположенными в точках O_1 и O_4 , а звена 2 – опорами 9 в точках O_2 и O_3 . В опорных точках O_1 - O_4 при их контакте с поверхностью возникают нормальные реакции N_j и силы трения F_j , описываемые моделью сухого Кулонова трения

$$F_j = \begin{cases} -f_j N_j \operatorname{sgn}(v_{Oj}), & \text{если } v_{Oj} \neq 0, \\ -F_{0j}, & \text{если } |F_{0j}| \leq f_j N_j, \\ -f_j N_j \operatorname{sgn}(F_{0j}), & \text{если } |F_{0j}| > f_j N_j, \end{cases} \quad (3)$$

где F_{0j} – сила трения покоя в точке O_j , f_j – коэффициент трения скольжения, v_{Oj} – абсолютная скорость опоры в точке O_j .

Причем коэффициент трения в опорах 9 звена 2 является управляемым и может принимать два значения $f_{\min}$ и $f_{\max}$, при первом из этих коэффициентов звено 2 может двигаться по поверхности, при втором данное звено считаем неподвижным:

$$x_{C2}, y_{C2} = \begin{cases} x_{C2}(t), y_{C2}(t), & \text{если } f_{2,3} = f_{\min}, \\ \text{const}, & \text{если } f_{2,3} = f_{\max}, \end{cases} \quad (4)$$

где x_{C2}, y_{C2} – координаты центра масс звена 2.

Для описания движения робота по поверхности будем использовать следующий вектор обобщенных координат:

$$\mathbf{q} = (x_{C2} \quad y_{C2} \quad \varphi_2 \quad \varphi_1 \quad \varphi_3 \quad \theta_1 \quad \theta_3)^T. \quad (5)$$

В работе будем рассматривать походку робота, при которой звенья 1 и 3 всегда перемещаются синхронно относительно звена 2 и периодически отрываются от поверхности. Данная походка является поэтапной и состоит из четырех этапов. В качестве начального положения будем рассматривать показанное на рис. 2, в нем относительные углы звеньев равны $\varphi_{21} = \varphi_{32} = \varphi_{01}$, $\theta_{21} = \theta_{32} = 0$, где φ_{01} – начальное значение соответствующих относительных углов для первого этапа движения.

Первый этап заключается в синхронном повороте звеньев 1 и 3 в противофазах относительно звена 2 в горизонтальной плоскости до тех пор, пока не будет выполняться условие: $\varphi_{21} = \varphi_{32} = \varphi_{02}$, где $\varphi_{02} = 2\pi - \varphi_{01}$ – конечное значение соответствующих относительных углов для первого этапа движения. На данном этапе звено 2 подвижно и перемещается в требуемом направлении параллельно самому себе. На втором этапе звенья 1 и 3 отрываются от поверхности и поворачиваются на углы $\theta_{21} = \theta_{32} = \theta_0$, где θ_0 – конечные для второго этапа значения соответствующих относительных углов. Звено 2 при этом неподвижно. Во время третьего этапа звенья 1 и 3 поворачиваются относительно неподвижно расположенного на поверхности звена 2 до достижения углов $\varphi_{21} = \varphi_{32} = \varphi_{01}$. Четвертый этап характеризуется опусканием звеньев 1 и 3 на поверхность, т.е. до справедливости условия $\theta_{21} = \theta_{32} = 0$, звено 2 при этом остается неподвижным.

Для удобства описания данной походки в таблице 1 для каждого этапа движения приведены накладываемые на робота связи, обобщенные координаты, условия завершения этапов, а также значения управляемого коэффициента трения.

Значения нормальных реакций и сил трения на каждом из этапов сведены в таблицу 2.

Система дифференциальных уравнений, описывающая движение робота по поверхности, может быть представлена в матричном виде

$$A\ddot{\mathbf{q}} + B\dot{\mathbf{q}} = \mathbf{F}, \quad (6)$$

где A – матрица коэффициентов при ускорениях, B – матрица коэффициентов при квадратах скоростей, D – диагональная матрица скоростей, F – матрица обобщенных сил, представленные ниже

$$A = \begin{pmatrix} a_{11}^{(1)} & 0 & a_{13}^{(1)} & a_{14}^{(1)} & a_{15}^{(1)} & 0 & 0 \\ 0 & a_{22}^{(1)} & a_{23}^{(1)} & a_{24}^{(1)} & a_{25}^{(1)} & 0 & 0 \\ a_{31}^{(1)} & a_{32}^{(1)} & a_{33}^{(1)} & a_{34}^{(1)} & a_{35}^{(1)} & 0 & 0 \\ a_{41}^{(1)} & a_{42}^{(1)} & a_{43}^{(1)} & a_{44}^{(1,3)} & a_{45}^{(1)} & 0 & 0 \\ a_{51}^{(1)} & a_{52}^{(1)} & a_{53}^{(1)} & a_{54}^{(1,3)} & a_{55}^{(1,3)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{66}^{(2,4)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{77}^{(2,4)} \end{pmatrix}, \quad (7)$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 & 0 & ba_{13}^{(1)} & b_{14}^{(1)} & b_{15}^{(1)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b_{23}^{(1)} & b_{24}^{(1)} & b_{25}^{(1)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & b_{34}^{(1)} & b_{35}^{(1)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b_{43}^{(1)} & 0 & b_{45}^{(1)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b_{53}^{(1)} & b_{54}^{(1)} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (8)$$

$$F = \begin{pmatrix} F_{11}^{(1)} \\ F_{21}^{(1)} \\ F_{31}^{(1)} \\ F_{41}^{(1,3)} \\ F_{51}^{(1,3)} \\ F_{61}^{(2,4)} \\ F_{71}^{(2,4)} \end{pmatrix}. \quad (9)$$

В формулах (7) – (9) верхний индекс в скобках означает номер этапа, которому соответствует коэффициент.

Таблица 1

Поэтапное описание походки робота

Этап	Связи	Обобщенные координаты	Условие завершения этапа	Коэффициент трения
Этап 1	$\theta_{21} = \theta_{32} = 0$	$x_{C2}, y_{C2}, \varphi_2, \varphi_1, \varphi_3$	$\varphi_{21} = \varphi_{32} = \varphi_{02}$	$f_{2,3} = f_{\min}$
Этап 2	$x_{C2} = \text{const}$ $y_{C2} = \text{const}$ $\varphi_2 = \text{const}$ $\varphi_{21} = \varphi_{32} = \varphi_{02}$	θ_1, θ_3	$\theta_{21} = \theta_{32} = \theta_0$	$f_{2,3} = f_{\max}$
Этап 3	$x_{C2} = \text{const}$ $y_{C2} = \text{const}$ $\varphi_3 = \text{const}$ $\theta_{21} = \theta_{32} = \theta_0$	φ_1, φ_3	$\varphi_{21} = \varphi_{32} = \varphi_{01}$	$f_{2,3} = f_{\max}$
Этап 4	$x_{C2} = \text{const}$ $y_{C2} = \text{const}$ $\varphi_2 = \text{const}$ $\varphi_{21} = \varphi_{32} = \varphi_{01}$	θ_1, θ_3	$\theta_{21} = \theta_{32} = 0$	$f_{2,3} = f_{\max}$

Таблица 2

Значения нормальных реакций и сил трения

Этап	Контактные точки	Нормальные реакции	Силы трения
Начальное положение	K_1, K_2, K_3, K_4	$N_1 = N_2 = N_3 = N_4 = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^3 m_i g$	$F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = 0$
Этап 1	K_1, K_2, K_3, K_4		$F_{1-4} = -f_{1-4} N_{1-4} \text{sgn}(v_{O1-4})$
Этап 2	K_2, K_3	$N_2 = N_3 = \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^3 m_i g + \sum_{i=1,3} m_i \ddot{z}_{Ci} \right)$	$F_{2x} = F_{3x} = -\frac{1}{2} \sum_{i=1,3} m_i \ddot{x}_{Ci}$ $F_{2y} = F_{3y} = -\frac{1}{2} \sum_{i=1,3} m_i \ddot{y}_{Ci}$
Этап 3	K_2, K_3	$N_2 = N_3 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 m_i g$	
Этап 4	K_2, K_3	$N_2 = N_3 = \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^3 m_i g + \sum_{i=1,3} m_i \ddot{z}_{Ci} \right)$	

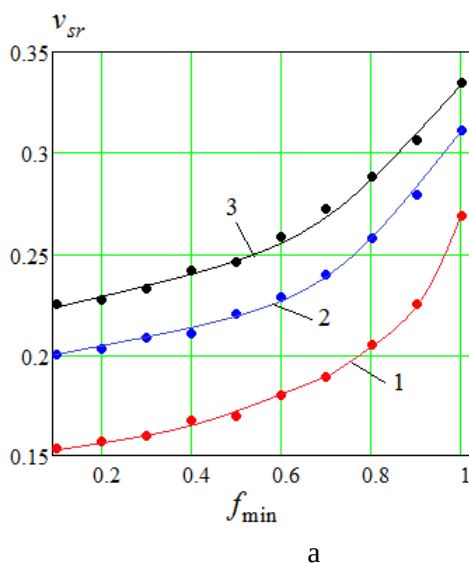
Результаты математического моделирования. В данном разделе представлены результаты численного моделирования описанной выше походки робота по горизонтальной шероховатой поверхности. Целью проводимого исследования является выявление влияния коэффициента трения между опорами робота и поверхностью на первом этапе движения $f_{\min}$ на среднюю скорость перемещения устройства. Под этой скоростью будем понимать следующую величину

$$v_{sr} = \frac{\sum_{k=1}^N v_C}{N}, \quad (10)$$

где v_C – значение скорости центра масс робота в текущий момент времени моделирования t_k , $k \in [1, N]$, $k=1$ соответствует моменту начала первого этапа движения робота, $k=N$ – времени завершения четвертого этапа.

Текущее значение скорости центра масс робота (точки C) высчитывается по формуле

$$v_C = \sqrt{\dot{x}_C^2 + \dot{y}_C^2}, \quad (11)$$



а

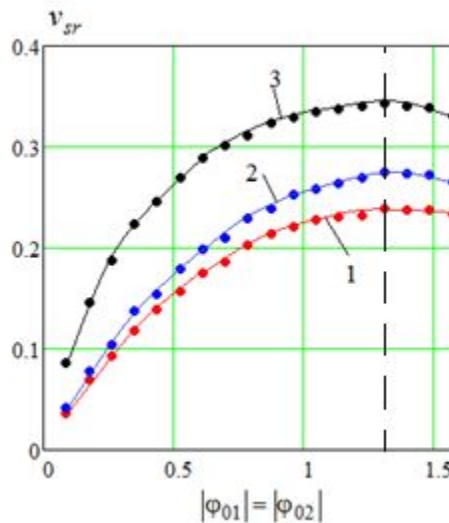
где $\dot{x}_C$, $\dot{y}_C$ – проекции скорости точки C на координатные оси Ox и Oy , а ее координаты равны

$$x_C = \frac{x_{C1}m_1 + x_{C2}m_2 + x_{C3}m_3}{m_1 + m_2 + m_3},$$

$$y_C = \frac{y_{C1}m_1 + y_{C2}m_2 + y_{C3}m_3}{m_1 + m_2 + m_3}. \quad (12)$$

Моделируемый робот обладает следующими параметрами: массы звеньев $m_1 = m_3 = 0.045$ кг, $m_2 = 0.07$ кг, длины звеньев $l_1 = l_3 = 0.108$ м, $l_2 = 0.1$ м, моменты приводов $M_{21} = M_{32} = T_{21} = T_{32} = 0.03$ Нм, углы поворота звеньев $|\varphi_{01}| = |\varphi_{02}| = 5^\circ - 90^\circ$, $\theta_0 = 90^\circ$, коэффициент трения $f_{\min} = 0.1 - 1$.

На рис. 5, а представлена зависимость средней скорости движения робота от значения коэффициента трения. По графикам видно, что по мере увеличения $f_{\min}$ средняя скорость возрастает по закону, близкому к параболическому, что обусловлено меньшим "откатом" звеньев 1 и 3 во время первого этапа и большим расстоянием, преодолеваемым звеном 2 на этом же этапе.



б

Рис. 5. а – Графики зависимостей $v_{sr}(f_{\min})$:

1 – $|\varphi_{01}| = |\varphi_{02}| = \pi/6$, 2 – $|\varphi_{01}| = |\varphi_{02}| = \pi/4$, 3 – $|\varphi_{01}| = |\varphi_{02}| = \pi/3$;

б – Графики зависимостей $v_{sr}(|\varphi_{01}| = |\varphi_{02}|)$: 1 – $f_{\min} = 0.2$, 2 – $f_{\min} = 0.6$, 3 – $f_{\min} = 1$

Рис. 5, б иллюстрирует зависимости средней скорости робота от диапазона поворота звеньев 1 и 3 в горизонтальной плоскости. По представленным на нем графикам видно, что при $|\varphi_{01}| = |\varphi_{02}| < 75^\circ$ средняя скорость устройства возрастает по криволинейному закону, выпуклость которого направлена вверх, при $|\varphi_{01}| = |\varphi_{02}| = 75^\circ$ наблюдается ее наибольшее

значение, а при $|\varphi_{01}| = |\varphi_{02}| > 75^\circ$ – уменьшение v_{sr} .

Описание прототипа робота, результаты экспериментальных исследований. С целью проведения экспериментальных исследований был изготовлен прототип ползающего робота (рис. 6).

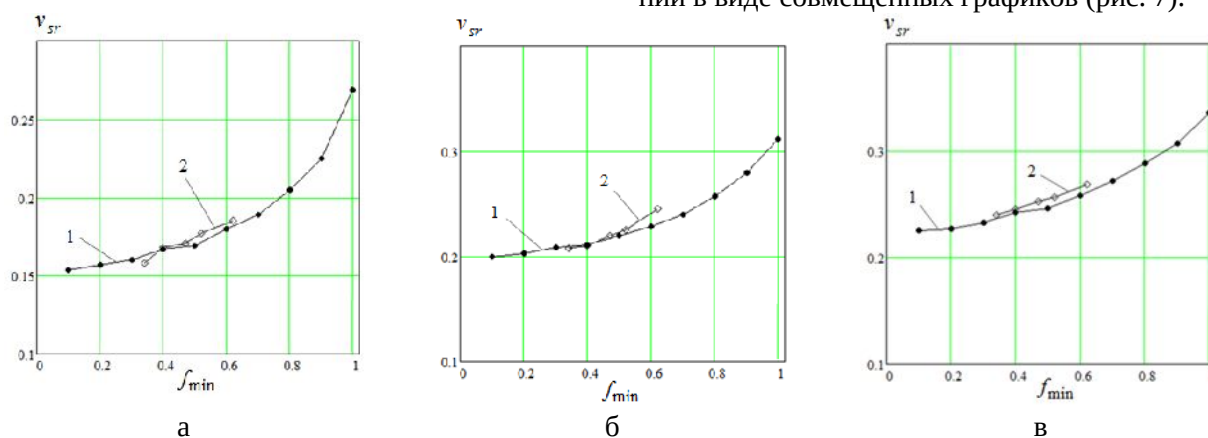


Рис. 6. Внешний вид прототипа ползающего робота

В прототипе робота используются поворотные сервоприводы Hextronik HXT900. Корпусные детали выполнены из ударопрочной технической термопластической пластмассы на основе сополимера акрилонитрила с бутадиеном истиролом. Использование данного полимера позволяет уменьшить массу звеньев при обеспечении необходимой жесткости конструкции. На опоры робота нанесено абразивное покрытие для обеспечения максимального сцепления с опорной поверхностью. Система автоматического управления построена на базе 8-битного микроконтроллера ATmega328. В качестве источника питания используются щелочные батарейки тип ААА.

На данном прототипе были проведены экспериментальные исследования движения робота по различным поверхностям. Коэффициенты силы трения опорных поверхностей определялись экспериментально методом наклонной плоскости.

Суть экспериментов заключается в определении средней скорости робота при движении по различным поверхностям, при этом в качестве исходных параметров так же как и при математическом моделировании, использовалась амплитуда движений боковых звеньев. Таким образом, корректным является представление результатов теоретических и экспериментальных исследований в виде совмещенных графиков (рис. 7).

Рис. 7. Графики зависимостей $v_{sr}(f_{\min})$:

1 – результаты математического моделирования, 2 – результаты экспериментальных исследований,

а – $|\varphi_{01}| = |\varphi_{02}| = \pi/6$, б – $|\varphi_{01}| = |\varphi_{02}| = \pi/4$, в – $|\varphi_{01}| = |\varphi_{02}| = \pi/3$

Как видно из совмещенных графиков на рис. 7, результаты математического моделирования подтверждаются данными экспериментов. Незначительные отличия могут быть объяснены погрешностью экспериментального измерения коэффициентов трения, а также неоднородностью поверхности. Однако, наклон кривой результатов экспериментов и измеренные значения могут говорить об адекватности разработанной математической модели и о возможности ее применения для последующего анализа функционирования

ползающего трехзвенного робота с двухкоординатными шарнирами.

Выводы. В данной работе описана конструкция трехзвенного ползающего робота, оснащенного двухкоординатными активными шарнирами и фрикционными опорами, позволяющими устройству перемещаться по шероховатой поверхности. Предложен оригинальный метод моделирования, характеризующийся поочередной

сменой этапов движения, получены дифференциальные уравнения, описывающие движение устройства на каждом из этапов.

Для проверки адекватности предложенной походки робота и ее математической модели были проведены натурные испытания с прототипом устройства. Сравнительный анализ характеристик движения при различных параметрах системы показал соответствие результатов численного моделирования и натурных испытаний, что свидетельствует о высоком качестве разработанной математической модели и позволяет использовать ее при дальнейших исследованиях движения робота, а также для проектирования прототипов устройства с требуемыми параметрами движения.

Источник финансирования. РФФИ (проект № 17-51-12025).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Tanaka T., Harigaya K., Nakamura T. Development of a Peristaltic Crawling Robot for Long-Distance Inspection of Sewer Pipes // 2014 IEEE/ASME Int. Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics, Besacon, France. 2014.
2. Conkur E. S., Gurbuz R. Path Planning Algorithm For Snake-Like Robots // Information Technology And Control. 2008. Vol. 37. №. 2. P. 159–162.
3. Lounis D., Spinello D., Gueaieb W., Sarfraz H. Planar Kinematics Analysis of a Snake-Like Robot // Robotica. 2014. V. 32. №. 5. P. 659–675.
4. Wu W., Jun X. Y., Wei H. L., Ri S. M., Chun X. C., Zhen Y. H., Zhong L. Structure Design of Climbing Snake-Like Robot for Detection of Cable-Stayed Bridge // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 598. P. 610–618.
5. Matsuo T., Ishii K. Adaptative Motion Control System of a Snake-Like Robot Using a Neural Oscillator Network // 2014 Joint 7th Int. Conf. on Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS) and 15th Int. Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS), Kitakyushu, Japan. 2014.
6. Li G., Li W., Zhang J., Zhang H. Analysis and Design of Asymmetric Oscillation for Caterpillar-Like Locomotion // J. of Bionic Engineering. 2015. Vol. 12. №. 2. P. 190–203.
7. Li G., Zhang H., Zhang J., Bye R. T. Development of Adaptive Locomotion of a Caterpillar-Like Robot Based on a Sensory Feedback CPG Model // Advanced Robotics. 2014. Vol. 28. № 6. P. 389–401.
8. Башкиров С. А. Алгоритмы управления движением и моделирование динамики многозвенных механизмов, передвигающихся по принципу бегущей волны // Изв. РАН. ТиСУ. 2007. № 1. С. 168–172.
9. Борисенко И.Н., Фигурина Т.Ю., Черноусько Ф.Л. О квазистатических движениях системы трех тел на плоскости // Прикладная математика и механика. 2014. Т. 78. № 3. С. 316–327.
10. Черноусько Ф.Л. Оптимальное управление движением многозвенной системы в среде с сопротивлением // Прикладная математика и механика. 2012. Т. 76. № 3. С. 355–373.
11. Черноусько Ф.Л. Оптимальное перемещение многозвенной системы в среде с сопротивлением // Труды института математики и механики УрО РАН. 2011. Т. 17. № 2. С. 240–255.
12. Jatsun S., Vorochaeva L., Yatsun A., Savin S., Malchikov A. Bio-inspired adaptive control strategy for a snake-like robot // 19th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC), Cheile Gradistei, Romania. 2015. P. 273–278.
13. Ворочаева Л.Ю., Наумов Г.С., Яцун С.Ф. Моделирование движения трехзвенного робота с управляемыми силами трения по горизонтальной шероховатой поверхности // Известия РАН. ТиСУ. 2015. № 1. С. 156–170.
14. Jatsun S.F., Vorochaeva L., Yatsun A., Malchikov A. Theoretical and experimental studies of transverse dimensional gait of five-link mobile robot on rough surface // 10th International Symposium on Mechatronics and its Applications (ISMA), Sharjah, United Arab Emirates. 2015. P. 1–6.
15. Ворочаева Л.Ю., Яцун А.С., Яцун С.Ф. Моделирование движения пятизвенного ползающего робота с управляемым трением по поверхности с препятствиями // Изв. РАН. ТиСУ. 2017. № 3. С. 191–216.

Информация об авторах

Яцун Сергей Федорович, доктор технических наук, заведующий кафедрой механики, мехатроники и робототехники.

E-mail: teormeh@inbox.ru

Юго-Западный государственный университет.

Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94.

Ворочаева Людмила Юрьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры механики, мехатроники и робототехники.

E-mail: mila180888@yandex.ru

Юго-Западный государственный университет.

Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94.

Мальчиков Андрей Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры механики, мехатроники и робототехники.

E-mail: zveroknnp@gmail.com

Юго-Западный государственный университет,
Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94.

Политов Евгений Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры механики, мехатроники и робототехники.

E-mail: politovyevgeny@rambler.ru

Юго-Западный государственный университет,
Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94.

Поступила в мае 2018 г.

© Яцун С.Ф., Ворочаева Л.Ю., Мальчиков А.В., Политов Е.Н., 2018

S.F. Jatsun, L.Yu. Vorochaeva, A.V. Malchikov, E.N. Politov
THE STUDY OF THE MOTION OF THREE-LINK ROBOT WITH TWO-AXIS JOINTS
ON A ROUGH SURFACE

The paper presents the construction of a three-link crawling robot with two-axis joints of links, allowing the device to move on a rough surface by changing the form of the body, as well as by controlling the friction coefficient with the supports of the central link. The transition to the settlement scheme of the device imposed by the assumptions used in developing the mathematical model, describes the step-by-step gait of the robot, which step is characterized by anti-phase movements of the side links relative to the central in the horizontal plane and inphase movements in the vertical plane, and also developed a mathematical model of the motion of the object. The description of the prototype crawling robot is reduced, a comparative analysis of the results of experiments and numerical simulation data is obtained, the influence on the average speed of the robot friction coefficient between the supports of the central link and the surface is discovered.

Keywords: three-link crawling robot, friction support, control of coefficient of friction, motion steps, experimental stand.

REFERENCES

1. Tanaka T., Harigaya K., Nakamura T. Development of a Peristaltic Crawling Robot for Long-Distance Inspection of Sewer Pipes. 2014 IEEE/ASME Int. Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics, Besacon, France. 2014.
2. Conkur E.S., Gurbuz R. Path Planning Algorithm For Snake-Like Robots. Information Technology And Control, 2008, vol. 37, no. 2, pp. 159–162.
3. Lounis D., Spinello D., Gueaieb W., Sarfraz H. Planar Kinematics Analysis of a Snake-Like Robot. Robotica, 2014, vol. 32, no. 5, pp. 659–675.
4. Wu W., Jun X.Y., Wei H. L., Ri S. M., Chun X. C., Zhen Y. H., Zhong L. Structure Design of Climbing Snake-Like Robot for Detection of Cable-Stayed Bridge. Applied Mechanics and Materials, 2014, vol. 598, pp. 610–618.
5. Matsuo T., Ishii K. Adaptive Motion Control System of a Snake-Like Robot Using a Neural Oscillator Network. 2014 Joint 7th Int. Conf. on Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS) and 15th Int. Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS), Kitakyushu, Japan. 2014.
6. Li G., Li W., Zhang J., Zhang H. Analysis and Design of Asymmetric Oscillation for Caterpillar-Like Locomotion. J. of Bionic Engineering, 2015, vol. 12, no. 2, pp. 190–203.
7. Li G., Zhang H., Zhang J., Bye R. T. Development of Adaptive Locomotion of a Caterpillar-Like Robot Based on a Sensory Feedback CPG Model. Advanced Robotics, 2014, vol. 28, no. 6, pp. 389–401.
8. Bashkurov S.A. motion control Algorithms and simulation of the dynamics of many-segment mechanisms, moving on the principle of a traveling wave. Izv. RAN. TiSU. 2007, no. 1, pp. 168–172.
9. Borisenko I.N., Figurina T.Yu., Chernousko F.L. On quasi-static motions of a system of three bodies in the plane. Journal of Applied mathematics and mechanics, 2014, vol. 78, no. 3, pp. 316–327.
10. Chernousko F.L. Optimal motion control of a multi-link system in a medium with resistance. Applied mathematics and mechanics, 2012, vol. 76, no. 3, pp. 355–373.
11. Chernousko F. L. Optimal movement of a multi-link system in a medium with resistance. Proceedings of the Institute of mathematics and mechanics of Uro RAS, 2011, vol. 17, no. 2, pp. 240–255.
12. Jatsun S., Vorochaeva L., Yatsun A., Savin S., Malchikov A. Bio-inspired adaptive control strategy for a snake-like robot. 19th International Conference on system Theory, Control and Computing (IC-STCC), Cheile Gradistei, Romania. 2015, pp. 273–278.

13. Vorochevo L.Yu., Naumov G.S., Yatsun S.F. modeling of the motion of three-link robot with operated friction forces on the horizontal rough surface. *Izv. RAN. TiSU*, 2015, no. 1, pp. 156–170.

14. Jatsun S.F., Vorochaeva L., Yatsun A., Malchikov A. Theoretical and experimental studies of transverse dimensional gait of five-link mobile robot

on rough surface. 10th International Symposium on Mechatronics and its Applications (ISMA), Sharjah, United Arab Emirates, 2015, pp. 1–6.

15. Voropaeva L.Yu., Yatsun A.S., Yatsun S.F. Simulation of five-link crawling robot motion with controlled friction on the surface with obstacles. *Izv. RAN. TiSU*, 2017, no. 3, pp. 191–216.

Information about the author

Sergey F. Jatsun, DSc, Professor.

E-mail: teormeh@inbox.ru

South-West State University.

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

Lyudmila Y. Vorochaeva, PhD, Assistant professor.

E-mail: mila180888@yandex.ru

South-West State University.

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

Andrey V. Malchikov, PhD, Assistant professor.

E-mail: zveroknnp@gmail.com

South-West State University.

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

Yevgeniy N. Politov, PhD, Assistant professor.

E-mail: politovyevgeny@rambler.ru

South-West State University.

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

Received in May 2018

Для цитирования:

Яцун С.Ф., Ворочаева Л.Ю., Мальчиков А.В., Политов Е.Н. Исследование процесса движения трехзвенного робота с двухкоординатными шарнирами по шероховатой поверхности // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №7. С. 86–95. DOI: 10.12737/article_5b4f02c028e513.07525318.

For citation:

Jatsun S.F., Vorochaeva L.Yu., Malchikov A.V., Politov E.N. The study of the motion of three-link robot with two-axis joints on a rough surface. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2018, no.7, pp. 86–95. DOI: 10.12737/article_5b4f02c028e513.07525318.

Марусич К.В., канд. техн. наук, доц.,
Шабает М.М., магистрант
Оренбургский государственный университет

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ВОЛОК

Развитие и совершенствование технологических процессов многих отраслей промышленности неразрывно связаны с применением твердых сплавов, что способствует существенному повышению эксплуатационных характеристик инструмента и производительности труда. В настоящее время развитие получили следующие методы повышения стойкости инструментов: применение новых и усовершенствованных инструментальных материалов; улучшение качества рабочих поверхностей инструмента; усовершенствование конструкции и оптимизации геометрии параметров. Термической обработке твердых сплавов посвящен ряд работ, результаты которых во много противоречивы. В этих работах делались попытки проведения различных видов термической обработки, как спеченных твердых сплавов, так и при изменении условий охлаждения в процессе спекания. В данной работе был проведен анализ шести режимов термической обработки волок из твердого сплава ВК8.

Ключевые слова: волокна, твердый сплав, термическая обработка, волочильные станы.

Введение. Дефектами волок из твердосплавного сплава являются: разнообразные трещины; выход части твердосплавной вставки; выкрашивание выходной распушки; раскол твердосплавной вставки; полный выход твердосплавной вставки; грубая выработка твердого сплава в

виде «бороздок»; грубое кольцо износа; односторонняя выработка; выкрашивание; налипание латуни, окарины [1–4]. На рис. 1 представлены в процентном отношении наиболее встречающиеся дефекты волок.

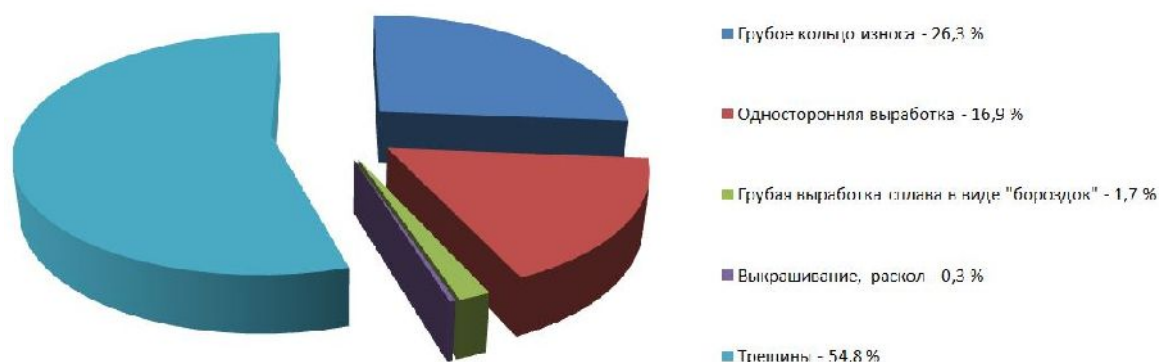


Рис. 1. Дефекты волок

Поперечные трещины (рис. 2) появляются в результате разрушения от растягивающих напряжений. Разрушение от растяжения начинается с кольцевой трещины, которая, вероятнее всего, зарождается на «дне» кольца износа [5]. Такие трещины трудноопределимы на ранней стадии развития из-за маскирующего эффекта кольца износа. Если трещина возникла, она развивается до полного разрушения волокна. Причинами возникновения являются: нарушение времени эксплуатации волок; наличие в микроструктуре дефектов твердого сплава; наличие дефектов проволоки (окарина, грубый сварной шов, включения).

Продольные трещины (рис. 3) имеют «зубчатость» границ и часто мелкие сколы вдоль краев. Причины возникновения: избыточное усилие волочения; отклонение параметров латунированной заготовки от требований; натяг оправки не

соответствует требованиям; параметры эмульсии не соответствуют требованиям; несоответствие реального диаметра волок требованиям; наличие в микроструктуре дефектов твердого сплава; несоответствие геометрии канала волок требованиям.

Повышение износостойкости волок из твердосплавного сплава во многом могло бы способствовать повышению производительности труда и снижению потребности в этом дорогостоящем инструменте [6–7]. В настоящее время существует множество методов повышения износостойкости инструмента из твердосплавного сплава: термическая обработка [8–9]; упрочнение механической и термомеханической обработкой; вибрационная обработка; термовибрационная и дробеструйная обработка; нанесение износостойкого покрытия.

стойкого покрытия; воздействие высокоэнергетическими источниками; воздействие ультразвуком и т.д.

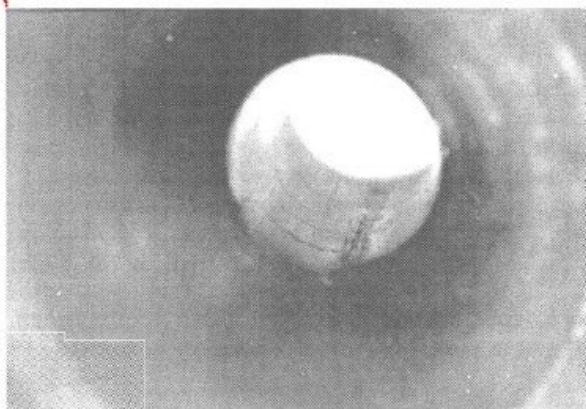


Рис. 2. Трещина поперечная

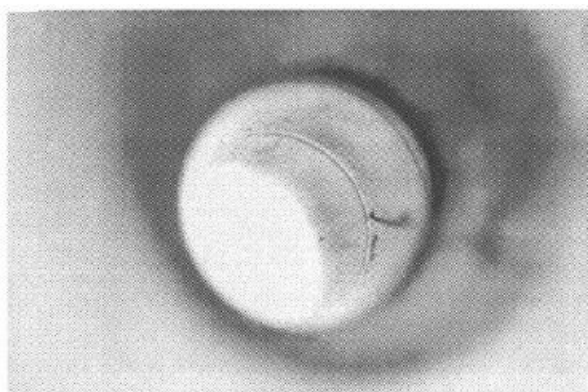


Рис. 3. Трещина продольная

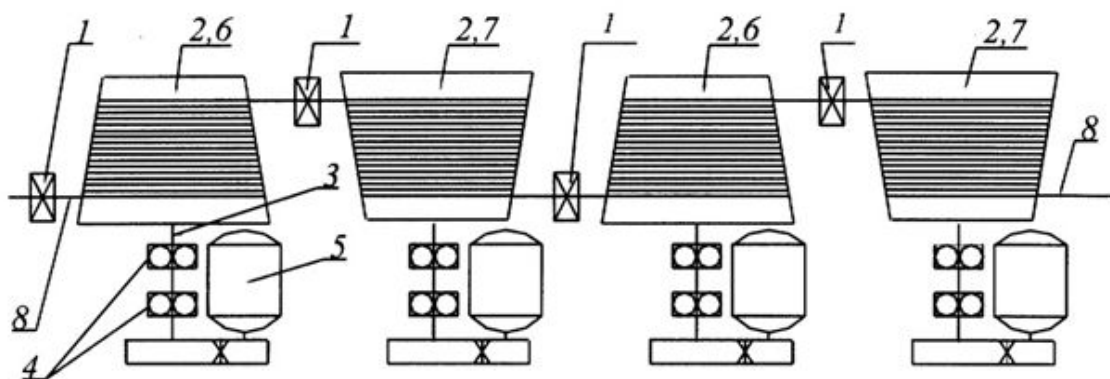


Рис. 4. Конструкция прямоточного волочильного стана

После прохождения шести стадий обработки проволока скручивается в бухту и транспортируется к экструзионному прессу, где её нарезают нужной длины. Оголённые электроды пропускают через проволочную втулку для окончательного выравнивания поверхности. Затем под давлением 20 МПа они проходят обмазку, проходя через обмазочную втулку. Материал волоки, проволочной и обмазочной втулки должен иметь высокую износостойкость. Особенно это относится к обмазочной втулке, так как здесь трение происходит в абразивной среде.

Идеальным материалом для изготовления волок по твердости является алмаз. Однако в

Вопросам повышения качества твердых сплавов посвящено большое число работ, причем выводы во многих случаях в работах не совпадают. Авторы это объясняют тем, что исходные свойства инструмента, даже в одной партии, сильно различаются, а тем более от партии к партии.

Методология. Проволока на волочильном стане протягивается с помощью приводного барабана, на который наматывается. Волочильные машины классифицируют по принципу волочения, расположению тянущих шайб, числу волок, системам управления и числу одновременно протягиваемых проволок [10–12].

Прямоточный волочильный стан (рис. 4) включает ряд последовательных волок 1 и соответствующих им тяговых барабанов 2. Тяговые барабаны установлены на взаимно параллельных валах 3, размещенных в двух опорах 4 и соединенных с приводом 5. Рабочие поверхности барабанов выполнены в виде усеченных конусов, причем конусности нечетных 6 и четных 7 барабанов выполнены взаимно обратными. Волоки размещены в плоскостях больших оснований конической рабочей поверхности соответствующих тяговых барабанов. В волочильный стан заправлена проволока 8. Она протягивается через волоку, предварительно пройдя смазывание.

силу значительных экономических затрат на данный материал выгодным решением являются альтернативные варианты. Такими являются литые, металлокерамические и твердые сплавы. При условии прокатки труб диаметром свыше 10 мм главными конкурентами твердосплавных волок выступают стальные волокна и обоймы.

На рис. 5 представлена конструкция волоки [13–14]. Конус волочения и цилиндрическая направляющая нагружаются непосредственно при волочении и изнашиваются вследствие трения и давления [15–16]. Входной и выходной конусы не подвергаются давлению волочения и,

следовательно, как правило, не изнашиваются и не претерпевают изменений.

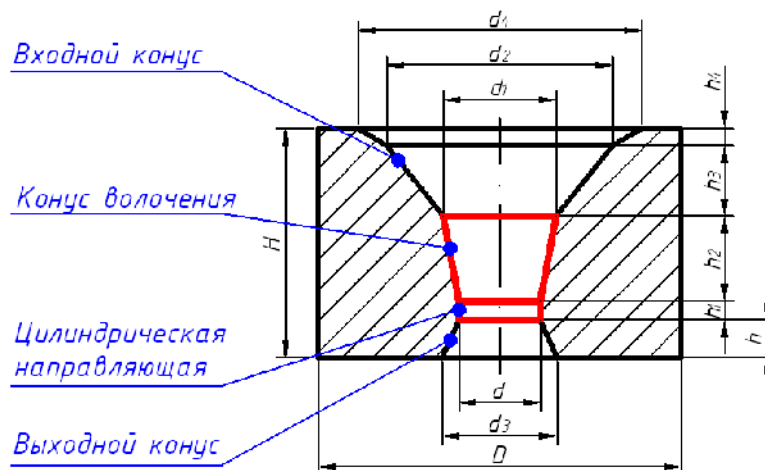


Рис. 5. Конструкция волокна

При условиях подбора требуемого метода повышения износостойкости важную роль играет материал самих волок [18]. В зависимости от протягиваемого материала, способа протяжки и

условий волочения твердосплавные волокна могут дать в 30–200 раз большую производительность, чем обычные волокна.

Получение твердых сплавов методом порошковой металлургии состоит из следующих последовательных операций (рис. 6):

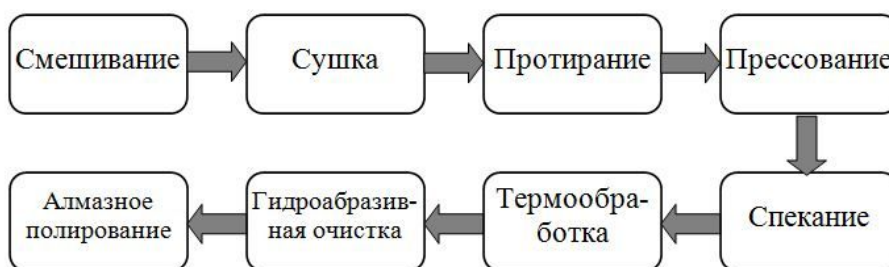


Рис. 6. Процесс изготовления волок из твердого сплава

- получение порошков карбидов вольфрама и кобальта методом восстановления их оксидов;
- измельчение и перемешивание порошков карбидов вольфрама и кобальта в смесителях (шаровых мельницах) до фракции от 1 до 2 мкм;
- просеивание и дальнейшее измельчение при необходимости;
- приготовление смеси порошка в соответствии изготавливаемого сплава;
- добавления клея и прессование в специальных пресс-формах, соответствующих форме и размерам изделия, на гидравлических или механических прессах;
- сушка спрессованных изделий при температуре от 80 до 130 °С;
- спекание заготовок при 1400–1500 °С в среде водорода. Кобальт плавится и смачивает порошки карбидов, при охлаждении кобальт кристаллизуется, соединяя между собой частицы карбидов. Клей сгорает при 800–850 °С.

Спеченные заготовки твердосплавных изделий при необходимости подвергаются механической обработке алмазным инструментом. На поверхности некоторых видов изделий наносится

износостойкое покрытие для повышения режущих свойств [19].

Для изготовления волок заготовок применяют порошки карбида вольфрама, сцементированные кобальтом. В табл. 1. приведены состав и свойства твердых сплавов, используемых для изготовления волок.

Существенным преимуществом твердосплавных волок перед волокнами из других материалов является большая стабильность их размеров, обусловленная высокой износостойкостью [17]. Отсюда и другие практические преимущества: большая стойкость при волочении проволоки без заметного увеличения диаметра отверстия; возможность большей скорости волочения; возможность более сильного обжатия; более точное соблюдение размеров тянутой проволоки; более длительное использование волокна без повторного контроля; соответствующая экономия времени на замену волочильного инструмента; более блестящая и гладкая поверхность проволоки; увеличение массы бухты. Указанные достоинства твердосплавных волок компенсируют более высокую стоимость их изготовления.

Таблица 1

Состав и свойства волок из твердого сплава

Марка сплава	WC, %	Co, %	$\sigma_{\text{в(изг)}}$, Н/мм ² , не менее	γ , г/см ³	HRC, не менее
BK3	97	3	980	14,9–15,3	89
BK6	94	6	1180	14,6–15,0	88
BK8	92	8	1270	14,35	87,5
BK10	90	10		14,25	87

Основная часть. В рамках магистерской диссертации по направлению подготовки 15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств на тему «Повышение износостойкости твердосплавных волок для проволоочных волочильных станков» проводился анализ шести режимов термической обработки волок из твердого сплава BK8

[20]. В табл. 2 представлены условия проведения термической обработки.

На разрывной электромеханической машине ИР 5047-50 провели испытания на изгиб, после которого был определен предел прочности твердого сплава до и после термической обработки. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 2

Условия проведения термической обработки

№	Условия проведения термической обработки
1	Нагрев под закалку 1150 °С, среда охлаждения – масло, отпуск - 500 °С
2	Нагрев под закалку 1150 °С, среда охлаждения – воздух, отпуск - 200 °С
3	Нагрев под закалку 1050 °С, среда охлаждения – масло, отпуск - 500 °С
4	Нагрев под закалку 1050 °С, среда охлаждения – воздух, отпуск - 200 °С
5	Нагрев под закалку 1150 °С, среда охлаждения – воздух, отпуск - 350 °С
6	Нагрев под закалку 1050 °С, среда охлаждения – масло, отпуск - 350 °С

Таблица 3

Предел прочности сплава BK8 до и после термической обработки

№	Твердость по Виккерсу, HV	Нагрузка Р, Н	Предел прочности при изгибе, $G_{\text{изг}}$, Н/мм ²
1	1380	199	168
2	1382	159	179
3	1361	127	174
4	1324	173	175
5	1518	172	166
6	1514	237	165

Из результатов испытаний видно, что у образцов, подвергнутых термической обработке по сравнению с исходным образцом, увеличились прочностные характеристики.

Исследование влияния термической обработки на износостойкость твердых сплавов основано на трении образца по алмазному кругу. Испытания проводили на установке, разработанной

на кафедре Оренбургского государственного университета (рис. 7). Сущность этого метода состоит в том, что производят трение испытуемого и эталонного образцов об алмазно-абразивную чашку. Затем определяют весовой и линейный износ и вычисляют коэффициент трения материала.

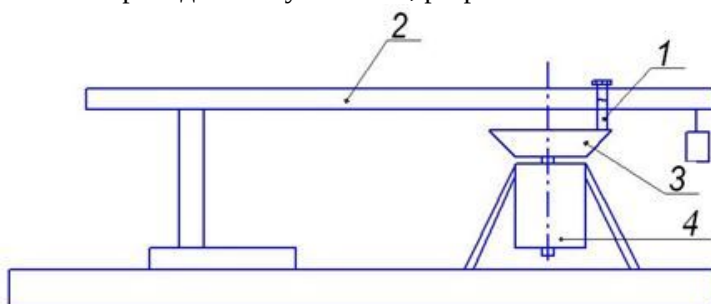


Рис.7. Вид установки для испытания на абразивный износ

1 – державка с образцом; 2 – рычаг; 3 – чашечный алмазный круг; 4 – электродвигатель

Продолжительность испытаний составляла 9 минут на каждый образец. Замеры веса производились через каждые 3 минуты при остановке ма-

шины. Для снятия замеров использовали весы лабораторные ВМ510Д. Результаты испытаний на абразивный износ представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты испытаний на абразивный износ в граммах

№	Масса образца				Износ		
	m ₀	m ₃	m ₆	m ₉	Δ m ₃	Δ m ₆	Δ m ₉
1	3,298	3,293	3,288	3,275	0,005	0,01	0,023
2	3,298	3,075	3,065	3,053	0,006	0,016	0,028
3	2,458	2,451	2,449	2,447	0,007	0,009	0,011
4	1,956	1,953	1,947	1,943	0,003	0,009	0,013
5	2,807	2,803	2,801	2,798	0,004	0,006	0,009
6	3,935	3,924	3,917	3,914	0,011	0,021	0,006

Выводы: На основании проведенных опытов по упрочнению волок из твердого сплава ВК8 получено: повышение твердости в 2 раза; предела прочности при изгибе в 1,5 - 2 раза; понижение после алмазно-абразивного износа в 2 раза. Приведенные режимы термообработки показали эффективность их применения. В дальнейшем планируется провести анализ существующих методов повышения износостойкости твердосплавного инструмента, а также постараться выявить дополнительные способы упрочнения волок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сачава Д.Г., Лазебникова И.П. Классификация, причины возникновения, способы предотвращения износа и разрушения волоочильного инструмента // Литье и металлургия. 2006. №4 (40). С. 6–8.
2. Куренкова Т.П., Лазебникова И.П., Липаткина Т.Н. Определение возможных причин образования дефекта "точечное выкрашивание" в твердосплавном волоочильном инструменте в процессе волочения // Литье и металлургия. 2011. № 3 (62). С. 80–83.
3. Luis C.J., Leon J., Luri R. Comparison between finite element method and analytical methods for studying wire drawing processes // Journal of materials processing technology. 2005. №. 164-165. pp. 1218–1225.
4. Rubio E.M., Camacho A.M., Sevilla L., Sebastian M.A. Calculation of the forward tension in drawing processes // Journal of Materials Processing Technology. 2005. № 162–163. Pp. 551–557.
5. Гурьянов Г.Н. Факторы усталостного износа рабочего канала волоочильного инструмента // Механическое оборудование металлургических заводов. 2013. № 2. С. 44–52.
6. Богодухов С.И., Козик Е.С., Свиденко Е.В. Упрочнение твердых сплавов (обзор) // Упрочняющие технологии и покрытия. 2015. № 11 (131). С. 3–11.
7. Fabík R., Halfarová P. Impact of drawing process parameters on uniformity of strain in spring wire // Metal. 2011. №. 18–20.
8. Богодухов С.И., Козик Е.С., Свиденко Е.В. Влияние химико-термической обработки на износостойкость спеченных твердых сплавов // Упрочняющие технологии и покрытия. 2016. № 3 (135). С. 21–25.
9. Гурьев А.М., Иванов С.Г., Гурьев М.А., Черных Е.В., Иванова Т.Г. Химико-термическая обработка материалов для режущего инструмента // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2015. № 8 (58). С. 578–582.
10. Желтков А.С. Современные технологии изготовления твердосплавных волок // Металлообработка и сбыт. 2013. № 10. С. 22–28.
11. Радионова Л.В., Радионов А.А. Современное состояние и перспективы развития волоочильного производства стальной проволоки // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2013. №1. С. 3–11. URL: <http://industrial-engineering.ru/issues/2013/2013-1.pdf> (27.04.2018)
12. Крымчанский И.И. Высокоскоростное волочение стальной проволоки и волоочильный инструмент // Сталь. 2013. № 12. С. 41–47.
13. Колмогоров Г.Л., Чернова Т.В., Аверьянова Е.М., Снигирева М.В. Оптимальная геометрия технологического волоочильного инструмента // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2013. № 7. С. 51–53.
14. Колмогоров Г.Л., Чернова Т.В., Бурдина Ю.А. Эффективность оптимизации геометрии технологического инструмента для волочения // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. № 3 (51). С. 55–58.
15. Muskalski Z., Wiewiórowska S. The theoretical analysis of wire drawing process or hydrodynamic friction conditions // Metallurgical and mining industry. 2011. Vol. 3. № 7. Pp. 74–78.
16. Гурьянов Г.Н., Железков О.С. Неоднородность деформации материальных волокон в

рабочем конусе волокна // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2013. № 3. С. 22–27.

17. Шабаетов М.М., Марусич К.В. Обзор преимуществ твёрдосплавных фильер для проволочных волочильных станков / Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всероссийской научно-методической конференции // Оренбург. гос. ун-т., (Оренбург, 1-3 февраля 2017 г.), Оренбург: ОГУ, 2017. С. 280–283.

18. Богодухов С.И., Козик Е.С. Материаловедение. М.: Машиностроение, 2015. 504 с.

Информация об авторах

Марусич Константин Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов.

E-mail: mkv82@mail.ru

Оренбургский государственный университет.

Россия, 460018, Оренбург, просп. Победы, д. 13.

Шабаетов Максим Миратович, магистрант кафедры технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов.

E-mail: juzt@inbox.ru

Оренбургский государственный университет.

Россия, 460018, Оренбург, просп. Победы, д. 13.

Поступила в мае 2018 г.

© Марусич К. В., Шабаетов М.М., 2018

K.V. Marusich, M.M. Shabaev

MODES ANALYSIS OF HEAT TREATMENT OF HARD ALLOYS DURABILITY

Development and improvement of technological processes in many industries are inextricably linked with the use of hard alloys, which contributes to a significant increase in the operational characteristics of the tool and labor productivity. At present, the following methods for increasing the resistance of tools have been developed: the use of new and improved tool materials; Improving the quality of the working surfaces of the tool; improvement of design and optimization of the geometry of parameters. Heat treatment of hard alloys is devoted to a number of works, the results of which are in many contradictory. In these works attempts were made to carry out various types of heat treatment, both sintered hard alloys, and when the cooling conditions change during the sintering process. In this paper, we analyzed six modes of heat treatment of durability from a hard alloy VK8.

Keywords: durability, hard alloy, heat treatment, drawing machines.

REFERENCES

1. Sachava D.G., Lazebnikova I.P. Classification, causes, methods of preventing wear and tearing of the drawing tool. Casting and metallurgy. 2006. no. 4 (40). pp. 6–8.

2. Kurenkova T.P., Lazebnikova I.P., Lipatkina T.N. Determination of the possible causes of the formation of a defect "point stain" in a carbide drawing tool in the course of drawing. Casting and metallurgy, 2011, no. 3 (62), pp. 80–83.

3. Luis C.J., Leon J., Luri R. Comparison between finite element method and analytical methods for studying wire drawing processes. Journal of materials processing technology, 2005, no. 164–165. pp. 1218–1225.

19. Богодухов С.И. Технологические процессы машиностроительного и ремонтного производства. Старый Оскол: ТНТ, 2015. 464 с.

20. Шабаетов М.М., Марусич К.В. Анализ режимов термической обработки волок из твердого сплава ВК8 / Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всероссийской научно-методической конференции // Оренбург. гос. ун-т., (Оренбург, 31 января-2 февраля 2018 г.), Оренбург: ОГУ, 2018. С. 756–758.

4. Rubio E.M., Camacho A.M., Sevilla L., Sebastian M.A. Calculation of the forward tension in drawing processes. Journal of Materials Processing Technology, 2005, no. 162–163. pp. 551–557.

5. Guryanov G.N. Factors of fatigue wear of the drawing tool working channel. Mechanical equipment of metallurgical plants, 2013, no. 2. pp. 44–52.

6. Bogodukhov S.I., Kozik E.S., Svidenko E.V. Hardening of hard alloys (review). Strengthening technologies and coatings, 2015, no. 11 (131), pp. 3–11.

7. Fabík R., Halfarová P. Impact of drawing process parameters on uniformity of strain in spring wire. Metal. 2011, no. 18–20.

8. Bogodukhov S.I., Kozik E.S., Svidenko E.V. Influence of chemical-thermal treatment on wear resistance of sintered hard alloys. Strengthening technologies and coatings, 2016, no. 3 (135), pp. 21–25.
9. Guriev A.M., Ivanov S.G., Guriev M.A., Chernykh E.V., Ivanova T.G. Chemical-thermal treatment of materials for cutting tools. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Ferrous metallurgy, 2015, no. 8 (58), pp. 578–582.
10. Zheltkov A.S. Modern technologies of manufacturing hard-alloy fibers. Metallosnabzhenie and sale, 2013, no. 10, pp. 22–28.
11. Radioova L.V., Radionov A.A. The Current State and Prospects for the Development of Wire Drawing of Steel Wire. Machine Building: A Networked Electronic Scientific Journal, 2013, no.1, pp. 3-11. Available at: <http://indust-engineering.ru/issues/2013/2013-1.pdf> (accessed 27.04.2018)
12. Krymchanskiy I.I. High-speed drawing of steel wire and drawing tool. Steel, 2013, no. 12, pp. 41–47.
13. Kolmogorov G.L., Chernova T.V., Averyanova E.M., Snigireva M.V. Optimum geometry of the technological drawing tool. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Ferrous metallurgy, 2013, no. 7, pp. 51–53.
14. Kolmogorov G.L., Chernova T.V., Burdina Yu.A. Efficiency of optimizing the geometry of a technological tool for drawing. Bulletin of the magnitogorsk state technical university. G.I. Nosov, 2015, no. 3 (51), pp. 55–58.
15. Muskalski Z., Wiewiórowska S. The theoretical analysis of wire drawing process or hydrodynamic friction conditions. Metallurgical and mining industry, 2011. vol. 3, no. 7, pp. 74–78.
16. Guryanov G.N., Zhelezkov O.S. Inhomogeneity of the deformation of material fibers in the working cone of the volok. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Ferrous metallurgy, 2013, no. 3, pp. 22–27.
17. Shabaev M.M., Marusich K.V. Overview of the advantages of carbide dies for wire mills. University complex as a regional center for education, science and culture: materials of the All-Russian scientific and methodological conference. Orenburg. state. un-t., (Orenburg, 1-3 February 2017), Orenburg: OSU, 2017, pp. 280–283.
18. Bogodukhov S.I., Kozik E.S. Materials Science. Moscow: Mechanical Engineering, 2015, 504 p.
19. Bogodukhov S.I. Technological processes of machine-building and repair production. Stary Oskol.: TNT. 2015, 464 p.
20. Shabaev M.M., Marusich K.V. Analysis of modes of heat treatment of fiber from hard alloy VK8. University complex as a regional center of education, science and culture: materials of the All-Russian scientific and methodological conference. Orenburg. state. un-t., (Orenburg, 31 January-2 February 2018), Orenburg: OSU, 2018, pp. 756–758.

Information about the author

Konstantin V. Marusich, PhD, Assistant professor.

E-mail: mkv82@mail.ru

Orenburg State University.

Russia, 460018, Orenburg, ave. Pobedy, 13.

Maxim M. Shabaev, Master student.

E-mail: juzt@inbox.ru

Orenburg State University.

Russia, 460018, Orenburg, ave. Pobedy, 13.

Received in May 2018

Для цитирования:

Марусич К.В., Шабает М.М. Анализ режимов термической обработки твердосплавных волок // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №7. С. 96–102. DOI: 10.12737/article_5b4f02c0ba93d4.75284700.

For citation:

Marusich K.V., Shabaev M.M. Modes analysis of heat treatment of hard alloys durability. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no.7, pp. 96–102. DOI: 10.12737/article_5b4f02c0ba93d4.75284700.

Федоренко Б.З., канд. физ.-мат. наук, доц.,
Горлов А.С., канд. техн. наук, доц.,
Петрашев В.И., ст. преподаватель

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

МОДЕЛИ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЦЕПНЫХ ЗАВЕСАХ ЦЕМЕНТНЫХ ПЕЧЕЙ

В данной статье рассматриваются вопросы, связанные с аэродинамикой цепных завес цементных печей мокрого способа производства: пылеосаждение и пылевынос из цементной печи; турбулентный пограничный слой на поверхности соприкосновения потоков газа между цепями и под цепями в цепной завесе; анализ экспериментальных данных по аэродинамике цепных завес с целью уточнения характера аэродинамических процессов. Получена оценка коэффициента пылеосаждения в цепной завесе цементной печи, позволяющая оценивать коэффициент пылеосаждения на работающей печи и оценивать значимость конструктивных мероприятий по увеличению пылеосаждения в цепной завесе и уменьшению пылевыноса. Представленная модель пылеосаждения в цепной завесе является линейной. При наличии соответствующих экспериментальных данных модель может быть уточнена с учетом ограниченности пылеосаждающих возможностей цепной завесы. Представлена оценка турбулентного пограничного слоя на поверхности соприкосновения потоков газа между цепями и под цепями в цепной завесе, которая показывает, что толщина пограничного слоя мала. Это означает, что в цепной завесе цементной печи достаточно четко выделяются потоки газа между цепями и под цепями и что незначителен заброс газа через пограничный слой из потока газа под цепями, обогащенного пылью, в поток газа между цепями для увеличения пылеосаждения на цепях. Приведены экспериментальные данные по аэродинамике цепных завес и цепей, полученные при участии БГТУ в этих работах. На основании этих данных уточняется характер аэродинамических процессов в цепных завесах. Анализ показывает, что возможно получение достаточно точных оценок аэродинамических коэффициентов сопротивления движению газа в цепных завесах, необходимых для построения математических моделей аэродинамики цепных завес цементных печей.

Ключевые слова: цепная завеса цементной печи, пылеосаждение и пылевынос из цементной печи, турбулентный пограничный слой, аэродинамика цепной завесы цементной печи.

Введение. Оптимизация производства цемента мокрым способом опирается, в том числе, на оптимизацию аэродинамических и теплообменных процессов в цементных печах. Одним из аспектов этого круга проблем является оптимизация аэродинамических и тепломассообменных процессов в цепных завесах цементных печей. В БГТУ для авторов работа над этими проблемами началась с 1989 года [1].

Первый этап этой работы завершился разработкой математической модели теплотехнологических процессов в цепных завесах цементных печей и комплекса программ расчёта этих процессов в 1993 году [2, 3]. Расчёты по разработанному комплексу программ давали правдоподобные результаты по оценке процессов в цепных завесах. Работа по уточнению моделей аэродинамики и тепломассообмена в цепных завесах и методики расчёта процессов была продолжена. Основные работы этого периода по аэродинамике и тепломассообмену в цепных завесах цементных печей [4–8]. Последняя работа с ОАО «Осколце-

мент» – проведение экспериментов по аэродинамике цепных завес по совместно разработанной программе закончилась в 2007 году [9]. Экспериментальные данные по аэродинамике цепных завес, полученные в работе [9], представляют собой ценную информацию для разработки математических моделей аэродинамических процессов в цепных завесах.

Адекватное представление об аэродинамических процессах в цепных завесах даёт возможность проведения анализа мероприятий по оптимизации и аэродинамических, и теплообменных процессов.

В настоящей работе рассматриваются следующие вопросы:

- разработка модели пылевыноса из печи и определение коэффициента пылеосаждения в цепной завесе;
- анализ экспериментальных данных по аэродинамике цепных завес и аэродинамических процессов в цепных завесах;
- представление модели свободного турбулентного пограничного слоя в спутных потоках

газа между цепями и под цепями в цепной завесе цементной печи.

Модель пылевыноса из цементной печи.

Одним из наиболее простых и эффективных способов использования пыли, выносимой отходящими газами из цементной печи, является вдувание пыли из электрофильтра за или в цепную за-

весу на повторный обжиг. Несмотря на недостатки, этот способ является наиболее оптимальным при больших пылевыносах из печи [10].

Представление о стационарном процессе пылевыноса из цементной печи можно получить из следующих моделей пылевыноса.

Процесс пылеобразования и пылевыноса из цементной печи без возвращения пыли схематически представлен на рис. 1а).



Рис. 1. Схема пылеобразования, пылеосаждения и пылевыноса из цементной печи:

а) схема без возвращения пыли; б) схема с возвращением пыли из электрофильтра;

X – пылеобразование в цементной печи; $Y_б$, $Y_в$ – пылевынос из печи без возврата и с возвратом пыли в печь соответственно

Уравнение пылевыноса из цементной печи по схеме без возвращения пыли представляется в виде

$$Y_б = (1 - k)X, \quad (1)$$

где k – коэффициент пылеосаждения в цепной завесе.

Процесс пылеобразования и пылевыноса из цементной печи с возвращением пыли в цепную завесу (или за цепную завесу) схематически представлен на рис. 1 б). Уравнение пылевыноса из цементной печи по схеме с возвращением пыли имеет вид

$$Y_в = \frac{1-k}{k}X. \quad (2)$$

Уравнение (2) получается из соотношения $(X + Y_в)(1 - k) = Y_в$.

В таблице 1 для наглядности представлены пылевынос $Y_в$ из печи с возвращением пыли в печь и циркулирующая в цепной завесе пыль $(X + Y_в)$ при различных значениях коэффициента пылеосаждения k .

При стационарном режиме работы цементной печи можно оценить коэффициент пылеосаждения в цепной завесе следующим образом. Определяется пылевынос в стационарном режиме работы печи при пылевозврате в печь, то

есть величина $Y_в$. Затем отключается пылевозврат в печь и в стационарном режиме работы печи определяется пылевынос без пылевозврата, то есть величина $Y_б$. Если процессы в печи при этих режимах работы сопоставимы, то коэффициент пылеосаждения в цепной завесе определяется на основании соотношений (1) и (2) и равен

$$k = \frac{Y_б}{Y_в}. \quad (3)$$

Таблица 1

Зависимость пылевыноса из печи $Y_в$ и циркулирующей в цепной завесе пыли $(X + Y_в)$ при различных значениях коэффициента k пылеосаждения в цепной завесе при работе цементной печи по схеме с возвращением пыли

Коэффициент пылеосаждения в цепной завесе, k	Пылевынос из печи, $Y_в$	Циркулирующая в цепной завесе пыль, $X + Y_в$
0.3	2.33 X	3.33 X
0.4	1.50 X	2.50 X
0.5	1.00 X	2.00 X
0.6	0.67 X	1.67 X
0.7	0.43 X	1.43 X

Модели пылевыноса и пылеосаждения (1) – (3) являются линейными. Они могут быть уточнены с учётом ограниченности пылеосаждающих возможностей цепных завес.

Экспериментальные данные по аэродинамике цепных завес. Цепными завесами и аэродинамикой цепных завес определяются процессы теплообмена и теплопередачи от газа через цепи материалу и процессы пылеобразования и пылеосаждения в цепных завесах.

Аэродинамика цепных завес сложна из-за сложной конструкции цепных завес. Едва ли

удастся создать достаточно точную модель аэродинамики цепных завес теоретически, без использования экспериментальных данных. Исходя из этого была сделана попытка получения экспериментальных данных по аэродинамике цепных завес [9]. Эксперименты проведены на цементной печи № 6 ОАО «Осколцемент» размера 5×185 м. Схема цепной завесы и схема навески цепей приведены на рис. 2 и 3. Параметры цепной завесы представлены в таблице 2.



Рис. 2. Схема цепной завесы

а) коврик, участок V б) гирляндная навеска, участки III, IV в) свободновисящая навеска, участки I, II.

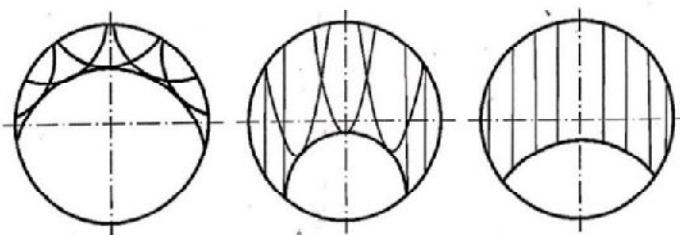


Рис. 3. Схемы навески цепей

Таблица 2

Параметры цепной завесы печи

Номер участка цепной завесы	I	II	III	IV	V
Тип навески цепей	св. вис.	св. вис.	гирл.	гирл.	гирл.
Плотность навески цепей, $\text{м}^2/\text{м}^2$	5.2	2.8	5.8	8.7	4.9
Число заходов цепной завесы	6	4	6	6	6
Длина цепей, м	3.6	3.6	5.76	5.76	2.8
Эффективная длина (провисание), м	3.6	3.6	2.74	2.74	0.89
Длина участка, м	5.5	15	7.2	18	11
Форма и размеры звеньев, ед.	круг 25×120	круг 25×120	овал 25×120	овал 25×120	овал 25×120

Примечания: свободный участок с холодного конца длиной 8.3 м.

На выходе в пыльную камеру шайба высотой 900 мм.

Схема навески гирлянды с первого отверстия на первое соседнего винта.

Экспериментальные исследования аэродинамики проводились на холодных остановленных печах при температуре 10 °С. В таблице 3 приведены результаты экспериментов с новой цепной завесой с литыми шероховатыми цепями, на печи без материала.

В таблице 4 приведены результаты экспериментов на той же печи, с той же цепной завесой, но с цепями, проработавшими 7 месяцев, и со слоем материала толщиной 900 мм по всей длине печи.

На стыке участков цепной завесы с гирляндной и свободно висящей навеской (сечение $x=28.8$ м) имеется порог высотой 0.86 м за счёт разности провисания цепей с гирляндной и свободно висящей навеской. Площадь живого сечения при переходе через это сечение уменьшается. Скорость движения воздуха под цепями возрастает, хотя часть воздуха перетекает в область, занятую цепями. С увеличением открытия шиберов скорость воздуха растёт. Сильно возрастает скорость воздуха за сечением $x=28.8$ м (см. сечение измерения $x=29$ м в табл. 3).

В экспериментах на печи с цепями, бывшими в работе 7 месяцев, и со слоем материала (табл. 4) на участке II цепной завесы цепи были подвязаны так, чтобы длина провисания их линейно возрастала с 2.74 до 3.6 м. Площадь живого сечения под цепями уменьшалась постепенно. Это привело к относительному уменьшению скорости в сечении измерения $x=29$ м (см. табл. 4).

Экспериментальные данные по аэродинамике цепей. Адекватное представление об аэродинамике цепей можно получить на основании аэродинамических экспериментов. Такая работа была проведена в аэродинамической лаборатории Харьковского авиационного института. Данные по аэродинамическому коэффициенту сопротивления гладких цепей по результатам аэродинамического эксперимента представлены на рис. 4 [7]. Коэффициент сопротивления одиночной вертикально висящей аэродинамически гладкой цепи можно представить в виде

$$\xi_0 = \frac{6.6}{W^2} + 2.2, \quad (4)$$

где W – безразмерная величина, равная численному значению скорости набегающего потока в м/с.

Таблица 3

Скорость движения воздуха в пустой печи

Номер серии измерений	Открытие шиберов в, %	Δp , мм вод. ст.	Номер точки измерения	Сечение измерения x , м									
				184	118	64	60	54	40	36	29	14	8
1	10	14.5	4	3.5	3.7	3.1	2.6	3.0	3.1	3.0	3.0	3.0	2.6
			3	3.5	2.5	3.2	3.9	3.4	3.0	3.0	3.0	3.1	2.6
			2	3.9	2.5	3.4	4.0	3.7	4.9	5.1	4.8	4.6	4.3
			1	3.5	2.5	3.2	4.0	3.6	5.1	4.9	5.4	4.6	4.4
2	15	15	4	3.4	2.5	3.2	2.5	3.0	3.2	2.6	2.8	3.2	3.1
			3	3.4	2.6	3.5	3.8	3.4	3.5	3.1	3.2	3.4	3.4
			2	3.7	2.5	3.5	4.1	3.8	5.0	5.8	5.8	4.8	4.8
			1	3.9	2.5	3.4	4.0	3.9	4.8	5.4	5.5	4.9	4.9
3	20	18.5	4	3.5	3.1	3.6	2.6	3.2	3.6	3.1	3.2	3.5	3.4
			3	3.7	3.2	3.6	4.3	3.8	3.6	3.2	3.0	3.6	3.4
			2	4.1	3.1	3.8	4.3	4.3	5.2	6.8	8.9	5.5	4.8
			1	3.7	3.0	3.7	4.2	4.3	5.0	7.3	8.9	5.8	5.0
4	25	23	4	4.1	3.5	4.1	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.8	–
			3	4.2	3.6	4.0	4.6	4.0	3.6	3.6	3.8	3.9	–
			2	4.7	3.5	4.1	4.8	4.8	6.4	10.3	4.2	7.7	–
			1	4.7	3.4	3.9	4.7	4.8	6.4	8.0	15.8	7.7	–
5	30	32.5	4	4.4	3.8	4.4	4.1	4.1	4.2	3.6	4.3	4.1	4.1
			3	4.5	3.9	4.4	5.0	4.3	4.4	3.9	4.3	4.2	4.1
			2	4.9	3.7	4.5	5.2	5.4	11.3	13.6	26.8	12.0	7.3
			1	5.4	3.7	4.4	5.1	4.9	10.0	13.6	25.3	12.0	13.0
6	35	45	4	4.7	4.2	4.9	4.3	3.0	4.7	4.2	–	4.4	4.2
			3	5.0	4.3	4.8	6.0	4.8	4.8	4.1	–	4.5	4.3
			2	6.8	4.1	4.8	6.5	7.7	14.6	16.4	–	14.4	6.4
			1	6.5	4.0	4.8	6.5	6.8	14.4	16.6	–	15.6	15.8
7	40	60	4	5.2	4.4	5.2	4.3	3.5	4.8	4.3	5.2	4.6	4.4
			3	5.8	4.4	5.1	6.4	5.5	5.1	4.2	5.2	4.7	4.7
			2	8.4	4.4	5.2	8.0	9.3	16.6	18.6	27.0	16.6	9.3
			1	8.4	4.3	5.1	8.0	9.3	16.4	19.4	27.3	18.2	17.8
8	45	77	4	5.4	4.7	6.4	4.6	3.1	4.9	4.5	–	4.8	–
			3	7.7	4.7	5.8	7.3	6.4	5.5	5.4	–	5.0	–
			2	8.4	4.8	5.8	10.8	12.6	19.2	22.0	–	19.1	–
			1	12.0	4.4	5.4	9.3	12.0	18.1	22.4	–	19.2	–

Примечания:

- измерения проводились на вертикальной оси печи;
- перепад давления Δp – это разность давлений в пыльной камере и головке печи;
- скорость движения воздуха в м/с
- номера точек измерения приведены на рис.

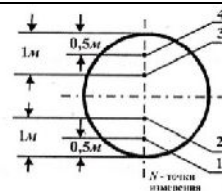


Таблица 4

Скорость движения воздуха в печи с материалом

Открытие ши- беров в %	Δр мм вод. ст.	Номер точки измерения	Сечение измерения x, м												
			118	64	59	54	49	44	36	29	26	23	20	17	4
30	57	2	10.2	14.5	15.6	15.6	7.7	12.2	16.6	15.2	13.8	13.8	16.6	15.2	18.2
		1	10.6	15.6	16.6	17.0	18.8	22.1	34.8	29.3	30.7	28.2	31.5	25.7	26.5

Примечания:

- измерения проводились на вертикальной оси печи;
- номера точек измерения приведены на рис.;
- толщина слоя материала ~ 900 мм по всей печи;
- высота шайбы в печи на выходе в пыльную камеру 900 мм;
- скорость движения воздуха в м/с
- на стыке гирляндной и свободно висящей цепных завес плавный переход длины свободновисящих цепей (см. рис. 2)

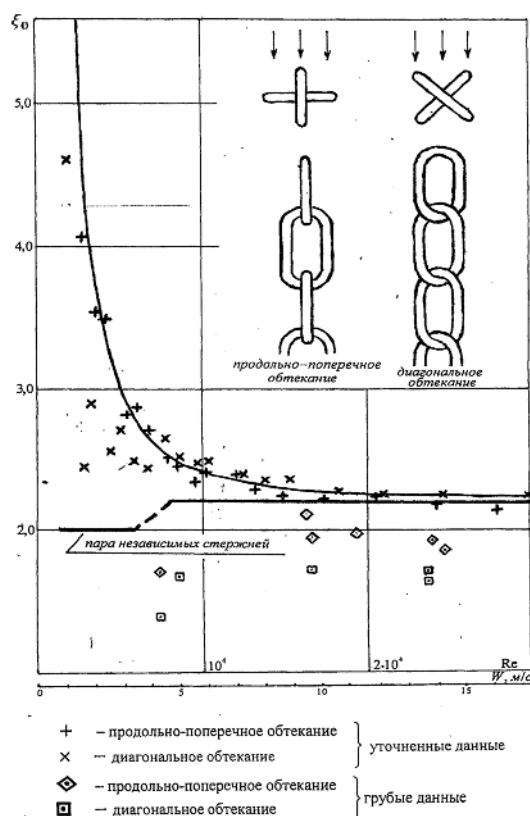
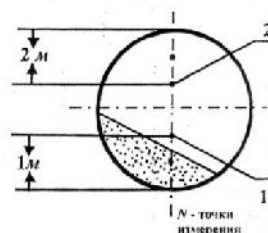


Рис. 4. Экспериментальные данные по коэффициенту сопротивления ξ_0 цепи ЦОН-25

Анализ характера аэродинамических процессов и модель аэродинамики цепной завесы цементной печи. Создание достаточно полной

модели аэродинамических процессов в цепной завесе – чрезвычайно сложная задача. Начальный этап – это разработка оценочных правдоподобных моделей. Наличие экспериментальных данных по аэродинамике цепной завесы и цепей позволяет получить представление о характере аэродинамики цепных завес на простых моделях аэродинамики на отдельных участках цепной завесы.

На достаточно длинных участках цепной завесы (например, на участках II и IV (см. табл. 2) во второй половине участков по движению газа следует ожидать установления стационарного распределения газа в зоне, занятой цепями, и в зоне под цепями, и отсутствия перетока газа из зоны в зону. В этом случае описание аэродинамики участка может быть дано на основании модели Кирхгофа. Аэродинамика участка цепной завесы описывается следующей системой уравнений:

$$\Delta p_1 = \Delta p_2, \quad (5)$$

$$S_1 W_1 + S_2 W_2 = S W, \quad (6)$$

где Δp_1 , Δp_2 – потери напора на участке длины L в зоне, занятой цепями, и в зоне под цепями; W_1 , W_2 , W – скорости газа в зоне, занятой цепями, в зоне под цепями и в зоне печи без цепей; S_1 , S_2 , S – площади живого поперечного сечения печи в зоне, занятой цепями, в зоне под цепями и всей печи.

Потеря напора (или перепад давления) на участке печи L в зоне под цепями описывается формулой Дарси-Вейсбаха [11, 12]:

$$\Delta p_2 = \lambda_2 \frac{L}{D} \frac{\rho W_2^2}{2}, \quad (7)$$

где λ_2 – коэффициент сопротивления части трубы под цепями; D – эквивалентный диаметр трубы; ρ – плотность газа; W_2 – средняя скорость газа в печи под цепями. Для перепада давления в зоне печи под цепями Δp_2 коэффициент сопротивления в случае турбулентного движения газа оценивается:

– в случае аэродинамически гладкой стенки формулой Блазиуса

$$\lambda_2 = \frac{0.3164}{Re^{0.25}}, \quad (8)$$

где Re – число Рейнольдса; $Re = \frac{W_2 D}{\nu}$; D – эквивалентный диаметр трубы для зоны печи под цепями; ν – кинематическая вязкость газа;

– в случае шероховатой стенки – формулой Шифринсона

$$\lambda_2 = 0.11 \left(\frac{k}{D} \right)^{0.25}, \quad (9)$$

где $\frac{k}{D}$ – относительная шероховатость. Кроме шероховатости на коэффициент сопротивления сильное влияние может оказать и волнистость поверхности [11, 13].

Для перепада давления в зоне печи, занятой цепями Δp_1 , используется формула потери напора для местных сопротивлений [11]:

$$\Delta p_1 = \xi_1 \frac{\rho W_1^2}{2} = \lambda_1 \frac{L}{D} \frac{\rho W_1^2}{2}, \quad (10)$$

где ξ_1 – коэффициент местных потерь (в рассматриваемом случае – это коэффициент сопротивления шторы цепей); $\lambda_1 = \lambda_{эф} = \xi_1 \frac{D}{L}$ – эффективный распределённый коэффициент сопротивления шторы цепей, L – длина, равная расстоянию между шторами цепей. Коэффициент сопротивления шторы цепей ξ_1 представляется в виде:

$$\xi_1 = \xi_0 \eta_k \eta_c, \quad (11)$$

где ξ_0 – коэффициент сопротивления одиночной цепи (формула (4)); η_k – коэффициент шероховатости цепи; η_c – коэффициент стеснённости потока газа в шторе между цепями [14].

Данные для определения границ турбулентного течения в трубе в условиях аэродинамически гладкой стенки и в условиях развитой шероховатости на стенке представлены на рис. 5 и 6.

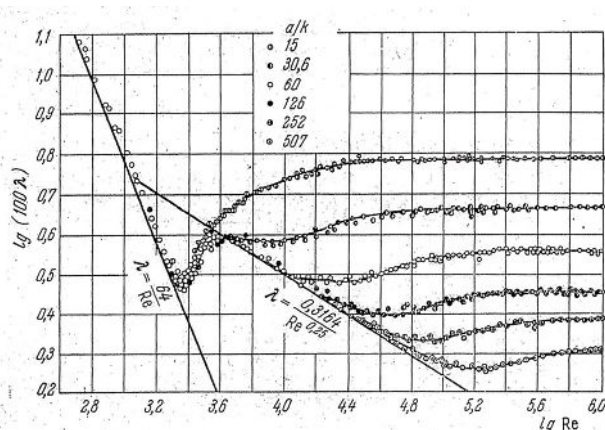


Рис. 5. Область течения в трубе с аэродинамически гладкими стенками и течения в условиях развитой шероховатости

($\frac{k}{a}$ – относительная шероховатость, a – радиус трубы) [12]

На рис. 5 приведены данные по определению границ аэродинамически гладкого течения и течения в условиях развитой шероховатости на стенке трубы и, следовательно, применимости формул Блазиуса и Шифринсона [11, 12]. На рис. 6 приведены данные по зависимости коэффициента ξ аэродинамического сопротивления цилиндра при поперечном обтекании от числа Рейнольдса и по коэффициенту η_k , учитывающему шероховатость цилиндра [14].

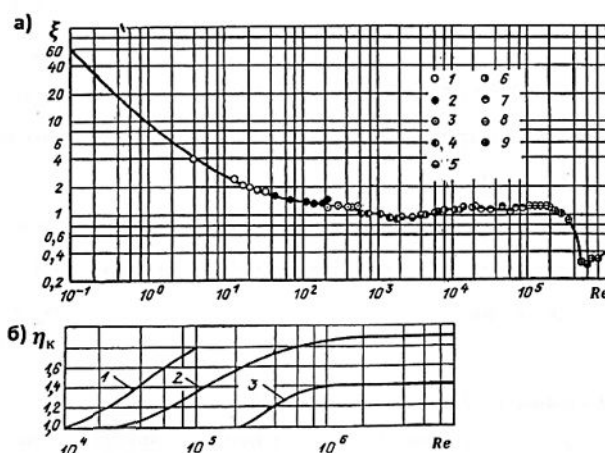


Рис. 6. Зависимость от числа Рейнольдса: а) коэффициента ξ аэродинамического сопротивления цилиндра при поперечном обтекании; б) коэффициента η_k , учитывающего шероховатость цилиндра при:

1) $\frac{k}{d} = 15 \cdot 10^{-3}$, 2) $\frac{k}{d} = 5 \cdot 10^{-3}$, 3) $\frac{k}{d} = 1 \cdot 10^{-3}$,

где $\frac{k}{d}$ – относительная шероховатость, k – абсолютная шероховатость в мм, d – диаметр цилиндра в мм [14]

Равенство (5) $\Delta p_1 = \Delta p_2$ может быть представлено в виде $\lambda_1 W_1^2 = \lambda_2 W_2^2$ или

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{W_2^2}{W_1^2}, \quad (12)$$

где λ_1 и λ_2 – коэффициенты сопротивления течению газа в зоне, занятой цепями, и под цепями на длине L , равной расстоянию между шторами цепей.

В таблице 5 приведены значения отношения λ_1/λ_2 для участков цепной завесы IV и II для пустой печи с новыми цепями, для сечений измерений 40 м и 14 м. Величина W_2 взята для точки измерения № 2, величина W_1 взята для точки измерения № 3.

В таблице 6 приведены значения отношения λ_1/λ_2 для участков цепной завесы IV (сечения 44 и 36 м) и II (сечения 20 и 17 м) для печи с цепями, проработавшими 7 месяцев, и с материалом в печи по всей длине.

Приведенные в таблице 5 экспериментальные данные могут быть интерпретированы следующим образом. При обтекании потоком газа

цепей с малой скоростью W_1 бугорки шероховатости погружены в вязкий подслей. Шероховатая цепь является аэродинамически гладкой. Коэффициент сопротивления шторы цепей λ_1 с ростом скорости W_1 уменьшается в соответствии с коэффициентом сопротивления ξ_0 на рис. 4. При дальнейшем увеличении скорости потока газа W_1 шероховатость цепей начинает проявляться, бугорки шероховатости выходят за пределы вязкого подслоя. Коэффициент сопротивления λ_1 начинает увеличиваться с ростом скорости W_1 , что и видно по таблице 5 (см. данные о $\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ при перепадах давления 14.5, 15, 18.5 мм вод. ст.). Коэффициент сопротивления λ_2 остаётся при этом примерно постоянным (об этом см. ниже).

Таблица 5

Отношение λ_1/λ_2 для пустой печи с шероховатыми цепями

Участок цепной завесы и сечение измерения		Перепад давления, Δp , мм вод. ст.							
		14.5	15	18.5	23	32.5	45	60	77
IV, 40 м	λ_1/λ_2	2.67	2.04	2.08	3.16	6.59	9.25	10.59	12.18
	W_1 , м/с	3.0	3.5	3.6	3.6	4.4	4.8	5.1	5.5
	W_2 , м/с	4.9	5.0	5.2	6.4	11.3	14.6	16.6	19.2
II, 14 м	λ_1/λ_2	2.20	1.99	2.33	3.89	8.16	10.24	12.47	14.59
	W_1 , м/с	3.1	3.4	3.6	3.9	4.2	4.5	4.7	5.0
	W_2 , м/с	4.6	4.8	5.5	7.7	12.0	14.4	16.6	19.1

Таблица 6

Отношение λ_1/λ_2 для печи с материалом и цепями, проработавшими 7 месяцев

Участок цепной завесы	IV		II	
	44	36	20	17
Сечение измерения, х, м				
Значение λ_1/λ_2	3.28	4.39	3.60	2.85
W_1 , м/с	12.2	16.6	16.6	15.2
W_2 , м/с	22.1	34.8	31.6	25.7

В зоне цепной завесы под цепями на стенке цементной печи находится слой цепей. На поверхности слоя цепей можно выделить два вида шероховатостей – шероховатость поверхности цепей и шероховатость, образованную самими цепями, которая на несколько порядков выше шероховатости поверхности цепей. Коэффициент сопротивления стенки λ_2 в зоне под цепями должен учитывать эти два вида шероховатостей. Чем меньше относительная шероховатость, тем в большем диапазоне скоростей W_2 (или чисел Рейнольдса) наблюдается обычное турбулентное движение, соответствующее гладким трубам (и

использованию формулы Блазиуса для расчётов сопротивления). С увеличением относительной шероховатости тормозящее влияние обтекаемой поверхности всё больше зависит от шероховатости – это режим течения при развитой шероховатости (для расчётов сопротивления при этом используется формула Шифринсона). Данные результатов экспериментов показывают, что под цепями не исключён режим течения газа при развитой шероховатости, создаваемой слоем цепей на стенке печи. К сожалению, имеющихся экспериментальных данных недостаточно для выявления характера течения в цементной печи. Данные эксперимента могут служить для проверки правильности принятых моделей течений (и коэффициентов сопротивлений). Однако с учётом большей определённости знания характера течения газа под цепями и коэффициента сопротивления λ_2 возможно (на основании имеющихся экспериментальных данных) получение представления о характере течения газа в зоне, занятой цепями, и о коэффициенте сопротивления цепных завес λ_1 .

В заключение следует сказать, что после решения вопроса о выборе коэффициентов сопротивления штор цепных завес λ_1 и коэффициента

сопротивления стенки печи λ_2 (в зоне под цепями) при разных режимах течения газа, можно перейти к разработке модели аэродинамики всей цепной завесы. Простейшей из таких моделей может быть модель Кирхгофа [7].

Свободный пограничный слой на границе раздела потоков газа в зоне цепной завесы, занятой цепями, и под цепями. Движение газа в цепной завесе цементной печи является турбулентным. При этом ярко выражены два потока: поток газа между цепями и поток газа под цепями. От каждой шторы цепей вниз по потоку на границе раздела потоков образуется плоский пограничный слой – свободный пограничный слой (свободный потому, что на пути пограничного

слоя нет ограничивающих поверхностей). Картина свободного пограничного слоя представлена на рис. 7.

Углом β_2 расширения пограничного слоя определяется заброс на цепи шторы цепной завесы газа из потока под цепями, обогащённого пылью, поднимаемой потоком газа с поверхности материала на поду цементной печи. Это приводит к увеличению пылеосаждения на цепях в цепной завесе (углом β_0 определяется луч, на котором скорость газа равна средней скорости потоков $W_0 = \frac{1}{2}(W_1 + W_2)$). Поэтому задача о свободном турбулентном пограничном слое представляет практический интерес.

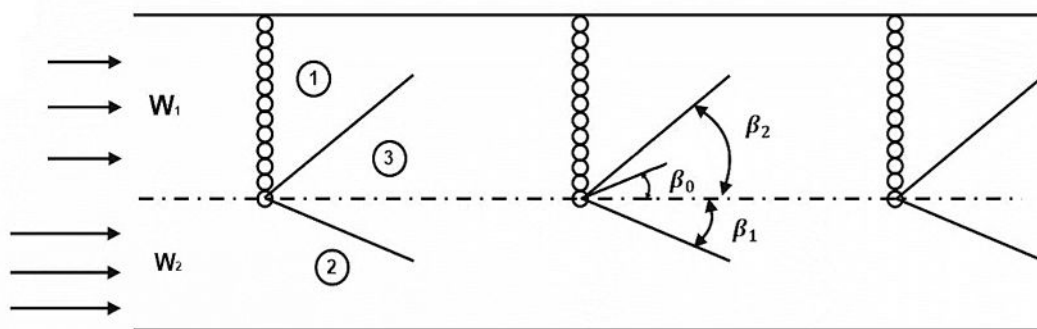


Рис. 7. Картина движения газа в цепной завесе цементной печи:

1 – поток газа в зоне, занятой цепями; 2 – поток газа в зоне под цепями; 3 – свободный турбулентный пограничный слой; W_1, W_2 – средние скорости газа в зоне, занятой цепями, и в зоне под цепями

Задача о свободном турбулентном пограничном слое, образующемся при смешении струи газа большого диаметра с окружающим её неподвижным газом, рассмотрена Толмином [12, 15], а задача о свободном турбулентном слое, образующемся при смешении плоских спутных потоков рассмотрена Гертлером [15].

Задача Толмина о свободном турбулентном пограничном слое в области смешения потока газа с неподвижным газом [12]. На рис. 8 приведена схема свободного пограничного слоя.

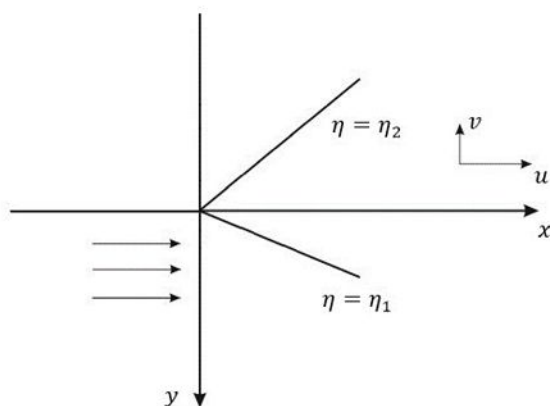


Рис. 8. Схема свободного пограничного слоя

Уравнение осреднённого турбулентного движения в пограничном слое представляются в виде

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau}{\partial y}, \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \quad (13)$$

$$\tau = \rho l^2 \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2, \quad (14)$$

где u, v – продольная и поперечная составляющие скорости газа, ρ – плотность газа, τ – напряжение трения, $l = l(x)$ – путь смешения Прандтля (первая гипотеза Прандтля, 1924 г.).

Вводится функция тока $\psi(x, y)$, так что $u = \frac{\partial \psi}{\partial y}$, $v = -\frac{\partial \psi}{\partial x}$. Уравнения движения (13) принимают вид

$$\frac{\partial \psi}{\partial y} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x \partial y} - \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = l^2(x) \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} \frac{\partial^3 \psi}{\partial y^3}. \quad (15)$$

Во всей области давление принимается постоянным. Величина $l = l(x)$ постоянна по поперечному сечению и зависит только от x . Скорость в невозмущённой части струи равна U_0 . Граничные условия для уравнения (15) следующие:

$$\begin{aligned} \psi &\rightarrow U_0 y, \quad \frac{\partial \psi}{\partial y} \rightarrow U_0 \text{ при } y \rightarrow \infty, x > 0; \\ \frac{\partial \psi}{\partial y} &= U_0 \text{ при } x \approx 0, y > 0; \\ \frac{\partial \psi}{\partial y} &\rightarrow 0 \text{ при } y \rightarrow -\infty, x > 0; \end{aligned} \quad (16)$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial y} = 0 \text{ при } x = 0, y < 0. \quad (17)$$

Если принять функцию тока $\psi(x, y)$ в виде

$$\psi = U_0 x \varphi\left(\frac{y}{x}\right) = U_0 x \varphi(\eta), \quad \eta = \frac{y}{x}, \quad (18)$$

то задача становится автомодельной, то есть уравнение с частными производными (15) сводится к обыкновенному дифференциальному уравнению

$$-\varphi \varphi'' = \frac{l^2}{x^2} \varphi'' \varphi'''. \quad (19)$$

При этом

$$\frac{\partial \psi}{\partial y} = U_0 \varphi'(\eta), \quad \frac{\partial \psi}{\partial x} = U_0 [\varphi(\eta) - \eta \varphi'(\eta)]. \quad (20)$$

Если принять

$$l(x) = cx, \quad (21)$$

то уравнение (19) принимает вид

$$\varphi''(c^2 \varphi''' + \varphi) = 0, \quad (22)$$

которое распадается на два уравнения

$$c^2 \varphi''' + \varphi = 0, \quad (23)$$

$$\varphi'' = 0. \quad (24)$$

Уравнение (24) соответствует движению в невозмущённой струе. Условия (16) и (17) дают при этом уравнения

$$\begin{aligned} \varphi(\eta) &= \eta, \quad \varphi'(\eta) = 1, \quad y > 0, \\ \varphi(\eta) &= \eta, \quad \varphi'(\eta) = 0, \quad y < 0. \end{aligned}$$

Наименьший положительный корень η_1 уравнения $\varphi'(\eta) = 1$ и наименьший по абсолютной величине корень η_2 уравнения $\varphi'(\eta) = 0$ определяют прямолинейные границы пограничного слоя смешения струи с окружающим её неподвижным газом:

$$\eta = \frac{y}{x} = \eta_1, \quad \eta = \frac{y}{x} = \eta_2. \quad (25)$$

Ширина струи пограничного слоя равна

$$b = b(x) = (\eta_1 - \eta_2)x. \quad (26)$$

Общее решение уравнения (23) имеет вид

$$\begin{aligned} \varphi(\eta) &= C_1 e^{-\alpha \eta} + C_2 e^{\frac{1}{2} \alpha \eta} \cos \frac{\sqrt{3}}{2} \alpha \eta + \\ &+ C_3 e^{\frac{1}{2} \alpha \eta} \sin \frac{\sqrt{3}}{2} \alpha \eta, \end{aligned} \quad (27)$$

$$\alpha = c^{-\frac{2}{3}}, \quad (28)$$

где α – единственная эмпирическая постоянная задачи (c – величина в соотношении (21)).

Для определения произвольных постоянных C_1, C_2, C_3 и граничных условий η_1 и η_2 используются следующие условия:

$$\begin{aligned} \varphi''(\eta_1) &= 0, \quad \varphi'(\eta_1) = 1, \quad \varphi(\eta_1) = \eta_1, \quad \varphi'(\eta_2) = 0, \\ \varphi''(\eta_2) &= 0. \end{aligned}$$

Исходя из этих условий, получается:

$$\begin{aligned} C_1 &= -0.0062, \quad C_2 = 0.987, \quad C_3 = 0.577, \\ \alpha \eta_1 &= 0.981, \quad \alpha \eta_2 = -2.04. \end{aligned} \quad (29)$$

На основании экспериментальных данных получено значение величины $\alpha = 11.8$. Следует

заметить, что величина α и c из формулы (21) зависят от предыстории потока, то есть от турбулентности набегающего потока.

Продольная u и поперечная v составляющие скорости в пограничном слое определяются с использованием формул (27) и (20) на основании соотношений $u = \frac{\partial \psi}{\partial y}, v = -\frac{\partial \psi}{\partial x}$.

С учётом (29), ширина пограничного слоя $b(x)$ получается следующей:

$$b(x) = \frac{\alpha \eta_1 - \alpha \eta_2}{\alpha} x = \frac{3.021}{11.8} x = 0.256x. \quad (30)$$

Решение задачи Толмина в [15] даёт для определённого по экспериментам значения

$$\alpha = 11.1, \quad a = \frac{1}{\alpha} = 0.09. \quad (31)$$

Ширина пограничного слоя при этом получается равной

$$b(x) = 0.27x. \quad (32)$$

Задача Гертлера о свободном турбулентном слое, образующемся при смешении плоских спутных потоков. Гертлер получил решение для турбулентного слоя смешения двух плоскопараллельных потоков исходя из новой теории Прандтля турбулентной вязкости (1944 г.), согласно которой напряжение трения в струе

$$\tau = \rho c \delta |u_m - u_\delta| \frac{\partial u}{\partial y}, \quad (33)$$

где c – постоянная, определяемая из опыта; δ – толщина пограничного слоя; $u_m = u_0$, u_δ – скорости спутных потоков, $u_\delta < u_m$.

Уравнения осреднённого турбулентного движения в пограничном слое представляются в виде (13), но величина τ берётся по формуле (33). Функция тока ψ берётся в виде

$$\psi = U x \varphi(\eta), \quad (34)$$

где

$$U = \frac{1}{2}(u_0 + u_\delta), \quad (35)$$

$$\eta = \sigma \frac{y - y_{0.5}}{x}, \quad (36)$$

σ – величина, определяемая из эксперимента, $y_{0.5}$ – ордината линии, на которой скорость $U = \frac{u_0 + u_\delta}{2}$. Продольная и поперечная скорости находятся по формулам

$$\frac{u}{U} = \sigma \varphi'(\eta), \quad \frac{v}{U} = \eta \varphi'(\eta) - \varphi(\eta). \quad (37)$$

При подстановке в уравнения (13) величины τ по формуле (33), функций u и v по формулам (37) получается уравнение, описывающее пограничный слой

$$\varphi''' + 2\sigma \varphi \varphi'' = 0. \quad (38)$$

Решение этого уравнения ищется в виде ряда

$$\sigma \varphi = \sum_{v=0}^{\infty} \lambda^v F_v(\eta), \quad (39)$$

где

$$\lambda = \frac{u_0 - u_\delta}{u_0 + u_\delta}. \quad (40)$$

Гертлер нашёл, что функции $F_0(\eta)$ и $F_1(\eta)$ составляют основную часть ряда (39) и остальными

слагаемыми можно пренебречь. Для этих функций получается:

$$F_0(\eta) = \eta, \quad (41)$$

$$F_1''' + 2\eta F_1'' = 0, \quad (42)$$

$$F_1'(0) = 0, F_1'(\eta) = \pm 1 \text{ при } \eta = \pm \infty. \quad (43)$$

Интегрирование уравнения (42) при условиях (43) даёт

$$F_1'(\eta) = \operatorname{erf}(\eta), \quad (44)$$

где $\operatorname{erf}(\eta) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^\eta e^{-\eta^2} d\eta$ – интеграл вероятности. Продольная составляющая скорости u определяется по формуле

$$\frac{u}{U} = 1 + \lambda \operatorname{erf}(\eta). \quad (45)$$

Выражение для продольной составляющей скорости u в зоне смешения двух спутных потоков приводится к виду

$$\frac{u-u_\delta}{u_0-u_\delta} = 0.5(1 + \operatorname{erf}(\eta)) \quad (46)$$

Выражение для поперечной скорости в пограничном слое получается в виде

$$\sigma \frac{v}{U} = \lambda \eta \operatorname{erf}(\eta) - \int_0^\eta \operatorname{erf}(\eta) d\eta - 0.528. \quad (47)$$

Положение линии $\eta = 0$, на которой скорость равна $U = \frac{1}{2}(u_0 + u_\delta)$ и относительно которой границы зоны смешения симметричны – это линия

$$\eta_0 = \sigma \frac{y_{0.5}}{x} = -0.528. \quad (48)$$

В теории Гертлера пограничный слой является асимптотическим ($-\infty < y < \infty$), а в теории Толмина – конечной толщины. Поэтому в решении Гертлера под толщиной пограничного слоя можно понимать конечное расстояние между двумя точками, в одной из которых скорость близка к u_0 , а в другой – к u_δ . Например,

$$\begin{aligned} u_1 - u_\delta &= 0.9835(u_0 - u_\delta), \\ u_2 - u_\delta &= 0.0165(u_0 - u_\delta). \end{aligned} \quad (49)$$

Используя формулу (46), получаем:

$$\begin{aligned} \operatorname{erf}(\eta_1) &= 0.967 \Rightarrow \eta_1 \approx 1.51, \\ \operatorname{erf}(\eta_2) &= -0.967 \Rightarrow \eta_2 \approx -1.51. \end{aligned}$$

Если исходить из данных экспериментов $\sigma = \frac{1}{a} = \frac{1}{0.09} = 11.1$ (см. (31)), то ширина конечного пограничного слоя окажется равной

$$b(x) = \frac{\eta_1 - \eta_2}{\sigma} x = \frac{3.02}{11.1} x = 0.27x. \quad (50)$$

Границы конечного пограничного слоя в (49) выбраны из условия совпадения ширины конечного пограничного слоя по Гертлеру с шириной конечного пограничного слоя по Толмину (32).

Ширина пограничного слоя в спутных потоках $b_c(x)$ со скоростями u_0 и u_δ ($u_\delta < u_0$) определяется формулой

$$b_c(x) = \frac{u_0 - u_\delta}{u_0 + u_\delta} b(x) = \frac{1-m}{1+m} b(x), \quad (51)$$

где $m = \frac{u_\delta}{u_0}$, $b(x)$ – ширина пограничного слоя при смешении потока газа с неподвижным газом.

Приведём сводные данные по свободному пограничному слою для случая, когда параметр $\sigma = \alpha = 11.1$, $a = \frac{1}{\alpha} = 0.09$ при смешении газа с неподвижным газом:

– угол β_1 между прямой $y = \eta_1 x$ и осью Ox равен

$$\beta_1 = \arctg \frac{\eta_1}{\alpha} = \arctg \frac{0.981}{11.1} = 5.05^\circ;$$

– угол β_2 между прямой $y = \eta_2 x$ и осью Ox равен

$$\beta_2 = \arctg \frac{\eta_2}{\alpha} = \arctg \left(-\frac{2.04}{11.1} \right) = -10.41^\circ;$$

– угол β_0 между прямой $y = \eta_0 x$ и осью Ox равен

$$\beta_0 = \arctg(-0.528/11.1) = -2.72^\circ;$$

(β_0 – угол, относительно которого пограничный слой симметричен, и на луче этого угла скорость равна средней скорости спутных потоков);

– угол раствора пограничного слоя $\beta = \beta_1 - \beta_2 = 15.46^\circ$.

При отношении скоростей спутных потоков $m = \frac{1}{2}$, что имеет место, например, в экспериментальных данных по аэродинамике цепных завес (см. табл. 6, сечения измерений 36 м и 20 м), ширина пограничного слоя равна

$$b_c(x) = \frac{1}{3} b(x). \quad (52)$$

При этом получаются углы $\beta_1 = 1.68^\circ$; $\beta_2 = -3.47^\circ$; $\beta_0 = -0.91^\circ$; $\beta \approx 5.15^\circ$. Продольные скорости меняются плавно от $u_0 = W_2$ на луче угла β_1 до $u_\delta = W_1$ на луче угла β_2 при значении $\frac{1}{2}(u_0 + u_\delta) = \frac{1}{2}(W_2 + W_1)$ на луче угла β_0 .

Приведённые оценки показывают, что заброса на шторы цепей газа из потока под цепями практически нет: граница заброса под углом $\beta_2 = 3.5^\circ$, а заброс газа со средней скоростью потоков $\frac{W_2 + W_1}{2}$ происходит под углом $\beta_0 \approx 1^\circ$.

Закключение. 1. Получена оценка коэффициента пылеосаждения в цепной завесе цементной цепи, позволяющая оценивать коэффициент пылеосаждения на работающей печи и оценивать значимость конструктивных мероприятий по увеличению пылеосаждения в цепной завесе и уменьшению пылевыноса.

2. Представлена оценка турбулентного пограничного слоя на поверхности соприкосновения потоков газа между цепями и под цепями в цепной завесе. Представленная оценка показывает, что толщина пограничного слоя мала. Это означает, что в цепной завесе цементной печи достаточно чётко выделяются потоки газа между цепями и под цепями и что незначителен заброс газа через пограничный слой из потока газа под цепями, обогащённого пылью, в поток газа между цепями для увеличения пылеосаждения на цепях.

3. Проведен анализ экспериментальных данных по аэродинамике цепей и цепных завес. Анализ показывает, что возможно получение достаточно точных оценок аэродинамических коэффициентов сопротивления движению газа в цепных завесах, необходимых для построения математических моделей аэродинамики цепных завес цементных печей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федоренко Б.З., Классен В.К. Математическая модель процессов тепломассопереноса в цепной зоне цементной печи // Материалы Всесоюзной конференции «Фундаментальные исследования и новые технологии в строительном материаловедении». Белгород: БТИСМ. 1989. С. 113.
2. Федоренко Б.З. Математическая модель теплотехнологических процессов в цепных завесах вращающихся цементных печей // Цемент. 1993. № 3. С. 18–22.
3. Федоренко Б.З., Борзенков А.В., Петрашев В.И. Комплекс программ для расчёта теплотехнологических процессов в цепных завесах вращающихся цементных печей // Цемент. 1993. № 3. С. 17–18.
4. Федоренко Б.З., Горлов А.С. Математическое моделирование управления движением материала в зоне цепной завесы вращающейся цементной печи // Ресурсо- и энергосберегающие технологии строительных материалов, изделий и конструкций: Междунар. конф., Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 1995. С. 91–92.
5. Федоренко Б.З. Математическое моделирование тепломассообменных процессов в цепных завесах цементных печей // Известия ВУЗов. Строительство. 2000. № 10. С. 129–135.
6. Федоренко Б.З. Моделирование, анализ и оптимизация теплотехнологических процессов в цепных завесах цементных печей // Современные проблемы строительного материаловедения: материалы Седьмых академ. чтений РААСН, Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2001. Ч. 2. С. 347–359.
7. Федоренко Б.З. Математическая модель аэродинамики вращающейся цементной печи // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2003. № 6. С. 401–421.
8. Федоренко Б.З. Турбулентное движение жидкости: уточнённая модель Прандтля // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2005. № 10. С. 302–306.
9. Степанов В.В., Чеботарь А.А., Федоренко Б.З. Аэродинамика цепных завес цементных печей: экспериментальные данные // Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в стройиндустрии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород: Изд-во БГТУ. 2007. Ч. 2. С. 263–266.
10. Классен В.К. Технология и оптимизация производства цемента. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 308 с.
11. Альтшуль А.Д., Животовский Л.С., Иванов Л.И. Гидравлика и аэродинамика. М.: Стройиздат, 1987. 415 с.
12. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1987. 840 с.
13. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974. 717 с.
14. Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление. М.: Энергоатомиздат, 1990. 367 с.
15. Абрамович Г.Н., Гиршович Т.А., Крашенинников С.Ю., Секундов А.Н., Смирнов И.П. Теория турбулентных струй. М.: Наука, 1984. 717 с.

Информация об авторах

Федоренко Борис Зиновьевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики.

E-mail: bz9393@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Горлов Александр Семенович, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой высшей математики.

E-mail: belgoras@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Петрашев Владимир Иванович, старший преподаватель кафедры высшей математики.

E-mail: petrashev_v@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в апреле 2018 г.

© Федоренко Б.З., Горлов А.С., Петрашев В.И., 2018

B.Z. Fedorenko, A.S. Gorlov, V.I. Petrashev

MODELS OF AERODYNAMIC PROCESSES IN THE CHAIN VEILS OF CEMENT KILNS

This article deals with questions related to aerodynamics of the chain veils of the cement kilns by the wet production method: dust deposition and dust taking out from the cement kiln; turbulent boundary layer on the contact surface of the gas flows between chains and under chains in the chain veil; analysis of the experimental data on aerodynamics of the chain veils with the aim to refine the character of the aerodynamic processes. The estimation of the coefficient of dust deposition in the chain veil of the cement kiln is obtained, which allows to estimate the coefficient of dust deposition on the working kiln and to assess the significance of the constructive measures to increase the dust deposition in the chain veil and to decrease the taking out of dust. The presented model of the dust deposition in a chain veil is linear. If appropriate experimental data are available, the model can be refined taking into account the limitations of the dust deposition capability of the chain veil. An estimate of the turbulent boundary layer on the contact surface of the gas flows between the chains and under the chains in the chain veil is presented, which shows that the thickness of the boundary layer is small. This means that the chain veil of the cement kiln is sufficiently clear to distinguish gas flows between the chains and under the chains and that the throw of the gas through the boundary layer from the gas flow under the chains, enriched with dust, into the gas flow between the chains is minor to increase dust deposition on the chains. Experimental data on the aerodynamics of the chain veils and chains obtained with the participation of BSTU in these works are presented. On the basis of these data, the character of aerodynamic processes in the chain veils is specified. The analysis shows that it is possible to obtain sufficiently accurate estimates of the aerodynamic coefficients of resistance to the motion of gas in the chain veils, necessary for the construction of mathematical models of aerodynamics of the chain veils of the cement kilns.

Keywords: the chain veil of a cement kiln, dust deposition and taking out the dust from a cement kiln, a turbulent boundary layer, aerodynamics of the chain veil of a cement kiln.

REFERENCES

1. Fedorenko B.Z., Klassen V.K. Mathematical model of heat and mass transfer processes in the chain zone of a cement kiln Proceedings of the all-Union conf. "Fundamental research and new technologies in building materials science". Belgorod: BTIM. 1989, 113 p.
2. Fedorenko B.Z. Mathematical model of heat processes in the chain veils of rotary cement kilns. Cement, 1993, no. 3, pp. 18–22.
3. Fedorenko B.Z., Borzenkov A.V., Petrashev V.I. Complex of the programs for calculation of heat processes in the chain veils of rotary cement kilns. Cement, 1993, no. 3, pp. 17–18.
4. Fedorenko B.Z., Gorlov A.S. Mathematical modeling of motion control of the material in the zone of the chain veil of a rotating cement kiln. Resource and energy-saving technologies of building materials, products and structures: International conf. Belgorod: Publishing house BelSTABM, 1995, pp. 91–92.
5. Fedorenko B.Z. Mathematical modeling of heat and mass transfer processes in the chain veils of cement kilns. News of higher educational institutions. Building, 2000, no. 10, pp. 129–135.
6. Fedorenko B.Z. Modeling, analysis and optimization of thermal processes in the chain veils of cement kilns. Modern problems of building materials: materials of the Seventh academic readings RAABS, Belgorod: Publishing house BelSTABM, 2001, part 2, pp. 347–359.
7. Fedorenko B.Z. Mathematical model of aerodynamics of a rotating cement kiln. Bulletin BSTU named after V.G. Shukhov, 2003, no. 6, pp. 401–421.
8. Fedorenko B.Z. Turbulent fluid motion: a refined Prandtl model. Bulletin BSTU named after V.G. Shukhov, 2005, no. 10, pp. 302–306.
9. Stepanov V.V., Chebotar A.A., Fedorenko B.Z. Aerodynamics of the chain veils of the cement kilns: experimental data. Science research, nanosystems and resource saving technologies in the building industry. International. science.- prakt. Conf.], Belgorod: Publishing house BSTU, 2007, part 2, pp. 263–266.
10. Klassen V.K. Technology and optimization of cement production. Belgorod: Publishing house of BSTU. 2012, 308 p.
11. Altshul A.D., Zhivotovsky L.S., Ivanov L.I. Hydraulics and aerodynamics. Moscow: Stroizdat. 1987, 415 p.
12. Loytzyansky L.G. Mechanics of liquid and gas. Moscow: Science. 1987, 840 p.
13. Schlichting G. Boundary layer theory. Moscow: Science. 1974, 717 p.
14. Kutateladze S.S. Heat Transfer and Hydrodynamic Resistance. Moscow: Energoatomizdat. 1990, 367 p.
15. Abramovich G.N., Girshovich T.A., Krashenninnikov S.Yu., Sekundov A.N., Smirnov I.P. Theory of turbulent jets. Moscow: Science. 1984, 717 p.

*Information about the author***Boris Z. Fedorenko**, PhD, Assistant professor.

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

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Aleksandr S. Gorlov, PhD, Assistant professor.

E-mail: belgoras@mail.ru

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

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Vladimir I. Petrashev, Senior lecturer.

E-mail: petrashev_v@mail.ru

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

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

*Received in April 2018***Для цитирования:**

Федоренко Б.З., Горлов А.С., Петрашев В.И. Модели аэродинамических процессов в цепных завесах цементных печей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №7. С. 103–115. DOI: 10.12737/article_5b4f02c143dc21.96604314.

For citation:

Fedorenko B.Z., Gorlov A.S., Petrashev V.I. Models of aerodynamic processes in the chain veils of cement kilns. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no.7, pp. 103–115. DOI: 10.12737/article_5b4f02c143dc21.96604314.

¹Борсяков А.С., д-р техн. наук, проф.,²Афанасьев А.А., д-р техн. наук, проф.¹Воронежский государственный университет инженерных технологий²Белгородский государственный технологический университет

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ БОРСОДЕРЖАЩИХ ПОКРЫТИЙ НА СТАЛЯХ

Технологические процессы получения многокомпонентных борсодержащих покрытий основываются на диффузионном насыщении поверхностных слоев деталей машин бором совместно с другими легирующими элементами. В этих процессах определяющее значение на прочностные и эксплуатационные характеристики деталей имеет толщина диффузионного слоя, оптимальное значение которого до настоящего времени практически не выяснена. Основными параметрами из различных показателей технологических процессов являются температура и длительность технологического параметра. Другие параметры добавляются в зависимости от специфики метода формирования диффузионных слоев. Многовариантность режимов диффузионного насыщения поверхностных слоев деталей способствует уменьшению стабильности их технологических и эксплуатационных свойств. Таким образом, возникает проблема решения задач с множественными критериями и экстремумами. В данной работе решены поиски оптимальных параметров процессов диффузии одного или нескольких элементов в поверхностные слои стали 40ХНМА. Для этого использовался аппарат планирования научных исследований, включающий метод полного факторного эксперимента вместе с задачей линейного программирования нахождения множителей Лагранжа и градиентным методом поиска оптимальных значений в соответствии с принципом Парето решений. Итогом настоящей работы явилось нахождение уравнений регрессии зависимости толщины диффузионного (боридного) слоя от условий химико-термической обработки для ряда марок инструментальных и конструкционных сталей.

Ключевые слова: оптимизация процессов, факторный эксперимент для диффузионных процессов, метод Парето, оптимизация физико-механических характеристик, оптимизация эксплуатационных свойств, кинетика формирования диффузионных слоев.

Введение. Технология нанесения покрытий на металлы и сплавы [1] и влияние небольших по толщине (менее 100 мкм) полученных слоев на технологические и эксплуатационные характеристики деталей всегда будут вызывать научный интерес в связи с непрерывным совершенствованием производственных процессов при разных уровнях развития технического прогресса. Наряду с разработкой и исследованием методов нанесения покрытий на металлические и неметаллические основы, которые представляют инновационные технологические направления [2], представляет интерес применение инновационных усовершенствований в традиционных методах получения диффузионных слоев на металлах и сплавах с сокращенными сроками получения покрытий, т.е. слоев с меньшей толщиной по сравнению с предыдущими методами. Исследованию подвергались диффузионные слои, получаемые одновременным насыщением бором и другими элементами [3, 4].

Методика расчета. Одной из поставленных задач работы было получение закономерностей взаимодействия различных технологических и механических параметров, в частности кривые

равных значений (номограммы). Для их расчета применяются уравнения регрессии [5, 6]:

$Y_1 = f(X_1, X_2, X_3)$, например, для параметра σ_b – предела прочности стали марки 40ХНМА.

$$Y_1 = 937,74 + 7,73X_1 + 9,92X_2 - 50,86X_3 - 32X_1X_2 - 16,75X_1X_3 - 19,25X_2X_3 + 0,9X_1^2 + 4,79X_2^2 - 18,73X_3 \quad (1)$$

В связи с тем, что результаты расчета функциональных зависимостей наносятся на плоскость, то уравнения регрессии должны быть приведены к виду с двумерными переменными. Возможны варианты:

$$Y_1 = f(X_1, X_2); \quad X_3 = \text{const}$$

$$Y_1 = f(X_2, X_3); \quad X_1 = \text{const}$$

$$Y_1 = f(X_1, X_3); \quad X_2 = \text{const}$$

Примем $X_3 = 0 \rightarrow (1)$:

$$Y_1 = 937,74 + 7,73X_1 + 9,92X_2 - 32X_1X_2 + 0,9X_1^2 + 4,79X_2^2 \quad (2)$$

Определим координаты центра поверхности дифференцированием уравнения (2) по X_1 и X_2 и приравняв полученные уравнения к нулю:

$$\frac{dY_1}{dX_1} = 7,73 - 32X_2 + 1,8X_1 = 0 \quad (3)$$

$$\frac{dY_1}{dX_2} = 9,92 - 32X_1 + 5,58X_2 = 0$$

Решение полученной системы линейных уравнений (3) приводит к нахождению координат центра двумерной поверхности:

$$X_{1S} \cong 0,26$$

$$X_{2S} \cong 0,3 \quad (4)$$

(4) $\rightarrow$ (2). Отсюда определяется значение выходного параметра в центре поверхности Y_S :
 $Y_{1S} = 920$.

Запишем уравнение (2) в каноническом виде. Для этого следует составить характеристический полином по уравнению (2) и приравнять его к нулю:

$$\begin{vmatrix} (b_{11} - B) & 0,5b_{12} \\ 0,5b_{21} & (b_{22} - B) \end{vmatrix} = 0,$$

здесь B – канонический коэффициент.

В нашем случае это будет выглядеть так:

$$\begin{vmatrix} (0,9 - e) & -16 \\ -16 & (4,79 - e) \end{vmatrix} = 0,$$

Преобразуем это выражение:

$$(0,9 - B)(4,79 - B) - 16 \cdot 16 = 0.$$

В результате приходим к квадратному уравнению:

$$B^2 - 5,69B - 319,69 = 0.$$

Результат решения этого уравнения является основанием правильности проведенных расчетов.

Записываем каноническое уравнение:

$$Y - Y_S = B_1 X_1^2 + B_2 X_2^2.$$

В нашем примере:

$$Y - 920 = -15,26X_1^2 + 20,95X_2^2. \quad (5)$$

Известно, что если знаки перед B_i разные, то в трехмерном пространстве полученное тело представляет собой гиперboloид, если же знаки перед B_i одинаковы, то – эллипсоид.

Установлено для эллипсоида: если знаки перед коэффициентом B положительные (+), то в центре поверхности находится минимум, если отрицательные (–), то – максимум. Наносим на плоскость кривые равных значений.

Примем, что уравнение $Y = f(X_1, X_2)$ в трехмерном пространстве является эллипсоидом.

Задаем значениями $Y = \text{const}$: $Y_1, Y_2, \dots$. Сечение пространственного тела плоскостью представляет везде эллипс. Проецируем полученные сечения на плоскость (X_1, X_2) . Получаем семейство кривых равных значений, то есть кривых (в данном случае эллипсов), для каждой точки которой $Y = \text{const}$.

То же самое выполним для трехмерного тела – гиперboloида.

Для переменной Y в уравнении (5) задаем последовательно значения, например, Y : 930, 950, 970, 990, 1010.

$$1 = \frac{X_1^2}{a^2} + \frac{X_2^2}{b^2} \quad - \text{ эллипс}$$

$$1 = \frac{X_1^2}{a^2} - \frac{X_2^2}{b^2} \quad - \text{ гиперboloид}$$

$$Y = 930$$

$$930 - 920 = -15,26X_1^2 + 20,95X_2^2$$

$$10 = -15,26X_1^2 + 20,95X_2^2$$

$$1 = -15,26X_1^2 + 2,095X_2^2$$

$$1 = -\frac{X_1^2}{\frac{1}{15,26}} + \frac{X_2^2}{\frac{1}{2,095}}$$

Определяем характеристические точки гиперboloида (или эллипса) – вершин a и b .

Семейство уравнений асимптот для гиперболы рассчитывают по выражению:

$$X_2^{\odot} = \pm X_1^{\odot} \frac{b}{a}.$$

При взаимном влиянии параметров процесса упрочнения диффузионным насыщением, т.е. при наличии в уравнении (2) межфакторного взаимодействия $(X_1 X_2)$ следует определить угол поворота осей:

$$\alpha = \arctg \left[\frac{b_{12}}{2(B_{22} - b_{22})} \right].$$

Далее необходимо построить кривые равных значений. Для этого следует перенести оси в центр поверхности с координатами X_{1S} и X_{2S} (см.4) – оси X'_1 . Для этого новые оси поворачивают на угол α и на повернутых осях наносят гиперболы (эллипсы).

Технология. Диффузионные слои могли быть получены в твердой, газовой и жидкой средах. Инновационным усовершенствованием в

технологическом процессе было активирование насыщающей среды на основе или реверсирования электролизного тока, или реверсирования газового потока, или обеспечения псевдокипения порошкообразной насыщающей среды [7, 8]. Активирование позволяет увеличить скорость диффузионного проникновения насыщающих элементов, повысить сплошность покрытий и сократить время технологической обработки.

Основной текст. Основной целью настоящей работы было нахождение оптимальных режимов процесса электролизного насыщения бором и бором совместно с другими элементами различных марок сталей: инструментальных,

штамповых, быстрорежущих, например таких как: 40ХНМА, У8, ХВГ, Х12М, Р6М5.

Для исследования взаимодействия основных факторов, влияющих на процесс химико-термической обработки стали 40ХНМА, были применены математические методы планирования эксперимента [9]. В качестве изучаемых факторов были выбраны температура борирования (X_1), время борирования (X_2) и температура последующего отпуска (X_3) с выдержкой в течение одного часа. Основным уровнем, интервалы варьирования и матрицы ортогонального композиционного плана были выбраны на основе полученных ранее экспериментальных данных (табл.1).

Таблица 1

Пределы изменения факторов

№ п/п	Условия планирования	X_1 (К)	X_2 (мин)	X_3 (К)
1.	Основной уровень	1123	60	823
2.	Интервал варьирования	30	30	50
3.	Верхний уровень	1153	90	873
4.	Нижний уровень	1093	30	773
5.	Верхнее "звездное" плечо	1173	110	907
6.	Нижнее "звездное" плечо	1073	10	739

В качестве оптимизируемых параметров брались показатели механических свойств:

U_1 – σ_B , показатель прочности, определяемый стандартом как предел прочности стали (МПа);

U_2 – $\sigma_{0,2}$, показатель прочности, определяемый стандартом как условный предел текучести стали (МПа);

U_3 – ψ , показатель прочности, определяемый стандартом как относительное сужение стали (%);

U_4 – δ , показатель прочности, определяемый стандартом как относительное удлинение стали (%);

Для технологических процессов, таких как диффузионное насыщение поверхностных слоев детали, целесообразно применить полный факторный эксперимент. Что и было сделано в сочетании с центральным композиционным ротационным униформпланированием, являющимся методом реализации экспериментального планирования и позволяющим получить статистическую модель в виде полинома второй или более высокой степени. Сердцевинной центральных композиционных планов является полный факторный эксперимент (ПФЭ) 1-го порядка типа 2 при $K < 5$, либо 2 при $K \geq 5$. Центральными их называют вследствие симметричности относительно центра плана. Композиционными называют потому, что они komponуются путем добавления

определенного количества опытов к плану 1-го порядка.

Последовательность экспериментов устанавливалась на основе использования таблицы случайных чисел, что исключало влияние неконтролируемых параметров на результаты эксперимента.

Обработка результатов эксперимента проводилась по общепринятым методикам, в которых использовались различные статистические критерии для оценки результатов обработки, например для проверки однородности дисперсий – критерий Кохрена, для оценки значимости коэффициентов уравнений регрессии – критерий Стьюдента, для выяснения адекватности математической модели процесса – критерий Фишера.

Составленная для заданных условий матрица для диффузионного насыщения поверхностных слоев сталей обеспечила получение аналитических зависимостей механических свойств от параметров термообработки такого вида по числу факторов:

$$U_1' = 1028 + 22,5X_1 - 9,6X_2 - 115X_3 + 4,5X_1X_2 - 8,2X_1X_3 + 2X_2X_3 + 30,2X_1^2 + 145X_2^2 + 3X_3^2, \text{Па}; \quad (6)$$

$$U_2' = 930,5 + 19,9X_1 - 7,5X_2 - 113,3X_3 + 12,7X_1X_2 - 2,5X_2X_3 + 28,6X_1^2 - 16,9X_2^2 - 2,5X_3^2, \text{МПа}; \quad (7)$$

$$U_3' = 35,8 - 2,8X_1 - 3,2X_2 + 7,9X_3 +$$

$$+1,5X_1X_3+1,5X_1^2+0,9X_2^2+1,2X_3^2, \%; \quad (8)$$

$$Y_4'=9,4-0,8X_1-0,1X_2+2,1X_3+0,3X_1X_2+ \\ +0,3X_1X_3+0,5X_2X_3-0,5X_1^2-0,6X_2^2-0,5X_3^2, \%. \quad (9)$$

Уравнения регрессии (6–9) позволяет выделить факторы, оказывающие наибольшее влияние на исследуемые процессы. Знак плюс перед коэффициентами указывает на то, что при увеличении значения независимого переменного значения выходного фактора увеличивается, а знак минус – уменьшается. Числовые значения, выражающие отношение коэффициентов, стоящих перед линейными членами X_1 , X_2 и X_3 , показывает степень влияния параметров относительно друг друга. Полученная информация позволяет составить определенное представление о влиянии различных факторов химико-термической обработки на исследуемые параметры, а также построить математические модели, делающие возможность рассчитать значения выходных (прогнозируемых) параметров внутри выбранных интервалов изменения переменных. Отношение коэффициентов, стоящих перед линейными членами X_1 , X_2 и X_3 , показывает степень влияния параметров относительно друг друга (табл.2)

Полиномиальная модель позволяет строить графики и диаграммы, обеспечивающие дополнительную наглядную информацию при решении задач нахождения оптимальных значений параметров. В этом плане представляет интерес нахождения одинаковых их значений в виде семейств полученных аналитических зависимостей. На рис.1 даны кривые равных значений показателя прочности стали – предела прочности σ_B хромо-никеле-молибденовой стали (40ХНМА)

от выходных показателей. Представленные кривые практически несут смысл номограмм и поэтому пригодны для справочного использования. Для определения оптимальных режимов анализируемого процесса диффузионного насыщения может быть использован так называемый метод «ридж - анализ» удобный для специфических ситуаций, когда имеются сильные корреляции между факторами, входящими в модель, вследствие чего матрица $X^T X$ становится практически вырожденной и затруднительно найти единственное решение. Процесс основывается на использовании метода неопределенных множителей Лагранжа.

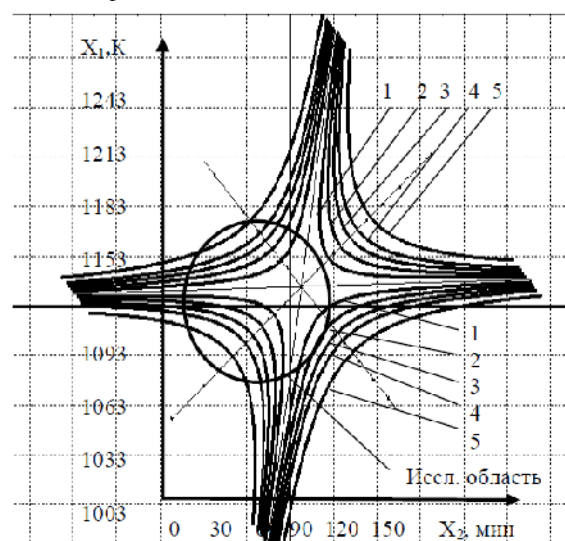


Рис.1. Кривые зависимости одинаковых значений (гиперболы) предела прочности стали 40ХНМА от температуры закалки X_1 и времени выдержки X_2 при температуре отпуска $X_3 = 823$ К, мПа: 1 – 950 К; 2 – 960 К; 3 – 970 К; 4 – 980 К; 5 – 1000 К

Таблица 2

Значения отношений коэффициентов перед линейными членами X_1 , X_2 и X_3 , влияющие на выходные параметры

Отношения	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_1'	Y_2'	Y_3'	Y_4'
b_2/b_1	1,282	1,923	-0,066	-0,870	-0,427	-0,375	1,548	0,15
b_3/b_1	-6,579	-8,080	-2,720	-11,843	-5,110	-5,691	-2,847	-2,64
b_3/b_2	-5,129	-4,202	40,875	13,62	11,95	15,14	-2,479	-17,9

В конечном итоге многократные эксперименты в соответствии с планом опытов позволили получить важную для проведения технологического процесса информацию о влиянии различных режимов химико-термической обработки на исследуемые параметры, а также получить математические модели, обработка которых позволяет рассчитать значения прогнозируемых (выходных) параметров внутри заданных интервалов изменения переменных.

Для выбора оптимальных режимов составляется следующая система уравнений:

$$\begin{cases} (b_{11} - \lambda)x_1 + 0,5b_{12}x_2 + 0,5b_{13}x_3 + 0,5b_1 = 0 \\ 0,5b_{21}x_1 + (b_{22} - \lambda)x_2 + 0,5b_{23}x_3 + 0,5b_2 = 0 \\ 0,5b_{31}x_1 + 0,5b_{32}x_2 + (b_{33} - \lambda)x_3 + 0,5b_3 = 0 \end{cases}, \quad (5)$$

Следует иметь в виду, что на значения неопределенных коэффициентов Лагранжа λ накладывается ограничение, которое определяется с помощью параметра Хорля [6]. Параметр Хорля определяется по формуле:

$$\lambda' = 2 \left(\frac{B_{\max} - b_{kk}}{\min} \right). \quad (6)$$

Здесь $B_{\max}$ – максимальный или минимальный $\min$ (в зависимости от задачи) канонический коэффициент, b_{kk} – коэффициент регрессии при k – ом квадратичном члене.

Рассчитанные интервалы изменений для исследуемых критериев оптимизации приведены в соответствующих таблицах выбора оптимальных

режимов. Для выбранных значений λ , по уравнениям (5) были найдены оптимальные режимы в соответствии с заданным выходным параметром. Найденные расчетами показатели режимов обеспечения оптимального предела прочности стали хромо-никеле-молибденовой стали (40ХНМА) от параметров термической обработки представлены в табл.3.

Таблица 3

**Показатели режима термической обработки
для обеспечения оптимального значения предела прочности стали 40ХНМА**

λ X, Y	2,4	3,0	3,6	4,2	4,8	5,4	6,0	6,6	7,2	7,8
X_1	0,230	0,273	0,326	0,369	0,401	0,443	0,472	0,505	0,521	0,532
X_2	1,873	1,826	1,779	1,718	1,673	1,627	1,580	1,523	1,478	1,425
X_3	-1,673	-1,615	-1,572	-1,504	-1,443	-1,374	-1,75	-1,253	-1,187	-1,118
Y_1 , МПа	1059,917	1055,417	1051,137	1045,791	1040,017	1034,228	1028,719	1023,983	1018,192	1015,605

В теории планирования экспериментов отмечается, что для нахождения параметра обеспечения оптимального предела прочности легированной стали 40ХНМА, необходимо исходить из их максимально допустимых значений внутри заданного интервала изменения независимых переменных X_i . Результаты, представленные в табл.3 показали, что таким режимом является режим при $\lambda = 4,8$: $X_1 = 0,401$, $X_2 = 1,673$, $X_3 = -1,443$. Оптимальный режим, полученный в кодированном виде, переводим в натуральный вид, т.е. переходя от кодированных значений X_i к натуральным значениям, имеем температуру закалки $X_1 = 1135\text{K}$, время выдержки $X_2 \approx 110$ мин. и температуру отпуска $X_3 = 750$ K. В этом случае предел прочности стали составлял $Y_1 = 1040$ МПа.

При дальнейшем пошаговом изменении λ значение параметра оптимизации Y_1 уменьшалось и при $\lambda = 7,8$: $X_1 = 1139$ K, $X_2 = 102,75$ мин. и $X_3 = 767$ K.

В итоге получаем, что в качестве оптимального интервала изменения параметров для критерия оптимизации Y_1 – предела прочности стали следует принять: температуру закалки $X_1 = 1135 - 1139$ K, время выдержки $X_2 = 102 - 110$ мин., температуру отпуска $X_3 = 751 - 767$ K. Найденным оптимальным значениям режима упрочнения стали соответствует предел прочности стали $Y_1 = 1015 - 1040$ МПа.

В представленной работе была решена проблема сопоставимости (конфликта) критериев оптимизации Y_j на основе принципа Парето. Как известно решение многокритериальных задач связано с выбором альтернативы решений. Если же предпочтение хотя бы по одному критерию расходится с предпочтением по другому, то эти альтернативы признаются несопоставимыми. В

результате попарного сравнения решений все худшие по всем критериям альтернативы отбрасываются, а все оставшиеся несопоставимые между собой принимаются. Если все максимально достижимые значения частных критериев не относятся к одной и той же альтернативе, то принятые альтернативы образуют так называемое множество Парето, после чего выбор на этом завершают. В качестве примера можно рассмотреть построение области Парето на основе несопоставимости (конфликта) критериев U_3 и U_4 по фактору X_2 , где X_2 является кодом времени выдержки. Рассмотрение данного варианта показало, что критерии U_3 и U_4 по интервалам изменения факторов $X_1 = 1083 - 1089$ K и $X_3 = 876 - 900$ K имеют согласованное решение. Значения факторов $X_1 = 1086$ K и $X_3 = 888$ K были подставлены в уравнения (5) и получены следующие уравнения:

$$U_3 = 61,67 - 0,108X_2 + 1,496X_2^2, \quad (7)$$

$$U_4 = 22,515 - 0,101X_2 + 0,513X_2^2. \quad (8)$$

С помощью выражений (7) и (8) были построены графики поведения критериев $U_3(X_2)$ и $U_4(X_2)$, $X_2 \in [10, 110]$ (рис.2) и представлена область Парето, как показано на рис.3.

Таким образом, решение многокритериальных предусматривает выделение множества (область) Парето из исходного множества альтернативных решений. При этом в область Парето войдут все варианты решения, оптимальные по попарному отношению Парето, то есть имеющие хотя бы по одному критерию максимально приемлемое значение и не уступающие остальным решениям по другим критериям. Окончательный выбор конкретной альтернативы лежит в сфере компетенции лица, принимающего это решение.

В настоящее время при решении многокритериальных задач по методу Парето эффективно используется векторная модель, для которой вводится правило, позволяющее оценить решения – безусловный критерий предпочтения (БКП) [5]. Из всего множества D допустимых решений БКП выделяет подмножество M_0 не худших несопоставимых между собой, определяющих множество Парето [10]. Следовательно, решением задачи оптимизации с векторным критерием эффективности формально можно считать нахождение множества M_0 – не худших решений.

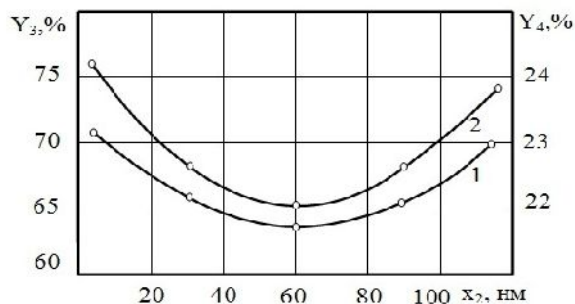


Рис.2. Поведение критериев 1– $Y_3(x_2)$ и 2– $Y_4(x_2)$, для $x_1=1086$ К, $x_3=888$ К

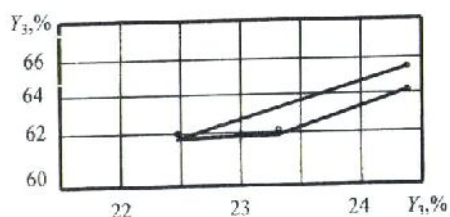


Рис. 3. Область Парето критериев $Y_3(x_2)$ и $Y_4(x_2)$

Однако результат в виде множества M_0 не может нас удовлетворить, так как он допускает целое множество решений. Естественнo предположить, что окончательные решения следует искать среди элементов множества M_0 . Поэтому актуальной задачей является сужение множества

M_0 . Понятно, что сужение приводит к потере информации о множестве M_0 и только ценой этих потерь можно кратко его описать.

Для проверки правильности сделанных выводов был поставлен ряд параллельных экспериментов. Анализ полученных результатов показал, что все они лежат внутри рассчитанного доверительного интервала. Среднеквадратичное отклонение между экспериментальными и теоретическими результатами для всех критериев оптимизации не превышало 5–7 %.

Из приведенных данных следует, что предел прочности борированных образцов на 20 – 25 % превышает предел прочности стали 40ХНМА, подвергнутой только термической обработке. Пластические свойства стали с борсодержащим слоем заметно снижаются [8].

Для оценки толщины слоя и влияния технологических факторов насыщения на кинетику его формирования были дополнительно построены две модели: модель, рассчитанная с учетом энергии активации и коэффициентов диффузии бора:

$$S = \left(0,47 \cdot 10^{-2} \cdot \exp - \frac{22500}{RT} \right)^{0,48} \cdot \exp \frac{121}{RT}, \quad (9)$$

и квадратичная регрессионная модель, учитывающая зависимость глубин слоя от параметров насыщения

$$S = 1802,6 - 3,2X_1 - 6,5X_2 - 1,6X_3 + 0,002X_1^2 + 0,003X_2^2 + 0,001X_3^2 + 0,008X_1X_2 + 0,00008X_1X_3 + 0,00008X_1X_3 + 0,0005X_2X_3. \quad (10)$$

Оценка влияния факторов, входящих в это уравнение, на толщину слоя показала, что наиболее значимым в этой области является время диффузионного насыщения ($R = 0,765$).

Проведенные исследования позволили определить оптимальные режимы нанесения борсодержащих покрытий и внедрить их в производство.

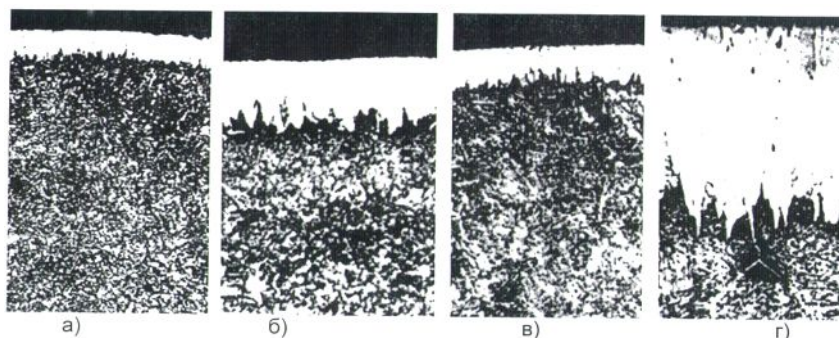


Рис. 4 Структура диффузионных слоев на стали 40ХНМА, подвергнутой электролизному борированию при : а) $T = 850$ °C, $T = 10$ мин.; б) $T = 550$ °C; в) $T = 820$ °C, $T = 90$ мин.; г) $T = 600$ °C, $T = 30$ мин.; д) $T = 880$ °C, $T = 90$ мин.; е) $T = 500$ °C

В производственных условиях борированию подвергали высадочные пуансоны, изготовленные из стали 40ХНМА. Пуансоны, подвергнутые обычной термической обработке, проработали 3

тыс циклов до выхода из строя, а пуансоны, подвергнутые борированию при 880 °C, 30 минут, последующей закалкой в масле и отпуском при

500 °С, проработали до полного износа 18 тыс. циклов.

Выводы: В работе решены многокритериальные экстремальные задачи оптимизации процессов диффузионного насыщения стали 40ХНМА. Для ряда конструкционных и инструментальных сталей построены уравнения регрессии зависимости толщины боридного слоя от условия химико-термической обработки. Получены уравнения регрессии зависимостей выходных параметров (δ_b , $\delta_{0,2}$, ψ , δ) от технологических параметров насыщения сталей 40ХНМА, У8, ХВГ, Х12М, Р6М5. Рассчитаны и построены кривые равных значений (номограммы) выходных параметров от времени, плотности тока на катоде и температуры электролиза; разработана методика расчета номограмм, получена графическая интерпретация рассматриваемых процессов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Афанасьев А.А. Повышение качества поверхностей деталей машин. Белгород: изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2007. 235 с.
2. Пат. 163528 Российская Федерация. Спортивный конек /А.А. Афанасьев, А.В. Патрикеева; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. Заявка № 2015155565/12 от 23.12.2015 г. Опубл. 23.11.2016, Бюл. № 20. 3 с.
3. Борсяков А.С., Афанасьев А.А. Научно-практические аспекты получения многокомпонентных борсодержащих покрытий с высокими служебными свойствами. Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. 432 с.
4. Афанасьев А.А. Особенности электролитного борирования и диффузионных боридных покрытий // Упрочняющие технологии и покрытия. 2012. №1. С.33–40.
5. Борсяков А.С., Гольденберг Б.С. Оптимизация технологических процессов получения борсодержащих диффузионных слоев // Металловедение и термическая обработка металлов. 1981. Т.1. С. 24–27.
6. Сысоев В.В. Система моделирования. Учебное пособие. Воронеж: Вор. техн. ин-т. 1991. 80 с.
7. Борсяков А.С., Беликов А.М., Рыжков Ф.Н., Гадалов В.Н. Научно-практические основы формирования диффузионных борсодержащих покрытий на металлах подгруппы железа и их сплавах: Монография. Воронеж, 2000. 366 с.
8. Крукович М.Г., Прусаков Б.А., Сизов И.Г. Пластичность борированных слоев. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2010. 384 с.
9. Макаричев Ю.А., Иванников Ю.Н. Методы планирование эксперимента и обработки данных: учеб. пособие. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016. 131 с.
10. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Наука, 1982. 254 с.

Информация об авторах

Борсяков Анатолий Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры естественных дисциплин.

E-mail: borsak46@mail.ru

Воронежский государственный университета инженерных технологий.

Россия, 394036, Воронеж, пр. Революции, д. 19.

Афанасьев Александр Александрович, доктор технических наук, профессор заведующий кафедрой стандартизации и управления качеством.

E-mail: afanasev.aa@bstu.ru; alexaf-42@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

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

Поступила в мае 2018 г.

© Борсяков А.С., Афанасьев А.А., 2018

A.S. Borsyakov, A.A. Afanasiev

OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF MULTICOMPONENT BORON-CONTAINING COVERINGS ON STEELS RECEIVING

Technological processes of receiving multicomponent boron-containing coverings are based on diffusive saturation of blankets of boron details of cars together with other alloying elements. In these processes according strength and operational characteristics of details thickness of a diffusive layer has the defining value which optimum value has been not found out yet. Key parameters from various indicators of technological processes are temperature and duration of technological parameter. Other parameters are added depending on specifics of diffusive layers method formation. The diversity of the modes diffusive saturation of blankets of details promotes the reduction of stability of their technological and operational properties. Thus,

there is a problem of the tasks solution with multiple criteria and extrema. In this work search of optimum parameters of processes of diffusion of one or several elements in steel 40XHMA blankets is solved. The device of planning of scientific research including a method of a complete factorial experiment together with a problem of linear programming of finding of multipliers of Lagrange and a gradient method of search of optimum values according to the Pareto principle of decisions was used for this purpose. A result of the real work was finding out of the equations of regression of dependence of thickness of a diffusive (boron) layer on conditions of chemical heat treatment for a number of brands tool and structural steels.

Keywords: optimization of processes, factorial experiment for diffusive processes, Pareto's method, optimization of physicomechanical characteristics, optimization of operational properties, kinetics of formation of diffusive layers.

REFERENCES

1. Afanasyev A.A. improving the quality of surfaces of machine parts: Monograph. Belgorod: publishing house BSTU, 2007, 235 p.
2. Pat. 163528 Russian Federation. Sports horse /Afanasev A. A., Patrikeev A. V.; applicant and patent holder of BSTU named after V.G. Shukhov. Application no. 2015155565/12 from 23.12.2015 G. Publ. 23.11.2016, Byul. no. 20, 3 p.
3. Borzakov A.S., Afanasiev A.A. Scientific and practical aspects of obtaining multi-component boron coatings with high service properties. Belgorod: Publishing house of BSTU, 2017, 432 p.
4. Afanas'ev A.A. the special features of electro-lysis boriding and diffusion of the boride-based coatings. Hardening technology and coatings, 2012, no. 1, pp. 33–40.
5. Borzakov A.S., Goldenberg B.S. Optimization of technological processes of producing boron diffusion layers. Metallography and heat treatment of metals. 1981, vol. 1, pp. 24–27.
6. Sysoev V.V. Modeling System. Educational. benefit. Voronezh: Thief. Techn. in-T. 1991, 80 p.
7. Borzakov A.S., Belikov A.M., Ryzhkov F.N., Gadalov V.N. Scientific and practical bases of formation of the boron diffusion coatings on iron subgroup metals and their alloys: Monograph. Voronezh, 2000, 366 p.
8. Kralovic M.G., Prusakov B.A., Sizov I.G. Plasticity of borated layers. M.: FIZMATLIT. 2010. 384 p.
9. Makarichev Yu.A., Ivannikov Yu.N. Methods of planning experiment and data processing: studies. benefit. Samara: Samar. state tech. UN-t, 2016, 131 p.
10. Podinovski V.V., Nogin V.D. Pareto optimal solutions of multicriteria problems. Moscow: Science, 1982, 254 p.

Information about the author

Anatoly S. Borsyakov, DSc, Professor.

E-mail: borcak46@mail.ru

Voronezh State University of Engineering Technology.
Russia, 394036, Voronezh, Revolution Avenue, 19.

Alexander A. Afanasyev, DSc, Professor.

E-mail: afanasev.aa@bstu.ru; alexaf-42@mail.ru

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

Received in May 2018

Для цитирования:

Борсяков А.С., Афанасьев А.А. Оптимизация технологических процессов получения многокомпонентных борсодержащих покрытий на сталях // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №7. С. 116–123. DOI: 10.12737/article_5b4f02c1da2511.30737874.

For citation:

Borsyakov A.S., Afanasiev A.A. Optimization of technological processes of multicomponent boron-containing coverings on steels receiving. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no.7, pp. 103–115. DOI: 10.12737/article_5b4f02c1da2511.30737874.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

DOI: 10.12737/article_5b4f02c26dcaa4.37205938

Слабинская И.А., д-р экон. наук, проф.,
Ткаченко Ю.А., канд. экон. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ДИАГНОСТИКА СИСТЕМЫ ВНУТРЕННЕГО КОНТРОЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПАНИЙ

Важной проблемой во многих строительных компаниях остается отсутствие комплексной системы контроля над возможными рисками. Система внутреннего контроля, как бы присутствует в строительных компаниях, однако не являются полностью адекватной и действенной. Акционеры (собственники) не имеют представления о смешанных (внутренних и внешних) рисках. Как показывает практика диагностики системы внутреннего контроля строительных компаний, многие не приспособлены к анализу рисков и не имеют единой, взаимосвязанной системы контроля и управления. Менеджмент строительной компании управляет рисками по точечным направлениям. Каждый из менеджеров отвечает за свое направление и не принимает во внимание рисковую ситуацию в другой сфере. Таким образом, управление всей системой внутреннего контроля, охватывающего всю строительную компанию, обычно отсутствует. Однако, такая целостная система очень важна. Система внутреннего контроля, в настоящее время, является основной составляющей современного строительства. Это объясняется усилением внешнего контроля качества строительства с каждым годом. Своевременная диагностика системы внутреннего контроля строительной компании позволяет усилить функции внутреннего контроля, и в полном объеме, предвидеть угрозы для бизнеса.

Ключевые слова: система внутреннего контроля, бизнес-процесс, управленческий контроль, менеджмент, риск.

Введение. Диагностика системы внутреннего контроля строительных компаний строится на исследовании фактов хозяйственной жизни, носящих массовый характер. Массовость происходящих циклических фактов образует определенный бизнес-процесс, которому присущ ряд характеристик [1].

Доминирующим фактором для выделения бизнес-процесса в строительной деятельности, как самостоятельного направления исследования является наличие организованных и систематически применяемых к однородным фактам хозяйственной жизни средств контроля [2].

Каждый бизнес-процесс характеризуется:

- составом фактов хозяйственной жизни, относящихся к процессу;
- этапами, по каждому из которых в отдельности проводится оценка надежности процедур внутреннего контроля;
- специальным набором формально организованных процедур контроля, каждая из которых разрабатывается для реализации конкретного направления контроля.

Каждый бизнес-процесс включает несколько этапов, выполняемых в установленной последовательности фактов хозяйственной жизни строительной компании. На каждом этапе бизнес-процесса реализуются определенные направления внутреннего контроля [3].

В качестве оцениваемых факторов выступают локальные средства контроля, характерные для каждого бизнес-процесса деятельности строительной компании. Затем окончательная оценка системы внутреннего контроля определяется как общее мнение по выделенным бизнес-процессам в строительной компании.

Программы исследования бизнес-процессов должны быть построены таким образом, чтобы положительный ответ на определенный перечень вопросов свидетельствовал о наличии и функциональности контроля.

По результатам тестирования системы внутреннего контроля присваивается соответствующий уровень по 5-ти бальной системе.

Методика. Процедура диагностики системы внутреннего контроля строительной компании включает:

1. Анализ основных этапов строительства (основных бизнес-процессов).
2. Анализ документооборота в бизнес-процессах.
3. Анализ распределения функциональных обязанностей сотрудников в бизнес-процессах.
4. Экспресс-анализ бухгалтерского, налогового, кадрового, оперативного и управленческого, учетов.
5. Экспресс-анализ используемых программных продуктов.

6. Интервьюирование сотрудников и руководства.

7. Проведение выборочных контрольных процедур, а также сопоставление и анализ данных, полученных из разных источников [4].

Основная часть. Из практического опыта систему внутреннего контроля строительных компаний независимо от масштаба можно оценить по 5-ти бальной системе (табл. 1).

Каждому уровню системы контроля присущи свои элементы, свои недостатки и свои особенности. Рассмотрим их подробнее.

Оценка 1 – начальный уровень системы внутреннего контроля.

Эта оценка может быть присвоена тем строительным компаниям, в которых нарушены основные принципы системы внутреннего контроля.

Таблица 1

Оценка системы внутреннего контроля

Оценка в баллах	Уровень СВК	Характеристика уровня
1	Начальный	Система контролей отсутствует полностью или применяется бессистемно, в небольшой части бизнес-процессов, на уровне отдельных сотрудников, имеет серьезные ошибки. Нет формализованных стандартов и принципов контрольной среды
2	Определяющий	Существуют практические элементы системы контроля в основных бизнес-процессах, но не формализованы в систему, применяются элементы контроля эпизодически
3	Стандартизированный	Определены стандарты, процессы и структуры системы контроля, но только «на бумаге». В реальности часть их не работает. Фактические процессы контроля не соответствуют формализованным стандартам, охватывают не все бизнес-процессы
4	Управляемый	Существуют регламенты и стандарты системы контроля. Определены структура, функции и процессы системы контроля. Внутренний контроль – на уровне системы, которая реально работает во всей компании и дает результаты – снижает риски. Но существуют не решенные проблемы в области взаимодействия и внутреннего контроля в основных и вспомогательных процессах
5	Оптимальный	Система контролей не просто снижает риски, а является инструментом, который позитивно влияет на эффективность деятельности

В таких строительных компаниях обычно финансовый учет не отражает реальных бизнес-процессов и находится в крайне неудовлетворительном состоянии.

Отсутствует реальная оценка зарабатываемой бизнесом прибыли.

В безналичных и наличных денежных расчетах смешиваются выплаты по бизнесу и личные расходы, денежные расходы не планируются.

Документооборот не полный, качество документов низкое (отсутствуют подписи, даты и прочие реквизиты), это влечет потенциальные налоговые риски и проигрыши в судебных спорах с контрагентами.

Складской учет отсутствует. Отсутствует юридическая материальная ответственность фактических материально-ответственных лиц. Инвентаризации материалов, дебиторской задолженности (периодические, выборочные, внезапные) не проводятся [5].

Совмещаются несовместимые функциональные обязанности на одних и тех же сотрудниках по учету, распоряжению, доступу к активам (основные средства, денежные средства, материалы).

Неэффективное использование трудовых ресурсов, система KPI не мотивирует сотрудников, затраты на премии не создают благ для компании. Крайне низкая IT-безопасность.

Результаты бизнеса слабо контролируются на уровне менеджеров и на уровне акционеров (владельцев).

Таким образом, в компаниях с оценкой системы контроля «1» созданы все условия для мошенничества, хищений и злоупотреблений сотрудников, а также высокие внешние риски значительных налоговых доначислений при проверках, угрозы прерывания деятельности и угрозы банкротства.

Все бизнес-процессы и контроль в них требуют кардинальной перестройки.

Оценка 2 – определяющий уровень системы внутреннего контроля. Дается в основном тем компаниям, в которых внутреннего контроля на уровне системы не создано.

Организационная структура таких компаний не формализована или имеет неверную структуру подчиненности, что уже закладывает почву для внутренних рисков злоупотреблений должностными полномочиями и мошенничества.

Именно поэтому, очень часто оперативное управление бизнесом попадает под значительное влияние отдельных менеджеров, это делает бизнес зависимых от них [6].

Отсутствуют утвержденные регламенты работы сотрудников с их четким функционалом, а также по взаимодействию между подразделениями.

Результаты оперативного складского, производственного учета, учета продаж представляются менеджерам не в режиме реального времени и не дают возможность быстро реагировать на изменения внутренних и внешних условий деятельности.

Акционеры и менеджеры получают не полноценные результаты о деятельности бизнеса из системы управленческого учета.

Очень часто руководство компаний с оценкой «2» системы внутреннего контроля имеют дифференцированные результаты по зарабатываемой бизнесом прибыли и активно анализируют их, но не контролируют состояние активов и обязательств (дебиторской и кредиторской задолженностей, материалов, основных средств), не требуют этого от соответствующих менеджеров.

В ряде компаний с данной оценкой системы внутреннего контроля имеют существенные недостатки IT-безопасности, которые приводят к высоким рискам утечки информации (баз данных, технологий) и делают бизнес не защищенным от внешних конкурентов.

Несмотря на то, что бизнес компаний с оценкой «2» системы внутреннего контроля может быть прибыльным, но ему присущи все следующие виды рисков с высокой вероятностью их наступления:

- риск потерь основного актива (это может быть возведенный объект, недвижимость, оборудование, материалы);
- риски налоговых доначислений при проверках;
- риск недостоверной информации по данным оперативного и бухгалтерского учетов;

- риск зависимости от человеческого фактора: бизнес-процессы недостаточно формализованы и сильно сконцентрированы на отдельном менеджере.

В ряде ключевых бизнес-процессов контрольные функции недостаточны и не соразмерны масштабам деятельности.

Нередко компаниям с оценкой системой контроля «2» характерно сосредоточение максимальных контрольных функций на одном-двух бизнес-процессах в ущерб всем другим процессам.

Некоторые бизнес-процессы требуют перестройки (реинжиниринга). Процессы планирования недостаточны для текущих потребностей бизнеса. Контрольные функции по всем бизнес-процессам в настоящее время замыкаются на акционерах (владельцах) бизнеса.

Оценка 3 – стандартизированный уровень системы внутреннего контроля.

На сегодняшний день самая распространенная среди компаний среднего бизнеса (этот вывод получили практики за пять последних лет).

Ей характерно формальное существование стандартов внутреннего контроля и других процессов. А также не редко встречается вместе с этим формальное проведение контролей [7].

У менеджеров компаний с оценкой «3» есть понимание бизнеса. Задачи собственников влияют в менеджмент (хотя и не формализованы часто в качестве стратегии), задачи исполняются, анализируются, по ним принимаются управленческие решения.

Все бизнес-процессы работают сбалансировано. Контрольные функции присутствуют в каждом бизнес-процессе.

Среда внутреннего контроля в таких компаниях создана, но система внутреннего контроля недостаточна для масштабов бизнеса. Имеет рискованные зоны, не защищает в полной мере активы от их утраты (хищения, злоупотребления), а прибыль от снижения.

Созданы формализованные, утвержденные регламенты работы и методики:

- по управленческому учету;
- по работе с дебиторской задолженностью;
- по системе заработной платы и КРП;
- по графику документооборота;
- по технологическим потерям и браку и другие.

В утвержденных регламентах распределение функциональных обязанностей, организационная структура, кадровая политика, и функционал работников также сбалансированы.

Но фактически, бизнес-процессы могут отличаться от утвержденных внутрифирменными

регламентами (на бумаге), или не применяться совсем.

Частой причиной этого является недостаточное выражение воли акционеров (владельцев) в сочетании с отсутствием системы планирования внедрения изменений и системы мотивации.

Как следствие этих недостатков системы контролей, фактическое оперативное управление бизнесом иногда в компаниях с оценкой системы внутреннего контроля «3» находится под значительным влиянием отдельных менеджеров.

Системы контроля, планирования и анализа не позволяют в полной мере осуществлять мониторинг результатов деятельности.

Отсутствуют единые требования, и стратегии в части ведения управленческого учета.

Процессами планирования охвачены не бизнес-процессы. Принимаемые управленческие решения могут быть не верными. Вместе с тем акционеры и менеджеры таких компаний в основном получают реальные результаты о деятельности бизнеса из системы управленческого учета.

Акционеры значительно погружены в ее операционную деятельность компании, что не позволяет им уделять должного внимания процессам развития и контролировать бизнес удаленно без потерь прибылей.

Оценка 4 – управляемый уровень системы внутреннего контроля.

Эту оценку ставят тем компаниям, в которых внутренний контроль действует на уровне системы (системного подхода), то есть связывает перекрестными контрольными функциями все бизнес-процессы организации без исключения.

Обычно такие компании (исключая небольшой частный бизнес со штатом до 20 человек) имеют в штате внутреннего контролера (аудитора) или службу внутреннего контроля, независимых от активов, процессов и учета [8].

Система внутреннего контроля, в таких компаниях, создана, соответствует масштабам бизнеса, защищает в активы от их утраты, а прибыль от снижения, но имеет рискованные зоны.

Можно говорить о высокой оценке существующих внутренних контролей только тогда, когда «три кита» такой системы действуют эффективно, то есть:

- рационально распределение функциональных обязанностей сотрудников,
- хозяйственные операции обеспечены качественным документооборотом и регламентами,
- учетная система обеспечена программным обеспечением и методиками, регулярно представляет достоверные результаты акционе-

рам и менеджерам о прибылях, активах и денежных средствах, имеет стратегическое планирование и анализ [9].

В компаниях с уровнем контроля «Управляемый» сочетаются регулярные (запланированные) и внезапные контрольно-ревизионные процедуры с оформлением документов.

Проведение контрольных мероприятий не формальное. Их результаты не замалчиваются, анализируются менеджментом, отражаются в финансовом учете, принимаются решения и действия, направленные на исключение негативных явлений в будущем.

Для менеджмента и основных акционеров построены логичные и прозрачные регламенты управления по направлениям:

- продажи;
- закупки;
- производство и обеспечение качества;
- финансы и экономика;
- инвестиции.

Риски внутренних злоупотреблений с активами и мошенничества сведены к минимуму, но система внутреннего контроля все же не исключает зависимость компании от менеджмента [10].

ИТ-безопасность не соответствует уровню лидеров строительной отрасли.

Служба внутреннего контроля (внутреннего аудита) и служба экономической безопасности созданы.

Но взаимодействие между ними и с другими службами организовано недостаточно оптимально и нередко рождает конфликты между руководителями подразделений, не принося эффективности компании в целом [11].

Отчеты служб внутреннего контроля (внутреннего аудита) и экономической безопасности нельзя назвать регулярными (1-2 раза в год).

Данные службы оперативно представляют руководству только докладные записки по фактам выявленных экстремальных ситуаций.

Только генеральный директор и собственник вправе решать, как распорядиться этой информацией: какие действия предпринять, какие санкции применять или не применять.

Акционеры (владельцы) имеют возможность контролировать бизнес удаленно по контрольным точкам без ущерба для операционной деятельности компании.

Оценка 5 – оптимальный уровень системы внутреннего контроля.

Отличной оценки удостоиваются в основном компании с иностранным управлением, участием в крупных компаниях-холдингах.

Из практической работы за последние 5 лет по диагностикам контрольных систем это единичные случаи. Однако на данном этапе развития

системы контролей существует опасность увлечься контрольными процедурами в ущерб процессов развития компаний.

Все бизнес-процессы и контроль в них соответствует стратегии строительной компании.

Для компаний с оценкой «5» системы внутреннего контроля характерно, прежде всего, создание рациональной организационной структуры компании и формализованных основных процедур управленческого взаимодействия.

В среднем и крупном бизнесе эти задачи решает служба корпоративного управления. Также спланированная работа независимых служб внутреннего контроля и экономической безопасности при правильной подчиненности в организационной структуре (согласно масштабу компании, структуры владения акционерами) - осуществляют контроль над бизнесом.

Правильная организация финансово-экономической службы позволяет добиться существенного роста прибыли без серьезных дополнительных вложений и технологических инноваций [12].

Более того, часть данных финансово-экономическая служба получает от службы внутреннего контроля и службы экономической безопасности.

Регулярные процессы создания полноценной управленческой отчетности, планирования и бюджетирования позволяют принимать правильные управленческие и стратегические решения.

Сочетание регулярных текущих и внезапных контрольно-ревизионных процедур дают разумную уверенность в достоверности активов компании.

Юридическая служба и служба по экономической безопасности «держат руку на пульсе» по предотвращению сделок недружественного поглощения.

Информационная IT-безопасность на высоком уровне и также защищает компанию от внутренних и внешних рисков.

Генеральный директор компании и ее основной собственник (собственники) регулярно получают от службы внутреннего контроля и экономической безопасности аналитическую информацию (в виде отчетов и докладных записок по экстремальным ситуациям) о внешней и внутренней среде компании.

Служба внутреннего контроля также является обязательным участником в разработке и изменений регламентов управления для таких коммерчески важных управленческих процессов, как: «Закупки», «Продажи», «Производство и качество продукции», «Финансы», «Инновации и инвестиции» и некоторых других процессов.

Такой алгоритм совместной работы всех подразделений компании совместно со службой внутреннего контроля позволяет своевременно отсекал случайные или злонамеренные учетные ошибки, попытки совершить сделки от имени компании на невыгодных для нее условиях, более осмотрительно и тщательно подходить к выбору поставщиков и подрядчиков, к принятию решений о вступлении в долгосрочные и стратегические сделки [13].

Однако, вместе с тем, в таких компаниях не создана атмосфера «тотальной слежки», а главный акционер или по его поручению менеджеры при формировании служб контроля «не перегибают палку».

Методы контроля сочетаются с методами мотивации менеджеров всех уровней, что обеспечивает работу только на благо компании [14].

Акционеры (владельцы) контролируют бизнес удаленно по контрольным точкам и концентрируются на процессах развития бизнеса и инвестиционных процессах.

Выводы. Проведя исследование одной из компаний Белгородской стройиндустрии, мы ставим системе внутреннего контроля оценку «Хорошо (4)». Обоснование этой оценке следующее:

- 1) Существуют регламенты и стандарты системы контроля.
- 2) Определены структура, функции и процессы системы контроля.
- 3) Внутренний контроль – на уровне системы, которая реально работает во всей компании и дает результаты – снижает риски.
- 4) Но существуют не решенные проблемы в области взаимодействия и внутреннего контроля в основных и вспомогательных процессах.

Если в компании утверждена система внутреннего контроля, то она должна не менее одного раза в год оцениваться [15]. Руководитель строительной компании сам определяет способы и методы оценки системы.

В ходе своего существования компания должна проводить непрерывный мониторинг работы системы внутреннего контроля. Мониторинг можно проводить при помощи анализа результатов деятельности строительной компании.

Совмещение оценки внутреннего контроля и непрерывного мониторинга позволяет убедиться в том, что внутренний контроль дает уверенность в достижении поставленных целей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ткаченко Ю.А., Слабинская И.А. Выделение бизнес-процессов в системе внутреннего

контроля // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 1. С. 190–194.

2. Слабинская И.А., Ткаченко Ю.А. Процессы внутреннего контроля в строительных организациях. Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 9. С. 193–196.

3. Пугачев В. В. Внутренний аудит и контроль. Организация внутреннего аудита в условиях экономического кризиса. М.: Дело и сервис. 2015. 224 с.

4. Информация Минфина России от 25 декабря 2013 г. № ПЗ-11/2013 «Организация и осуществление экономическим субъектом внутреннего контроля совершаемых фактов хозяйственной жизни, ведения бухгалтерского учета и составления бухгалтерской (финансовой) отчетности».

5. Соколов Б.Н. Внутренний контроль в коммерческой организации (организация, методики, практика). М.: Альянс Пресс, 2006. 132 с.

6. Слабинский Д.В. Способы выявления мошенничества и их диагностика // Белгородский экономический вестник. 2010, №2 (58). С. 71–74.

7. Клепиков Н.В. Мнимые и притворные сделки (объекты) // Современные тенденции в экономике и управлении: новый взгляд. 2016. № 44. С. 102–105.

8. Ткаченко Ю.А., Ларин В.С. Понятие экономической безопасности предприятия и ее значение в современных экономических условиях // Белгородский экономический вестник. 2016. № 2 (82). С. 56–61.

Информация об авторах

Ткаченко Юлия Александровна, кандидат экономических наук, доцент кафедры бухгалтерского учета и аудита.

E-mail: tkach_y@mail.ru, tkachenko.ya@bstu.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

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

Слабинская Ирина Александровна, доктор экономических наук, профессор кафедры бухгалтерского учета и аудита.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

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

Поступила в марте 2018 г.

© Ткаченко Ю.А., Слабинская И.А., 2018

9. Родина Л.А., Кучеренко О.В., Завадская В.В. К вопросу о внутреннем контроле в системе управления затратами // Вестник Омского университета. Серия «Экономика». 2014. № 2. С. 192.

10. Бурдуковский С.А. Внешний аудит и внутренний контроль: организация оптимального взаимодействия // Экономические науки. 2016. № 12. С. 370.

11. Бурцев В.Л. Организация системы государственного финансового контроля в Российской Федерации: теория и практика. М: Дашков и К, 2015. 496 с.

12. Соколов Б.Н., Рукин В.В. Системы внутреннего контроля (организация, методики, практика). М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2007. 442 с.

13. Жучкова Е.В. Внутренний аудит организации: задачи, методы и организационная структура службы в современных условиях хозяйствования // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. № 2. С. 81–85.

14. Slabinskaya I.A., Tkachenko Y.A., Benderskaya O.B., Slabinskiy D.V., Internal controls organization: a methodology approach // World Applied Sciences Journal. 2014. T. 30, № 10. Pp. 1205–1207.

15. Irina A. Slabinskaya, Iuliia A. Tkachenko, Denis V. Slabinskiy, Aleksandr A. Mitrokhin, Approaches to the Performance of Economic Agent Internal Control // International Business Management. 2015. № 9. Pp. 1136–1140.

I.A. Slabinskaya, Yu.A. Tkachenko

DIAGNOSTICS OF THE INTERNAL CONTROL SYSTEM CONSTRUCTION COMPANIES

The absence of complex control system over possible risks remains an important problem in many real estate development companies. The internal control system is present at real estate development companies somehow, however it isn't completely adequate and efficient. Shareholders (owners) have no idea about mixed (internal and external) risks. The practice of diagnostics of an internal control system of real estate development companies shows that many of them aren't adapted for risk analysis and have no single, interconnected control and management system. Management of Construction Company manages risks in the dot directions. Each of managers is responsible for the direction and doesn't take into account a risk situation in

other sphere. Thus, management of all internal control system, covering all real estate development company, usually is absent. However, such complete system is very important. The internal control system, now, is the main component of a modern construction. It is explained by strengthening of external control of quality of a construction every year. Timely diagnostics of an internal control system of construction company allows to strengthen functions of internal control, and in full, to expect threats for business.

Keywords: internal control system, business process, managerial supervision, management, risk.

REFERENCES

1. Tkachenko Yu.A., Slabinskaya I.A. Allocation of business processes in an internal control system. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2016, no. 1, pp. 190–194.
2. Slabinskaya I.A., Tkachenko Yu.A. Procedures of internal control in the construction organizations. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2017, no. 9, pp. 193–196.
3. Pugachev V.V. Internal audit and control. The organization of internal audit in the conditions of an economic crisis. M.: Business and service. 2015, 224 p.
4. Information of the Ministry of Finance of the Russian Federation of December 25, 2013 no. PZ-11/2013 «The organization and implementation by the economic actor of internal control of the made facts of economic life, conducting financial accounting and creation of accounting (financial) records».
5. Sokolov B.N. Internal control in the commercial organization (the organization, techniques, practice). M.: Alliance Press. 2006, 132 p.
6. Slabinsky D.V. Methods of identification of a fraud and their diagnostics. Belgorod economic bulletin, 2010, no. 2 (58), pp. 71–74.
7. Klepikov N.V. Imaginary and colourable transactions (objects). Current trends in economy and management: new view, 2016, no. 44, pp. 102–105.
8. Tkachenko Yu.A., Larin V.S. Ponyatiye of an economic safety of the entity and its value in modern economic conditions. Belgorod economic bulletin, 2016, no. 2 (82), pp. 56–61.
9. Rodina L.A., Kucherenko O.V., Zavadskaya V.V. To question of internal control in a cost management system. Bulletin of the Omsk university. Economy series, 2014, no. 2, p. 192.
10. Burdukovsky S.A. External audit and internal control: organization of optimum interaction. Economic sciences. 2016, no. 12, p. 370.
11. Burtsev V.L. The organization of system of the state financial control in the Russian Federation: theory and practice. M: Dashkov. 2015, 496 p.
12. Sokolov B.N., Rukin V.V. Internal control systems (organization, techniques, practice). M.: CJSC Ekonomika Publishing House. 2007, 442 p.
13. Zhuchkova E.V. Internal audit of the organization: tasks, methods and an organizational structure of service in modern conditions of managing. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2012, no. 2. pp. 81–85.
14. Slabinskaya I.A., Tkachenko Y.A., Benderskaya O.B., Slabinskiy D.V., Internal controls organization: a methodology approach. World Applied Sciences Journal, 2014, vol. 30, no. 10, pp. 1205–1207.
15. Irina A. Slabinskaya, Iuliia A. Tkachenko, Denis V. Slabinskiy, Aleksandr A. Mitrokhin, Approaches to the Performance of Economic Agent Internal Control. International Business Management, 2015, no. 9, pp. 1136–1140.

Information about the author

Irina A. Slabinskaya, DSc, Professor.

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

Yulia A. Tkachenko, PhD, Assistant professor.

E-mail: tkach_y@mail.ru, tkachenko.ya@bstu.ru
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in March 2018

Для цитирования:

Слабинская И.А., Ткаченко Ю.А. Диагностика системы внутреннего контроля строительных компаний // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №7. С. 124–130.
DOI: 10.12737/article_5b4f02c26dcaa4.37205938.

For citation:

Slabinskaya I.A., Tkachenko Yu.A. Diagnostics of the internal control system construction companies. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no.7, pp. 124–130.
DOI: 10.12737/article_5b4f02c26dcaa4.37205938.

*Мебадури З.А., канд. экон. наук, доц.**Учаева Т.В., канд. экон. наук, доц.**Луничкина Е.В., магистрант**Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

ФОРМИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ НА СТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

В статье рассматриваются такие понятия как риск в строительном бизнесе, и механизм управления рисками. На строительном предприятии создается служба управления рисками. Для выполнения главных функций она привлекает все существующие отделы и использует их связи для разработки мероприятий по минимизации или устранению рисков.

Автор так же предлагает классификацию рисков американских предпринимателей. Управление рисками - это действия, которые способствуют снижению уровня рисков. Они заключаются в выявлении всех возможных факторов, которые могут свести риски к минимуму. Автор делает акцент на том что, для грамотного управления рисками важно привлекать всех сотрудников к работе, создать координирующий центр и постоянно совершенствовать комплекс методов и инструментов управления рисками. При исследовании проблем, связанных с риском на строительном предприятии, важно идентифицировать все виды рисков и факторов, влияющих на них. В строительной сфере присутствуют как чистые, так и спекулятивные риски, так как данная отрасль человеческой деятельности является постоянно изменяющейся. Для того чтобы провести анализ рисков, служба управления рисками использует различные источники информации, такие как бухгалтерская отчетность, штатное расписание и организационная структура, договоры и контракты и др.

После сбора и подготовки всей информации для анализа рисков служба управления рисками получает возможность оценить все показатели деятельности компании с учетом воздействия рисков, а также внешних и внутренних экономических факторов. Благодаря этому можно спрогнозировать будущее состояние строительного рынка и дать реальную оценку возможным рискам. Служба управления рисками должна сформировать программу мероприятий, посредством которых можно будет предупредить и предотвратить риски.

Ключевые слова: *управление рисками, риск, строительный бизнес, служба управления рисками.*

Введение. Прежде чем говорить о формировании механизмов и инструментов управления рисками в строительной отрасли, необходимо отметить, что под рисками понимают вероятность потери организацией или предпринимателем части своего дохода или ресурсов. Также рисковыми являются ситуации, при которых строительный бизнес терпит убытки и работает в минус. Риск – это объективная составляющая, которая существует в бизнесе, независимо от того, осознают ли это участники предпринимательской деятельности. Избежать риска на 100 % невозможно, так как этому способствует недостаток информации и возникновение сложных ситуаций.

Основная часть. Риск подразумевает под собой наступление неблагоприятного события, которое в строительном бизнесе может повлечь за собой такие негативные последствия:

- отказ заказчика от строительства запланированного объекта;
- банкротство строительной организации;
- нехватку материальных и финансовых ресурсов;

- резкое падение прибыльности бизнеса и прочее [8].

Наибольшую долю рисков несут предприятия, которые выполняют функции инвесторов или заказчиков, так как они на свой риск и страх оценивают строительный рынок и его конъюнктуру, а также определяют объекты для капиталовложений и организуют инвестиционно-строительную деятельность. Несмотря на это, большая доля ответственности возлагается на подрядные строительные компании, которые занимаются строительными работами [7].

В обязательном порядке заключается договор подряда. В этом документе указываются условия, по которым компания-подрядчик отвечает за качество и своевременное выполнение строительных работ, а также обязана за собственные средства покрывать расходы, превышающие значения, указанные в сметной документации. В условиях неизбежности рисков подрядные организации должны рассчитывать вероятность их наступления, а также предвидеть риски, планировать и проводить всевозможные мероприятия по их предупреждению.

Для этого руководство подрядной организации должно решить три принципиальных вопроса:

1. На основе полученных данных сформировать цель создания подразделения по управлению рисками.
2. Утвердить состав новой службы, разработать Положение о ее правах, обязанностях и статусе.
3. Утвердить план работ службы по управлению рисками, в котором задаются соответствующие границы, цели и задачи [3].

После этого свою работу начинает новый отдел, которым является созданная служба управления рисками. Для выполнения главных функций она привлекает все существующие отделы и использует их связи для разработки мероприятий по минимизации или устранению рисков.

Функционирование механизма управления рисками реализуется на основе интегрированного подхода, при котором процесс управления рисками носит непрерывный и постоянный характер. Для грамотного управления рисками важно привлекать всех сотрудников к работе, создать координирующий центр и постоянно совершенствовать комплекс методов и инструментов управления рисками [1].

Служба управления рисками имеет множество задач, но основной является координация, организация и осуществление процесса управления рисками. Для этого разрабатывается специальная программа управления рисками. Она представляет собой созданную на уровне подрядной компании систему планирования, обеспечения и организации мероприятий, при помощи которых минимизируются убытки, спровоцированные неблагоприятными событиями.

Данная программа базируется на решении таких задач, как:

- выявление возможных рискованных ситуаций;
- определение методов и принципов управления рисками;
- оценка материальных потерь, связанных с рисками.

В результате разрабатывается такая программа, которая позволит наиболее эффективно управлять рисками на строительном предприятии и минимизирует его финансовые потери. Универсальным методом компенсации нанесенного ущерба является страхование, которое позволяет на всех этапах реализации инвестиционно-строительного проекта не только возмещать убытки, но и защищать инвестиции в строительство. При этом не стоит забывать о том, что риски бывают внешними и внутренними [5].

Созданная программа по управлению рисками должна включать в себя:

- перечень всех видов возможных рисков;
- полную информацию о рисках строительной организации;
- план внедряемых мероприятий и перечень мер, направленных на покрытие возможных убытков компании.

Служба управления рисками должна постоянно просматривать эту программу, чтобы она соответствовала потребностям строительной фирмы и учитывала экономические условия, сложившиеся на рынке. Формирование и реализация программы нацелены на создание эффективных мероприятий по ликвидации рисков, из-за которых строительная организация несет большие финансовые потери. Также данная программа позволяет повысить конкурентоспособность фирмы и увеличить доверие клиентов к ней.

При исследовании проблем, связанных с риском на строительном предприятии, важно идентифицировать все виды рисков и факторов, влияющих на них. Процесс управления рисками компаний строительного комплекса реализуется на базе разных инструментов и методов, поэтому возникает необходимость в научно обоснованной классификации рисков. Изучением проблемы классификации рисков занимались множество ученых-экономистов, среди которых следует отметить Меркина Р. М., Панибратова Ю. П., Чернова В. А. и другие. Несмотря на это, в экономической науке еще не создана общепринятая классификация рисков [6].

Американские предприниматели выделяют два вида рисков:

1. Неизбежные риски, которые можно заранее предусмотреть и предупредить хотя бы на 90 %. Как правило, их перекладывают на плечи страховых компаний посредством заключения договора между строительной и страховой компаниями. К первому виду рисков относят:

- пожары;
- землетрясения;
- кражи и различные аварии.

2. Второй вид рисков считается важным, так как он связан с неизбежной неопределенностью предпринимательской деятельности. Сюда относят:

- изменение ситуации на рынке;
- экономический кризис;
- изменение рыночного спроса и предложения;
- появлений новых технологий и прочее.

С экономической точки зрения риски представляют собой события, которые могут произойти или не произойти. Риски приводят к таким экономическим результатам:

- положительный – выгода и прибыль;
- нулевой – нет ни прибыли, ни потерь;
- отрицательный – убыток, финансовые потери и ущерб.

В зависимости от того, к какому экономическому результату приведут риски, они подразделяются на две категории:

1. Чистые риски приводят к нулевому и отрицательному результату. Происходят по объективным причинам.

2. Спекулятивные риски могут привести как к положительному, так и отрицательному результату.

В строительной сфере присутствуют как чистые, так и спекулятивные риски, так как данная отрасль человеческой деятельности является постоянно изменяющейся. При исполнении договора подряда чистые риски возникают по таким причинам:

- срывы сроков строительства конкретного объекта;
- заказчик имеет шаткую финансовую базу;
- некомпетентность рабочих строительной фирмы;
- изменения в проектной или сметной документации;
- увеличение цен на стройматериалы и сырье;
- ненадежная материально-техническая база [2].

Что же такое управление рисками? Это действия, которые способствуют снижению уровня рисков. Они заключаются в выявлении всех возможных факторов, которые могут свести риски к минимуму. Управление рисками – это совокупность приемов, инструментов, мероприятий и методов, которые позволяют заранее выявлять и прогнозировать риски, а также принимать эффективные меры по их устранению. Процесс управления рисками осуществляется по принципам, которыми следует руководствоваться субъекту хозяйственной деятельности.

К таким принципам относят:

1. Принцип минимизации заключается в сведении к минимуму спектра возможных рисков.

2. Принцип максимизации предусматривает стремление к полному списку и охвату сфер возникновения рисков. Благодаря реализации этого принципа степень неопределенности сводится к минимуму.

3. Принцип адекватности реакции заключается в адекватном и оперативном реагировании на все изменения, приводящие к рискам.

4. Принцип принятия реализуется только в том случае, если риск обоснован, то есть строительная организация может его принять и устранить или облегчить последствия. Для того чтобы

управлять рисками, нужно прогнозировать возникновение конкретных проблем и ситуаций. Это достигается при помощи научно обоснованного суждения о будущем состоянии объекта, а также об альтернативных решениях и сроках существования строительного объекта.

Каждый из этих принципов имеет свои особенности, задачи, а также преимущества и недостатки.

Для того чтобы провести анализ рисков, служба управления рисками использует такие источники информации:

- бухгалтерскую отчетность строительной компании, в которой отображается экономическое положение организации. Бухотчетность включает в себя состояние основных фондов, доходность, уровень запасов материальных и технических средств, величину кредиторской и дебиторской задолженностей и прочее;
- штатное расписание и организационную структуру строительного предприятия. Анализ этой информации позволяет выявить риски организационного характера;
- договоры и контракты (на поставку стройматериалов, на поставку сырья, договор аренды спецтехники и прочее);
- карты технологических потоков позволяют предвидеть и минимизировать технико-производственные риски;
- финансовые и производственные планы строительной компании.

После сбора и подготовки всей информации для анализа рисков служба управления рисками (служба риск-менеджмента) получает возможность оценить все показатели деятельности компании с учетом воздействия рисков, а также внешних и внутренних экономических факторов. Благодаря этому можно спрогнозировать будущее состояние строительного рынка и дать реальную оценку возможным рискам. Служба управления рисками должна сформировать программу мероприятий, посредством которых можно будет предупредить и предотвратить риски.

При создании такой программы следует учитывать [9]:

- размер возможного ущерба и вероятность его наступления;
- возможность реализовать запланированные мероприятия в рамках выделенного лимита денежных средств;
- экономическую и производственную эффективность программы по управлению рисками.

Выводы. Подводя итоги, можно отметить, что механизм управления рисками строительной организации в современных условиях, в которых развивается предпринимательская деятельность,

должен иметь четкую структуру, построенную с учетом иерархии. Эту структуру следует своевременно корректировать по итогам реализации программы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Электронный ресурс: https://studwood.ru/725211/ekonomika/mechanizm_upravleniya_riskami
2. Электронный ресурс: <http://sdamzas.net/1-31318.html>
3. Электронный ресурс: https://studopedia.ru/5_40565_riski-v-stroitelnoy-deyatelnosti.html
4. Электронный ресурс: <http://be5.biz/ekonomika1/r2011/00585.htm>
5. Хохлов Н.В. Управление риском. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2014. 240 с.
6. Тэпман Л.Н. Риски в экономике. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2015. - 380 с.
7. Экономика строительства. Под ред. В. В. Бузырева. 3-е изд. СПб.: ПИТЕР, 2015. 410 с.
8. Шапкин А.С. Экономические и финансовые риски. М.: «Дашков и Ко», 2016. 544 с.
9. Шлыков В. Экономическая безопасность предприятия // РИСК. 2014. № 5. С. 57–63.

Информация об авторах

Мебадури Зураб Анзорович, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика, организация и управление производством».

E-mail: meba67@mail.ru

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства.

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

Учаева Татьяна Владимировна, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика, организация и управление производством».

E-mail: uchaevaty@mail.ru

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства.

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

Луничкина Елена Владимировна, магистрант.

E-mail: elenalunichkina.2015@yandex.ru

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства.

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

Поступила в май 2018 г.

© Мебадури З.А., Учаева Т.В., Луничкина Е.В., 2018

Z.A. Mebaduri, T.V. Uchaeva, E.V. Lunichkina

THE FORMATION MECHANISMS OF RISK MANAGEMENT IN CONSTRUCTION COMPANY

The article deals with such concepts as risk in the construction business, and the risk management mechanism. A risk management service is being created at the construction company. To perform the main functions, it attracts all the existing departments and uses their relationship to develop measures for minimizing or eliminating risks.

The author also offers a classification of risks by American entrepreneurs. Risk management is an action that helps to reduce the level of risk. They are to identify all possible factors that can minimize risks. The author emphasizes that for competent risk management it is important to involve all employees in the work, to create a coordinating center and constantly improve a set of methods and tools of risk management. When investigating the problems associated with risk in a construction company, it is important to identify all types of risks and factors affecting them. In the construction industry there are both clean and speculative risks, as this branch of human activity is constantly changing. In order to carry out risk analysis, the risk management service uses various sources of information, such as financial statements, staffing and organizational structure, contracts, etc.

After collecting and preparing all the information for risk analysis, the risk management service is able to assess all the indicators of the company's activities taking into account the impact of risks, as well as external and internal economic factors. Due to this, it is possible to predict the future state of the construction market and give a real assessment of the possible risks. The risk management service should create a program of measures through which it will be possible to expect and prevent risks.

Keywords: risk management, risk, construction business, risk management service.

REFERENCES

1. Electronic resource: https://studwood.ru/725211/ekonomika/mehanizm_upravleniya_riskami
2. Electronic resource: <http://sdamzavas.net/1-31318.html>
3. Electronic resource: https://studopedia.ru/5_40565_riski-v-stroitelnoy-deyatelnosti.html
4. Electronic resource: <http://be5.biz/ekonomika1/r2011/00585.htm>
5. Khokhlov N.B. Risk Management. M.: YUNITI-DANA, 2014, 240 p.
6. Tepman L.N. Risks in the economy. M.: YUNITI-DANA, 2015, 380 p.
7. Construction economics. under the editorship of V. V. Busirev. 3rd ed. SPb. PETER, 2015. 410 p.
8. Shapkin A.S. Economic and financial risks. M.: "Dashkov & Co", 2016, 544 p.
9. Shlykov V. economic security of the enterprise. RISK. 2014. no. 5, pp. 57–63.

Information about the author

Zurab A. Mebaduri, PhD, Assistant professor.

E-mail: meba67@mail.ru

Penza State University of Architecture and Construction.
Russia, 440028, Penza, st. Titov, 28.

Tatiana V. Uchaeva, PhD, Assistant professor.

E-mail: uchaevatv@mail.ru

Penza State University of Architecture and Construction.
Russia, 440028, Penza, st. Titov, 28.

Elena V. Lunichkina, graduate student.

E-mail: elenalunichkina.2015@yandex.ru

Penza State University of Architecture and Construction.
Russia, 440028, Penza, st. Titov, 28.

Received in May 2018

Для цитирования:

Мебадури З.А., Учаева Т.В., Луничкина Е.В. Формирование механизмов управления рисками на строительном предприятии // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №7. С. 131–135. DOI: 10.12737/article_5b4f02c4dabc18.49431446.

For citation:

Mebaduri Z.A., Uchaeva T.V., Lunichkina E.V. The formation mechanisms of risk management in construction company. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no.7, pp. 131–135. DOI: 10.12737/article_5b4f02c4dabc18.49431446.

*Денисова Е.Д., аспирант,
Куприянов С.В., д-р экон. наук, проф.*

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

РЕГИОНАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ, БАЗИРУЮЩЕЕСЯ НА ПРИНЦИПАХ УСТОЙЧИВОСТИ

Статья знакомит с исследованием в теме актуальной проблемы «устойчивого развития» на региональном уровне. Рассмотрены проблемы толкования термина «устойчивое развитие», проанализирован ряд его определений. Изложен взгляд на методы оценки «устойчивого развития» региональной системы. Выявлена и обоснована необходимость использования системного подхода, базирующегося на комплексном взаимодействии всех элементов региональной системы, с учетом соблюдения экологических императивов. На основании проведенного исследования, авторами предлагается вариант создания новой модели устойчивого развития страны, в которой вводятся ограничения в росте и развитии экономики в целях сохранения и «оздоровления» окружающей среды. Проведен анализ ключевых индикаторов экологически устойчивого развития в регионе и предложен авторский подход к формированию системы индикаторов оценки уровня устойчивого развития социально-экономической системы региона.

Ключевые слова: устойчивое развитие, регион, социально-экономическая система, экология, окружающая среда.

Введение. Проблемы окружающей среды (разрушение озонового слоя, угроза исчезновения видов, экосистем, популяций и т.д.), виной которым является антропоцентрическая модель существования людей; социальная дифференциация, проявляющаяся в мировом масштабе (страны третьего мира) и в национальном (отдельные слои населения внутри страны); диспропорциональное распределение выгод от экономической деятельности, неравномерное разделение благосостояний (как на уровне одного государства, так и между странами) существовали всегда, в той или иной степени. Тем не менее, конечным итогом данного тренда является катастрофа с ликвидацией всего человечества. Естественно, что апокалипсис произойдет не одновременно на всей территории земли, поэтому фактор пространства будет играть немаловажную роль. (По различным оценкам ученых, при неизменном существовании человечества, катастрофа произойдет в 2020–2040 гг.) [12].

Россия обладает огромной территорией с многообразными условиями жизни и производства, которые зависят от природно-климатических и экономических факторов в ее многочисленных регионах, поэтому тема регионального развития для России будет актуальна всегда. Роль регионов в стране постоянно возрастает, в силу различных экономических преобразований, что привело к регионализации экономической жизни.

В связи с этим, оценка устойчивого регионального развития является необходимой, так как в условиях пространственной неоднородности возникают трудности в проведении единых

социально-экономических преобразований направленных на развитие регионов, каждый из которых уникален в силу исторических, природно-климатических, экономических и других особенностей, а поэтому требует индивидуального подхода.

Основные результаты исследования. Термин «устойчивое развитие» в самом себе несет противоречие, объединяя в две противоположности – «устойчивость» и «развитие». Много лет ведутся споры о том, как же следует относиться к этому термину, и как его понимать. И по настоящее время согласия в этом вопросе не найдено. Так, рассмотрим определение этого термина с позиций различных ученых (табл. 1).

В определениях термина «устойчивое развитие», приведенных выше, четко прослеживается антропоцентрическая модель существования, несмотря на то, что само по себе «устойчивое развитие» было призвано сохранить окружающую нас среду, объединить человека и природу. То есть, видно насколько сильно укоренилась в сознании и образе жизни людей эгоистичная форма жизни, человечество уже не воспринимает природу как «Природу», для него это стало основным источником дохода.

В экономику понятие «устойчивости» пришло из других областей знаний. Так, в информатике существует Теория информационных процессов и систем, в которой определяется три состояния системы: равновесие, устойчивость и развитие (рис.1). Процесс устойчивого развития в данной теории является одним из самых сложных для изучения и его можно представить в виде модели «шарик на ступеньке», согласно которой,

под внешним воздействием шарик либо поднимется «вверх» - новая ступень в развитии системы, либо «откатится назад», что равняется регрессу [8].

Таблица 1

Определения термина «устойчивое развитие»

№ п/п	Определение	Автор
1	Процесс изменений, в котором эксплуатация ресурсов, направление капиталовложений, ориентация технологического развития в гармонии с социальным благополучием и экологическим равновесием повышают ценность текущего и будущего потенциала.	Ускова Т.В. [9]
2	Состояние социо-эколого-экономической системы, при котором существуют необходимые условия и предпосылки для прогрессивного движения вперед, для поддержания внутреннего и внешнего равновесия, для обеспечения постепенного перехода экономики от простых явлений к более сложным, тем самым происходит формирование условий для ее перехода в качественно новое состояние.	Гутман Г.В., Мироедов А.А., Федин С.В.[1]
3	Форма социального и экономического развития, которая оптимизирует экономические и социальные блага, доступные в настоящее время, без создания угрозы потенциальной возможности иметь эти же блага в будущем.	Пиковский А.А., Орлова И.А. [6]
4	Способность к саморазвитию, адаптация к воздействиям различного характера и наличием эластичной и гибкой структуры хозяйства. Это такое развитие региона, которое характеризуется улучшением качества жизни проживающего населения и способствует расширенному воспроизводству потенциалов.	Стороненко М.Г.[7]
5	Развитие экономической, экологической, социальной сфер с присущим им в качестве внутренних характеристик стремлением к равновесию и сокращению диспаритета, которое обеспечивает сбалансированное, поступательное движение региона в целом, следствием чего должно явиться улучшение жизни людей.	Калинчиков М.Ю.[3]

Источник: составлено авторами на основании данных [1; 3; 6; 7; 9]

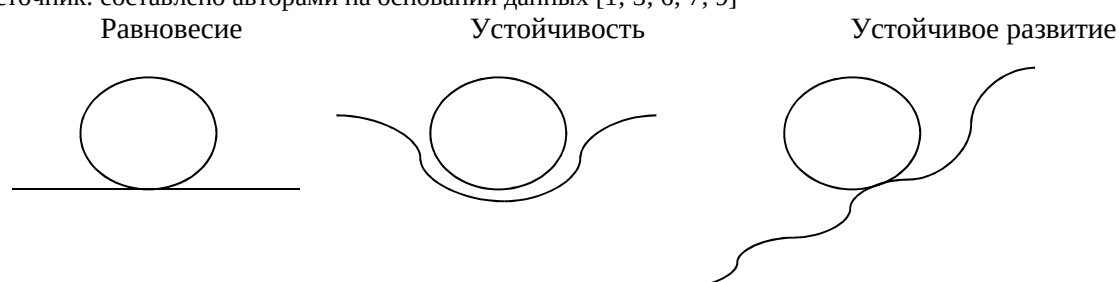


Рис. 1. Три состояния системы

Тогда, основываясь на приведенной выше теории, можно дать следующее определение термина «устойчивое развитие социально-экономической системы региона» как целостное количественное и качественное развитие всех элементов системы (социально-культурная сфера, уровень жизни населения региона, состояния окружающей среды), происходящее под воздействием внутренних (природных, географических, экологических и др.) и внешних факторов (политических, технологических и др.), в основе которого лежит принцип «предела» роста экономики до того момента, когда начинается негативное воздействие на окружающую среду.

То есть, увязать «устойчивость» и «развитие» для данной концепции возможно, как стабильный рост экономики с оптимальными издержками и эффективным природопользованием, сохраняющим стабильное состояние окру-

жающей среды, обеспечивающее соответствующий уровень жизни населения во всех ее сферах (духовная, социальная и др.)

Однако стоит отметить, что, не смотря на определенные ограничения в росте экономики в рамках концепции «устойчивого развития», не стоит прибегать к «радикальным» взглядам, придерживающихся полного ограничения в динамики экономики.

Таким образом, как представляется, устойчивое развитие заключается в том, что социально-экономическое развитие региона не имеет долгосрочной перспективы, если не соблюдаются экологические императивы, не обеспечивается стабильность социально-экономической системы и ее способность к саморазвитию путём саморегуляции обмена с окружающей средой.

Переход Российской Федерации на устойчивый путь развития, согласно указу президента РФ «О Концепции перехода Российской Федерации

к устойчивому развитию» (от 1 апреля 1996 года N 440) определил основные направления хозяйственной деятельности, обеспечивающие данное преобразование. В одном из разделов указа выделяется региональный аспект «устойчивого развития», из которого можно сделать вывод о том, что: регион – основная база для формирования фундамента устойчивого развития всего государства, поэтому к нему применимы как понятие развитие, так и устойчивость.

Существует множество определений понятия регион, в данной статье под регионом мы подразумеваем территориальные образования Российской Федерации, к которым относятся: республики, края, округа, области, территориально-производственные комплексы, территории опережающего развития, особые экономические зоны (ОЭЗ), сельские районы и их объединения. Именно им наиболее присуща целостность, нарастающее единство экономических, социальных, демографических и иных процессов, общ-

ность хозяйственных структур, а также характерная направленность развития производственных сил на базе конгломерата комплекса природных ресурсов с соответствующей сложившейся и перспективной материально-технической базой. Они наделены определенным юридическим статусом, обладают определенными полномочиями, имеют органы власти и управления.

Вместе с тем, существующие территориальные организации России не справляются с проблемой экологической катастрофы. Требуется иной системный подход, условно назовем его *административно-экологическое районирование*, в основе которого будет находиться принцип соблюдения экологической безопасности - система законодательных, технических, медицинских и биологических мероприятий, направленных на поддержание равновесия между биосферой и антропогенными, а также естественными внешними нагрузками, контроль за которыми будут осуществлять органы местного самоуправления, учитывая экологические интересы населения.

Таблица 2

Сравнительные характеристики методик оценки устойчивого социально-экономического развития регионов

№ п/п	Принцип методики	Автор(ы)
1	Оценка устойчивости социально-экономической системы региона проходит в 5 этапов. На каждом этапе соответственно происходит: обоснование состава показателей; оценка уровня развития региона по каждому показателю; расчет комплексного показателя устойчивости по блокам; формирование интегрального показателя; интерпретация интегральной оценки устойчивости социально-экономического развития региона.	Ускова Т.В. [9]
2	Динамика величины национального капитала, включающего физический, природный и человеческий капиталы. Оценка выполнения условия, что в сравнении с базовым периодом капитал вырос. Ранжирование.	Мазунина М., Скрябина Е. [4]
3	Оценка развития регионального производственного комплекса; Оценка развития научной сферы региона; Оценка развития информационно-коммуникационной инфраструктуры экономики региона.	Гирина А.Н. [2]
4	Оценка устойчивости социально-экономической системы региона проводится на основе базовых и сводных показателей: природно-ресурсный уровень развития региона; уровень кадрового развития региона; уровень экономического, инновационного, инфраструктурного и социального развития региона.	Ферару Г.С., Орлова А.В. [13]
5	Методика оценки региональных социально-экономических систем на базе двух критериев – валового регионального продукта (ВРП) как конечной характеристики региональной экономической подсистемы и ожидаемой продолжительности жизни при рождении (ОПЖ) как конечной характеристики социальной подсистемы.	Пашнанов Э.Л. [5]

Источник: составлено авторами на основании данных [2, 4, 5, 9, 13].

На сегодняшний день при оценке уровня устойчивого развития региона (УРР) возникает проблема при выборе методики оценки, поскольку нет единой общепризнанной, а существующие методы имеют определенные недостатки. Тем не менее, они вполне могут стать методологической базой при обосновании системы показателей и разработки методики оценки

устойчивости региональной социально-экономической системы (см. табл. 2). Приведенные методики оценки устойчивого социально-экономического развития базируются на использовании показателей, определяющих уровни развития промышленности регионов по видам деятельности (добыча полезных, обрабатывающие производства, производство и распределение газа и воды),

сельского хозяйства, научного и инновационного потенциала, уровней воздействия хозяйственной деятельности регионов на окружающую среду и природные ресурсы, а также кадрового потенциала.

Приведенные в табл.2 методы оценки можно условно разделить на 2 группы:

-оценка социально-экономического и природно-ресурсного уровня развития и потенциала региона;

-оценка социально-экономического уровня развития и потенциала региона.

Авторский подход к оценке устойчивости социально-экономического развития региона заключается во введении экологических ограничений еще на уровне стратегического планирования и последующей реализации программы достижений регионом намеченных целей. Наиболее часто при оценке уровня устойчивого развития социально-экономической системы региона оценивается три ее составляющие – это экономическая, экологическая и социальная. Три этих блока включают в себя следующие, наиболее значимые, по-нашему мнению, факторы, необходимые для оценки уровня отклонения от нормативных показателей (табл. 3).

Таблица 3

Факторы, влияющие на уровень устойчивого развития региона

№ п/п	Факторы, влияющие на УРР		
	Социальные	Экономические	Экологические
1	Плотность населения, чел./км ²	Объем ВРП на душу населения, тыс.руб.	Затраты на природоохранные мероприятия, тыс. руб.
2	Средняя продолжительность жизни, лет	Объем инвестиций в основной капитал, тыс. руб.	ПДК – предельно допустимая концентрация загрязняющих веществ (в воздухе мгк/м ³ , в воде мгк/л),
3	Общий коэффициент рождаемости (на 1000 чел населения)	Стоимость основных фондов, тыс. руб.	ПДУ – предельно допустимый уровень физического воздействия (шумовое (ДБА), тепловое (мкм), световое (Дж/ м ² , радиоактивное (ГГц) и т. д. излучения)
4	Общий коэффициент смертности (на 1000 чел населения)	Оборот розничной торговли, тыс. руб.	ПДВ – предельно допустимый выброс газообразного загрязнителя, устанавливаемый для каждого источника загрязнения атмосферы индивидуально, (г/с)
5	Коэффициент занятости населения	Внешнеторговый оборот, тыс. руб.	ПДС – предельно допустимый сброс жидкого загрязнителя — масса вещества в сточных водах, (г/час)
6	Среднедушевой доход, руб.	Объем производства с/х продукции, т	Инвестиции в природоохранную деятельность, в % к инвестициям в основной капитал
7	Уровень здравоохранения	Объем промышленного производства, тонн, шт.	Природоемкость (руб./руб., тонн/руб.)
8	Уровень жизни населения (ЗПср./Прожиточный минимум)	Рост экспортного потенциала региона, %	Число (доля) населения, проживающего в зонах повышенной опасности, чел.
9	Количество жилых площадей, м ²	Уровень импортозамещения, %	Количество неиспользованных и необезвреженных токсичных отходов, т
10	Количество семей, признанных нуждающимися в жилой площади, шт.	Ставка по кредитам банков, %	Экологический потенциал, объем выбросов вредных веществ в расчете на ед. ВВП
11	Количество людей, обучающихся в ВУЗах на 1000 чел., чел.	Бюджетная обеспеченность региона, тыс. руб.	Темпы сокращения загрязнения, %
12	Темпы роста заработной платы (ЗП) по отношению к предыдущему году, %	Региональный маркетинг; коммуникационная поддержка стратегии устойчивого развития (КПСУР) региона, шт.	Уровень вторичной переработки продуктов, тыс. т

Источник: составлено авторами на основании данных [9, 11, 12].

Данный список факторов является неполным, поскольку в него мы включили наиболее

значимые, с нашей точки зрения, показатели. В случае необходимости следует включить в этот

перечень те факторы, которые являются приоритетными или наиболее проблематичными, в зависимости от того, какой регион оценивается, т.е. при выборе показателей оценки УРР необходимо учитывать особенности региона. Определив значения показателей, приведенных в таблице 3 и рассчитав их норму или отклонение от нормативных показателей, мы предлагаем определить интегративные показатели, для того или иного региона:

1. Интегративный показатель рисков региона.
2. Интегративный показатель потенциала региона.
3. Интегративный показатель устойчивости региона.

Так как все показатели индикаторов, приведенных в таблице 3, являются частными, причем, одни измеряются в рублях, другие в %, третьи в штуках и пр., то мы считаем необходимым, провести расчет интегральных показателей в три этапа:

- а. определить частные индикаторы, на основе которых будет произведен расчет интегрального показателя;
- б. трансформировать частные индикаторы с целью достижения их сопоставимости друг с другом;

Формула для трансформации показателя от частного к относительному:

$$Y = (Y_f - Y_{\min}) \div (Y_{\max} - Y_{\min}) \quad (1)$$

где Y_f – фактический показатель; $Y_{\max}$ – максимальный показатель; $Y_{\min}$ – минимальный показатель.

- с. агрегирование трансформированных частных индикаторов по формуле:

$$I = \frac{(Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_n)}{n} \quad (2)$$

где I – интегрированный показатель, который находится отдельно для социального, экономического и экологического факторов; Y_1 ; Y_2 ; Y_3 ; Y_n – относительные индикаторы, входящие в блок социального, экономического и экологического факторов; n – количество индикаторов в блоке. Таким образом, мы находим интегрированный показатель социальный (I_c), экономический ($I_{э}$), экологический ($I_э$).

Так же следует отметить, что некоторые показатели из таблицы 3 требуют более детального и отдельного изучения, так как возникают определенные трудности в их измерении. К примеру, такой индикатор как «региональный маркетинг; коммуникационная поддержка стратегии устойчивого развития (КПСУР) региона» является новым показателем, предлагаемым авторами, и по

нему будет проведено дополнительное исследование.

Мы считаем, что важную роль так же играет политическая и духовная сфера, так как каждая из них влияет на формирование сознания человека, способствующему пониманию «катастрофичности» ситуации, сложившейся в экологии, мы считаем, что две эти сферы можно объединить, назвав «институциональным» фактором.

Выводы.

1. Устойчивое развитие Российской Федерации может быть обеспечено, в том числе, за счет регионального развития. На огромной территории РФ существует проблема дифференциации регионов, отсюда возникает сложность в применении единых методов обеспечения «устойчивого развития».

2. Немаловажной является проблема оценки социально-экономического уровня развития региона. Как правило, общепринятые в официальной статистике показатели, характеризующие экономические и социальные изменения приводятся в стоимостном выражении, а данные развития экологических проблем в натуральных измерениях.

3. Обосновывается необходимость создания новой модели устойчивого развития России, базирующейся на системном и комплексном подходе – единстве социальной, экономической, экологической, политической и духовной сфер.

4. Предлагается применение административно-экологического районирования, предусматривающего формирование целей регионального развития в процессе стратегического планирования введением экологических ограничений экономического роста, угрожающего безопасности окружающей среды

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гутман Г.В., Мироедов А.А., Федин С.В. Управление региональной экономикой. М.: Финансы и статистика, 2001. 176 с.
2. Гирина А.Н. Методика оценки социально-экономического развития региона // Вестник ОГУ, 2013. №8. С.82–87.
3. Калинин М.Ю. Теоретико-методологические основы концепции устойчивого развития региона // Региональная экономика: теория и практика. 2005. № 9. С. 14–18.
4. Мазунина М., Скрыбина Е. Теоретические и методологические основы оценки устойчивого развития региона // Предпринимательство. 2009. № 5. С. 23–26.
5. Пашнанов Э.Л. Методика оценки развития региональных социально-экономических систем // Региональная экономика. 2012. № 6. С. 16.

6. Пиковский А.А., Орлова И.А. Устойчивое развитие и культура СПб.2002. 278 с.

7. Стороненко М.Г. Потребительская кооперация в условиях устойчивого развития региона // Вестник Чувацкого университета, 2006. №7. С. 488–495.

8. Громов Ю.Ю., Дидрих В.Е., Иванова О.Г., Однолько В.Г. Теория информационных процессов и систем. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ». 2014. 172 с.

9. Ускова Т.В. Управление устойчивым развитием региона. Вологда: ИСЭРТ РАН. 2009. 355 с.

10. Щетинина Е.Д., Козлова Н.В. Маркетинг региона как инструмент капитализации экономических ресурсов территории // Белгородский экономический вестник. 2015. №2. С. 217–221.

Информация об авторах

Денисова Евгения Дмитриевна, аспирант кафедры менеджмента и внешнеэкономической деятельности, инженер кафедры маркетинга.

E-mail: denisowa.eugenia2016@yandex.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Куприянов Сергей Васильевич, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой менеджмента и внешнеэкономической деятельности.

E-mail: kaf-mvd@yandex.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в феврале 2018 г.

© Денисова Е.Д., Куприянов С.В., 2018

E.D. Denisova, S.V. Kupriyanov

REGIONAL DEVELOPMENT IN THE LIGHT OF THE REQUIREMENTS OF SUSTAINABILITY

The article introduces the study on the topical problem of "sustainable development" at the regional level. The problems of the interpretation of the term "sustainable development", analyzed a number of its definitions. The view on methods of estimation of "sustainable development" of regional system is stated. The necessity of using a systematic approach based on the complex interaction of all elements of the regional system, taking into account the observance of environmental imperatives, is revealed and justified. On the basis of the conducted research, the authors propose the option of creating a new model of sustainable development of the country, which imposes restrictions in the growth and development of the economy in order to preserve and "improve" the environment. The analysis of the key indicators of environmentally sustainable development in the region is carried out and the author's approach to the formation of a system of indicators for assessing the level of sustainable development of the socio-economic system of the region is proposed.

Keywords: sustainable development, region, socio-economic systems, ecology, environment.

REFERENCES

21. Gutman G.V., Miroedov A.A., Fedin S.V., Management of regional economies. M.: Finance and statistics, 2001. 176 p.

22. Girina A.N. Method of assessment of socio-economic development of the region. Herald OGU, 2013, no. 8, pp. 82–87.

11. Щетинина Е.Д. Социально-экологический маркетинг как инновационная концепция управления бизнесом // Белгородский экономический вестник. 2014. № 1 (73). С. 27–30.

12. Щукина Л.В. Экология и устойчивое развитие. Теоретические аспекты устойчивого развития региональных социально-экономических систем // Псковский регионологический журнал. 2015. № 21. С.38–50.

13. Ферару Г.С., Орлова А.В. Методика оценки уровня устойчивого социально-экономического развития регионов // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 1. С. 1–7.

23. Kalinchikov M. Y. Theoretical and methodological foundations of the concept of sustainable development of the region. Regional economy: theory and practice, 2005, no. 9, pp. 14–18.

24. Mazunina M., Skryabina, E. Theoretical and methodological framework for the assessment of sustainable development. Entrepreneurship, 2009, no. 5, pp. 23–26.

25. Pashanov E. L. Methods of evaluation of development of regional socio-economic systems. Regional economy, 2012, no. 6, pp. 16.

26. Pikovski A.A., Orlova I.A. Sustainable development and culture SPb. 2002, 278 p.

27. Storogenko G.M. Consumer cooperation in terms of sustainable development of the region. Bulletin of Chuvash University, 2006, no. 7, pp. 488–495.

28. The theory of information processes and systems : textbook / Yu. Yu. Gromov, V. E. Diedrich, O. G. Ivanova, V. G. Odnolko. Tambov : Publishing house FGBOU VPO "TSTU". 2014, 172 p.

29. Uskova T.V. Management of sustainable development of the region. ITSED RAN. 2009, 355 p.

30. Shchetinina E.D., Kozlova N.In. Marketing of the region as an instrument of capitalization of

economic resources the region. Economic Bulletin of Belgorod, 2015, no. 2, pp. 217–221.

31. Shchetinina E.D. Socio-ecological marketing as an innovative concept of business management. Economic Bulletin of Belgorod, 2014, no. 1 (73), pp. 27–30.

32. Shchukina L. In Ecology and sustainable development. Theoretical aspects of sustainable development of regional socio-economic systems. Pskov regionological journal, 2015, no. 21, pp. 38–50

33. Ferraru G.S., Orlov A.V. Method of estimating the level of sustainable socio-economic development of the. Modern problems of science and education, 2014, no. 1, pp. 1–7.

Information about the author

Evgeniya D. Denisova, Postgraduate student.

E-mail: denisowa.eugenia2016@yandex.ru

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

Sergey V. Kupriyanov, PhD, Professor.

E-mail: kaf-mvd@yandex.ru

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

Received in February 2018

Для цитирования:

Денисова Е.Д., Куприянов С.В. Региональное развитие, базирующееся на принципах устойчивости // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №7. С. 136–142. DOI: 10.12737/article_5b4f02c595f902.58061935.

For citation:

Denisova E.D., Kupriyanov S.V. Regional development in the light of the requirements of sustainability. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no.7, pp. 136–142. DOI: 10.12737/article_5b4f02c595f902.58061935.

¹Парфенова Е.Н., канд. экон. наук, доц.,²Авилова Ж.Н., канд. соц. наук, доц.¹Белгородский государственный национальный исследовательский университет²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ВНЕДРЕНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАК ФАКТОР РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

С конца прошлого столетия огромную популярность в мире стала приобретать новая, более эффективная система управления предприятием. Эта система получила название интегрированная система управления предприятием (сокращение ИСУП). В этой системе представлен набор различных приложений, которые в едином информационном пространстве реализуют все основные задачи управленческой деятельности предприятия: планирование всех видов ресурсов (материально-технических, трудовых, информационных и т.д.) для производства товаров (услуг), своевременное управление выполнением планов (включая снабжение, сбыт, ведение договоров), все виды учета, ведение хозяйственной деятельности.

Ключевые слова: интегрированная система управления, промышленное предприятие, конкурентоспособность, эффективность, управление проектами.

Введение. Интегрированная система управления предприятием – это набор всех данных в единой базе в реальном времени, в которой можно сохранять общие модели управления для предприятий любых отраслей [1]. Проблемы, возникающие при параллельном или последовательном независимом внедрении нескольких стандартов, нередко приводят к следующим негативным последствиям:

- дублирование должностей и функций различных подразделений, бизнес-процессов, документационного оборота;
- отсутствие интеграции между системами управления качеством, безопасностью выпускаемой продукции, экологией, профессиональной безопасностью и здоровьем при независимом внедрении;
- невозможность восприятия системы менеджмента руководством компании, соответственно, низкая эффективность планирования, контроля и управления в целом;
- длительный срок внедрения изменений на предприятии;
- большая трудоемкость и потребность в ресурсах при независимом внедрении новых систем и технологий.

Данные проблемы можно успешно решить путем внедрения на производственных предприятиях интегрированных систем управления предприятием.

Методология. Основанием для исследования проблемы повышении конкурентоспособности и развития промышленных предприятий послужили фундаментальные труды классиков научной мысли по широкому спектру проблем, а

также современные работы зарубежных и отечественных ученых по вопросам методологии и методике формирования конкурентных преимуществ предприятий в процессе внедрения интегрированной системы управления.

В процессе исследования были использованы диалектический метод, предопределяющий изучение явлений в их постоянном развитии и взаимосвязи. В работе применялись также методы ситуационного, структурно-функционального, экономико-статистического, компаративного анализа, табличная и графическая интерпретация эмпирико-фактологической информации.

Основная часть. Преимущества внедрения интегрированной системы управления в высшей степени актуальны для производственных предприятий, учитывая, что для того, чтобы соответствовать рыночным требованиям, необходимо внедрять одновременно несколько систем управления, иначе будет затруднен поиск заказчиков и достаточно сложно будет выживать на рынке в условиях нарастающей глобализации.

Главной задачей внедрения подобной системы является создание объединенного документооборота подсистем управления производством, качеством, складами сырья и готовой продукции, а также охраной труда и управлением проектами [2].

В этой связи интересен опыт внедрения интегрированной системы управления в компании ООО «ЭКОХИМ-ИНКАПОЛ». Данное предприятие, как и многие предприятия Российской Федерации, имеет линейно-функциональную структуру управления. Используя эту структуру, специалисты смогли объединить опыт в своей работе, оттачивать свои навыки и сделать их лучше.

За долгое время работы все процессы были отработаны, безопасность была уменьшена, постоянные команды были созданы. Каждый работник четко знает свои должностные обязанности и выполняет только то, что за что он несет ответственность.

Жесткая организационная структура осуществляет управление всей компанией. Эта деятельность направлена на выполнение повседневной деятельности по строительству, продаже, хранению, передаче, выпуску, учету и персоналу. Все процессы направлены на то, чтобы компания существовала, сохраняла власть и платежеспособность. Такую деятельность называют текущей деятельностью предприятия. При этом все ее службы заточены на поддержание жизнедеятельности, а не на развитие. С точки зрения глобальной экономики и сложных политических условий - поддержание жизнеспособности является недостаточным критерием для эффективной работы.

При этом, несомненно, компания должна развиваться, а сложившаяся организационная структура никак не способствует этому. Такая структура не обеспечивает своевременное решение проблем, ввиду своей громоздкости. Компания потеряла свой статус, а также маневренность, что является провалом на быстрорастущем рынке. Работники привыкли к своим должностным обязанностям и начинают противиться нововведениям и новациям в работе. Очень сложно реализуются решения по комплексным задачам, когда задействованы несколько отделов компании.

Эти и еще многие проблемы испытывает компания ООО «ЭКОХИМ-ИНКАПОЛ» так же, как и большое количество похожих организаций. Для того чтобы решить многие нынешние проблемы, на наш взгляд, необходимо менять подход в управлении в сторону развития и интегрировать проектный подход [3].

В последнее время самой актуальной задачей в сфере управления становится повышение уровня гибкости и эффективности организаций, то есть их возможности эффективнее, быстрее и слаженнее реагировать на изменения рынка. В результате, процесс развития становится эффективным конкурентным преимуществом предприятия, а достигается это только с помощью проектного подхода в управлении [4].

Проект, в общем понимании – это комплекс взаимосвязанных задач, которые должны быть выполнены в течение определенно заданного времени и при установленном размере бюджета в рамках круга заинтересованных людей.

Управление проектом – это постоянное управление изменениями с целью успешного выполнения запланированных работ в соответствии

с изначально установленными задачами и требованиями по: срокам, стоимости, качеству. Проектная деятельность предприятия направлена на развитие, выполняется временными командами, и проекты являются всегда уникальными с уникальными задачами и решениями.

В проектах должны участвовать сотрудники из разных отделов, но под руководством одного руководителя проекта. Только так можно решать комплексные задачи и развиваться. Для того чтобы начать работать в рамках проектов ни в коем случае нельзя нарушать структуру предприятия, так как это может привести к неотвратимым последствиям. Можно создать отдел проектного управления, где будут решаться все организационные и управленческие вопросы. На предприятии появится новая должность – руководитель проектов. Это тот человек, который будет реализовывать проекты по развитию, набирая себе в команду нужных сотрудников из разных отделов. Руководители проектов наделены властью над всеми участниками команды и несут полную ответственность за исход проекта [6].

Одним из главных плюсов для ООО «ЭКОХИМ-ИНКАПОЛ» в рамках проектного управления можно назвать использование новейших технологий, что ведет за собой внедрение на предприятии ряда инноваций. Именно на их использовании начинается создание новой стратегической деятельности компании: производственных технологий, планирования, контроля качества, документооборота, новых корпоративных стандартов, обучения персонала и т.д. [7, 8, 10]. Одним из главных плюсов такого подхода является резкое улучшение качества работы и обслуживания.

Наконец, одной из главных положительных черт проектного управления является действительное сокращение сроков выполнения задач [6]. Проектное управление позволяет реализовать рабочий процесс максимально открыто и понятно, а значит, более эффективно и клиентоориентированно, что, в свою очередь, не может не сказаться на повышении качества работы.

Выводы. Если предприятие имеет многоуровневую систему управления с большим количеством отделов, то управлять и принимать быстро правильные решения достаточно сложно и, к тому же, это занимает много времени, сил и эмоций. Таким предприятиям необходима система, способная помочь в принятии комплексных решений [4]. На наш взгляд, такой системой является интегрированная система управления предприятием. В этой системе собирается информация для ведения финансово-хозяйственной деятельности и принятия управленческих решений. Она способствует увеличению эффективности

работы подразделений организации, создав единое, оперативно контролируемое информационное пространство и оптимизирует бизнес-процессы на предприятии [9].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баркалов П.С., Буркова П.С., Глаголев А.В. Задачи распределения ресурсов в управлении проектами. М.: ИПУ РАН, 2012. 65 с.
2. Либерзон В.И. Основы управления проектами. М.: Нефтяник, 2013. 150 с.
3. Парфенова Е.Н., Авилова Ж.Н. Необходимость портфельного управления проектами в строительстве // Вестник БГТУ им. Шухова. 2018. № 1. С. 106–110.
4. Щепкин А.В. Механизмы внутрифирменного управления. М.: ИПУ РАН, 2011. 80 с.
5. Тхориков Б.А. Проблемы целеполагания в системе государственного управления социальной сферой // Историческая и социально-образовательная мысль. 2016. Т. 8. № 1-2. С. 164–166.
6. Ломовцева О.А., Герасименко О.А. Участие вузов в инновационном обновлении промышленности региона // Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса. 2014. № 1. С. 131–133.
7. Дорошенко Ю.А., Климашевская А.А. Технологическая модернизация предприятий: барьеры, критерии принятия решения и механизм реализации // Белгородский экономический вестник. 2015. № 2 (78). С. 20–27.
8. Дорошенко Ю.А., Малыхина И.О. Важнейшие технологии развития инвестиционно-инновационной деятельности регионов России // Белгородский экономический вестник. 2016. № 2 (82). С. 21–26.
9. Боткин О.И., Гребёнкин И.В. Формирование конкурентного потенциала машиностроительного комплекса региона // Экономика региона. 2014. № 1. С. 125–132.
10. Avilova Z.N., Gulei I.A., Shavyrina I.V. Formation of the customer-centric organizational culture of the university as a factor of effective social and economic development of the region // Mediterranean Journal of Social Sciences. 2015. Т. 6. № 3. С. 207–216.

Информация об авторах

Парфенова Елена Николаевна, кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента и маркетинга.

E-mail: parfenova@bsu.edu.ru

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д. 85.

Авилова Жанна Николаевна, кандидат социологических наук, доцент кафедры социологии и управления.

E-mail: janna-avilova@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, 46

Поступила в апреле 2018 г.

© Парфенова Е.Н., Авилова Ж.Н. 2018

E.N. Parfenova, Z.N. Avilova

INTRODUCTION OF THE INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEM AS THE FACTOR OF DEVELOPMENT OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISE

In the article we have proved the research topicality of problem of increase in competitiveness of the industrial enterprises, have analyzed problem of introduction of the integrated enterprise management system and advantages of project management in modern conditions, have mentioned questions of increase in efficiency of business processes.

Keywords: *the integrated management system, the industrial enterprise, the competitiveness, the efficiency, the project management.*

REFERENCES

1. Barkalov P.S., Burkova PS, Glagolev AV The tasks of resource allocation in project management. Moscow: IPU RAN, 2012, 65 p.
2. Liberzon V.I. Fundamentals of project management. Moscow: Neftyanik, 2013, 150 p.
3. Parfenova E.N., Avilova ZH.N. Necessity of portfolio management of projects in construction. Herald of BSTU. Shukhov, 2018, no.1, pp. 106–110.
4. Schepkin A.V. Mechanisms of intrafirm management. Moscow: IPU RAN, 2011, 80 p.
5. Tkhorikov B.A. Problems of goal-setting in the system of public administration of the social sphere. Historical and Socio-Educational Thought. 2016, vol. 8, no.1-2, pp. 164–166.

6. Lomovtseva O.A., Gerasimenko O.A. Participation of universities in innovative updating of the region's industry. Business. Education. Right. Herald of the Volgograd Institute of Business, 2014, no.1, pp. 131–133.

7. Doroshenko Yu.A., Klimashevskaya A.A. Technological modernization of enterprises: barriers, decision criteria and implementation mechanism. Belgorod economic herald, 2015, no.2, pp. 20–27.

8. Doroshenko Yu.A., Malykhina I.O. The most important technologies for the development of investment and innovation activities in the regions of

Russia. Belgorod Economic Herald, 2016, no.2, pp. 21–26.

9. Botkin O.I., Grebyonkin I.V. Formation of the competitive potential of the machine-building complex of the region. Economy of the region, 2014, no.1, pp. 125–132.

10. Avilova Z.N., Gulei I.A., Shavyrina I.V. Formation of the customer-centric organizational culture of the university as a factor of effective social and economic development of the region. Mediterranean Journal of Social Sciences, 2015, no.3, pp. 207–216.

Information about the author

Elena N. Parfenova, PhD., Assistant professor.

E-mail: parfenova@bsu.edu.ru

Belgorod National Research University.

Russia, 308015, Belgorod, st. Pobeda, 85.

Zhanna N. Avilova, PhD., Assistant professor.

E-mail: janna-avilova@mail.ru

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

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in April 2018

Для цитирования:

Парфенова Е.Н., Авилова Ж.Н. Внедрение интегрированной системы управления как фактор развития промышленного предприятия // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №7. С. 143–146. DOI: 10.12737/article_5b4f02c65d9186.02042802.

For citation:

Parfenova E.N., Avilova Z.N. Introduction of the integrated management system as the factor of development of the industrial enterprise. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no.7, pp. 143–146. DOI: 10.12737/article_5b4f02c65d9186.02042802.

Научное издание

«Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова»
№ 7, 2018 г.

Научно-теоретический журнал

Ответственный за выпуск Н.И. Алфимова
Компьютерная верстка С.Ю. Яшкина
Дизайн обложки Е.А. Гиенко

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 02.06.18. Подписано в печать 23.07.18. Формат 60×84/8

Усл. печ. л. 17,09. Уч.-изд. л. 18,38.

Тираж 500 экз. Заказ 295. 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