

Научно-теоретический журнал

Вестник

Белгородского государственного технологического
университета им. В.Г. Шухова

ISSN 2071-7318

12

2018

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

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВЕСТНИК

БГТУ им. В.Г. ШУХОВА

№ 12, 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 (ЛПГУ, 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. Мешерин (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. Потанов (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. Семенов (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. Ханин (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)

Адрес редакции:

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

БГТУ им. В.Г. Шухова, оф. 724/4 Гк.

Тел: +7 (4722) 30-99-77

Е-mail: VESTNIK@intbel.ru

Официальный сайт журнала:

http://vestnik_rus.bstu.ru

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. Dyuun (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)

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, Kostyukova str., Belgorod, 308012, Russia

BSTU named after V.G. Shukhov, 724/4.

Tel.: +7 (4722) 30-99-77

E-mail: VESTNIK@intbel.ru

Journal web-site: http://vestnik_eng.bstu.ru

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Логанина В.И., Мажитов Е.Б., Лашина И.В. ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ЗОЛЬ СИЛИКАТНОЙ КРАСКИ	6
Володченко А.А. ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА СВОЙСТВА НЕАВТОКЛАВНЫХ СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НЕТРАДИЦИОННОГО СЫРЬЯ	12
Колчунов Вл.И., Никулин А.И., Обернихин Д.В. ОСОБЕННОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ И АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ШИРИНЫ РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТРАПЕЦИЕВИДНОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ	21
Борисюк Е.А. ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЗАИМОСВЯЗЬ КОМПОНЕНТОВ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМАХ (ЧАСТЬ 2)	34
Долженко А.В., Наумов А.Е., Шевченко А.В., Стойкович Н. ВЛИЯНИЕ КАСАТЕЛЬНЫХ СИЛ ТРЕНИЯ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛАСТИКОТРУБОБЕТОННОГО ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТОГО КОРОТКОГО СТЕРЖНЯ	42
Ганджунцев М.И., Филатов В.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТОНКИХ ИЗГИБАЕМЫХ ПЛАСТИН ПРИ ЗАДАННОЙ НЕРАВНОМЕРНОЙ ОСАДКЕ ТОЧЕК КОНТУРА	52
Киреев В.М., Минко В.А., Гольцов А.Б., Болгов А.И. РЕЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ АСПИРАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭФФЕКТА КОАНДА	57
Семиненко А.С., Уляшева В.М. ПОВЕДЕНИЕ ЧАСТИЦ ПОРОШКООБРАЗНОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ПНЕВМОТРАНСПОРТНОЙ ЗАГРУЗКЕ	63
Статинов В.В., Серых И.Р., Чернышева Е.В., Дегтярь А.Н. РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД В ОБЛАСТИ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	67
Попова В.Ю. ТИПОЛОГИЯ ЖИЛИЩНОГО ФОНДА ГОРОДА БЕЛГОРОДА	73
Перькова М.В., Вайтенс А.Г., Баклаженко Е.В. КЛАССИФИКАЦИЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОНФЛИКТОВ	83

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Ключникова Н.В., Генов И., Мухачева В.Д., Пискарева А.О. ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ КОМПОЗИТОВ	91
Ерыгина А.О., Мишин Д.А., Классен В.К. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ Na_2O С КЛИНКЕРНЫМИ МИНЕРАЛАМИ ПРИ ИХ РАЗЛИЧНЫХ СОЧЕТАНИЯХ	98
Загороднюк Л.Х., Сумской Д.А., Чепенко А.С. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ГИДРАТАЦИИ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ВЯЖУЩИХ	105

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Уральский А.В., Уральский В.И., Севостьянов В.С., Загороднюк Л.Х., Юрченко В.В., Синица Е.В. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ПОМОЛЬНОГО АГРЕГАТА ПРИ МОКРОМ СПОСОБЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ	114
Варнавский А.Н., Гадельшин А.Р., Салин Д.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЕЧАТИ НА КАЧЕСТВО И СООТНОШЕНИЕ ЦЕНА/КАЧЕСТВО РЕЗУЛЬТАТА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ НА БЮДЖЕТНОМ 3D-ПРИНТЕРЕ	124
Марусич К.В., Антонцева И.В. РАСЧЁТ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ВНЕДРЕНИЯ ТВЁРДОСПЛАВНЫХ ФРЕЗ	132
Третьякова В.А. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАНЖИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ДЛЯ ВЫБОРА АУТСОРСЕРА	138

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Герасименко О.А., Авидова Ж.Н., Семибратский М.В. СИСТЕМА ПРОЕКТНОЙ МОТИВАЦИИ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ	150
Балабанова Г.Г. ПРИЧИНЫ НИЗКОЙ ИННОВАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	156
Абрашкин М.С. РАЗВИТИЕ СТАНКОИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ НАУКОЁМКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ	164

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Loganina V.I., Mazhitov E.B., Lashina I.V. THE EVALUATION OF OPERATIONAL PROPERTIES OF COATINGS BASED ON SOL SILICATE PAINT	6
Volodchenko A.A. THE INFLUENCE OF EXPLOITATION CONDITIONS ON PROPERTIES OF NON-AUTOCLAVED SILICATE MATERIALS ON THE BASIS OF ALTERNATIVE RAW MATERIALS	12
Kolchunov V.I., Nikulin A.I., Obernih D.V. FEATURES OF RESISTANCE AND ALGORITHM FOR CALCULATING WIDTH OF REINFORCED CONSTRUCTION CRACK OPENING OF STRUCTURAL TRAPEZOIDAL CROSS-SECTION	21
Borisyuk E.A. RELATIVE INTERCONNECTION OF COMPONENTS IN MULTICOMPONENT SYSTEMS (PART 2)	34
Dolzhenko A.V., Naumov A.E., Shevchenko A.V., Stoykovich N. INFLUENCE OF THE TANGENTIAL FORCES OF FRICTION ON STRESSED-DEFORMED STATE OF POLIMER CONCRETE PIPE OF CENTRALLY COMPRESSED SHORT ROD	42
Gandjountsev M.I., Filatov V.V. DETERMINATION OF THE STRESSED-DEFORMED STATE OF THIN BINDING PLATES UNDER THE SPECIFIED UNEVEN LOADING OF EDGE POINTS	52
Kireev V.M., Minko V.A., Goltsov A.B., Bolgov A.I. RECIRCULATION ENERGY EFFICIENT ASPIRATION SYSTEMS WITH THE USE OF THE COANDA EFFECT	57
Seminenko A.S., Uliasheva V.M. BEHAVIOR OF PARTICLES OF POWDERED MATERIAL AT PNEUMATIC TRANSPORT LOADING	63
Statinov V.V., Serykh I.R., Chernyshova E.V., Degtyar A.N. THE RISK-ORIENTED APPROACH IN THE FIELD OF INDUSTRIAL SAFETY	67
Popova V.U. TYPOLOGY OF THE HOUSING FUND OF THE CITY OF BELGOROD	73
Perkova M.V., Vitens A.G., Baklazhenko E.V. CLASSIFICATION OF URBAN CONFLICTS	83

CHEMICAL TECHNOLOGY

Klyuchnikova N.V., Genov I., Mukhacheva V.D., Piskareva A.O. PROTECTIVE COATINGS BASED ON MODIFIED PHENOLFORMALDEHYDE COMPOSITES	91
Erygina A.O., Mishin D.A., Klassen V.K. THE SEQUENCE OF Na_2O INTERACTIONS WITH CLINKER MINERALS IN THEIR VARIOUS COMBINATIONS	98
Zagorodnyuk L.Kh., Sumskoy D.A., Chepenko A.S. FEATURES OF THE HYDRATATION PROCESSES OF HIGHLY DISPERSED BINDERS	105

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

Uralsky A.V., Uralsky V.I., Sevostyanov V.S., Zagorodnyuk L.H., Yurchenko V.V., Sinita E.V. EFFICIENCY EVALUATION OF CENTRIFUGAL GRINDER UNIT UNDER WET GRINDING	114
Varnavsky A.N., Gadelshin A.R., Salin D.S. THE RESEARCH OF PRINTING PARAMETERS IMPACT ON QUALITY AND PRICE/QUALITY RATIO OF THE PRODUCT'S PRINTING RESULT ON A BUDGET 3D-PRINTER	124
Marusich K.V., Antontseva I.V. THE CALCULATION ECONOMIC EFFECT FROM THE INTRODUCTION OF HARD ALLOYS MILLS	132
Tretiakova V.A. DEVELOPMENT OF THE TECHNIQUE OF RANGING ORGANIZATIONS USING A SCORE-RATING EVALUATION SYSTEM FOR THE SELECTION OF THE OUTSOURCER	138

ECONOMIC SCIENCE

Gerasimenko O.A., Avilova Zh.N., Semibratsky M.V. PROJECT MOTIVATION SYSTEM: THEORY AND PRACTICE OF THE BELGOROD REGION	150
Balabanova G.G. CAUSES OF LOW INNOVATIVE ACTIVITY OF ENTERPRISES IN THE INDUSTRY OF BUILDING MATERIALS	156
Abrashkin M.S. DEVELOPMENT OF THE MACHINE TOOL INDUSTRY AS A FACTOR OF INCREASING THE INTENSIFICATION OF SCIENTIFIC-POWER ENTERPRISES OF SPACE MECHANICAL ENGINEERING	164

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.12737/article_5c1c994bc1ecd0.55450446

¹Логанина В.И., ¹Мажитов Е.Б., ²Лашина И.В.¹Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
Россия, 440028, Пенза, ул. Германа Титова, д. 28²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

*E-mail: loganin@mail.ru

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ЗОЛЬ СИЛИКАТНОЙ КРАСКИ

Аннотация. Приведены сведения о эксплуатационных свойствах покрытий на основе золь силикатной краски. Показано, что по своим свойствам краска и покрытие на ее основе соответствуют требованиям, предъявляемым к покрытиям для наружной отделки зданий, обладают более высокой адгезией, достаточной паропроницаемостью. Описано поведение покрытия на основе золь силикатной краски в процессе циклического замораживания-оттаивания. Установлено, что состояние покрытия на основе разработанного состава после 40 циклов испытания оценено 1.1 баллами, что соответствует состоянию покрытия с отсутствием изменения цвета, меления, грязеудержания. Покрытия на основе силикатной краски более подвержены разрушению.

Приведены результаты изучения структуры поверхности покрытий методом сканирующей зондовой микроскопии. Выявлено, что на поверхности покрытий на основе силикатной краски в основном присутствуют поры с диаметром от 18,8 до 19,4 мкм, в то время как в покрытии на основе калиевого полисиликатного раствора присутствуют две группы пор: от 19,2 до 20,0 мкм и от 20,0 до 21,2 мкм. Наиболее часто встречающиеся поры размером 20,3–20,4 мкм.

Установлено увеличение числовых значений коэффициента паропроницаемости покрытий на основе полисиликатных связующих по сравнению с покрытиями на основе жидкого стекла. Приведены значения водопоглощения при капиллярном всасывании растворных образцов, окрашенных золь силикатной и силикатной краской. Установлено, что водопоглощение при капиллярном всасывании образцов, окрашенных золь силикатной краской, составляет 3,43 кг/м², а окрашенных силикатной краской – 3,76 кг/м².

Ключевые слова: золь силикатная краска, полисиликатное связующее, покрытия, проницаемость, водостойкость, морозостойкость.

Введение. Для отделки наружных и внутренних стен зданий нашли широкое применение силикатные краски [1–4]. Учитывая возрастающие требования к качеству отделки, актуальным является разработка способов модификации жидкого стекла, что позволит получить покрытия с более высокими защитными и декоративными свойствами. Анализ патентной и научно-технической литературы свидетельствуют, что одним из способов модификации является введение в состав связующего золя кремниевой кислоты, что обеспечивает более высокие эксплуатационные свойства покрытий [5, 6, 7].

Нами на основе полисиликатного раствора разработана рецептура состава, предназначенного для отделки наружных и внутренних стен зданий [8, 9]. Для получения полисиликатного связующего применяли золь кремниевой кислоты Nanosil 20 и Nanosil 30, выпускаемые ПК «Промстеклоцентр». В работе применяли калиевое жидкое стекло – с модулем $M=3,29$. В каче-

стве наполнителя применяли маршалит, микрокальцит марки МК-2 (ТУ 5743-001-91892010-2011) и тальк марки МТ-ГШМ (ГОСТ 19284-79), в качестве пигмента – диоксид титана 230 рутильной формы (ТУ 2321-001-1754-7702-2014).

Вязкость красочных составов составляет 17–20 с по ВЗ-4, степень высыхания до степени 5 – 70–90 мин, адгезия к растворной подложке – 1 балл, смываемость – не более 2 г/м². Краска образует покрытие, характеризующееся ровной однородной матовой поверхностью. Стойкость к статическому действию воды при температуре 20 °С составляет не менее 24 час.

Основная часть. В продолжении дальнейших исследований были проведены испытания растворных образцов, окрашенных золь силикатной краской, на морозостойкость путем попеременного оттаивания и замораживания. Оценку внешнего вида покрытий проводили по ГОСТ 6992-68 Покрытия лакокрасочные. Метод

испытаний на стойкость в атмосферных условиях. За «отказ» принималось состояние покрытия, оцененное III.3 баллами.

Установлено, что состояние покрытия на основе разработанного состава после 40 циклов испытания оценено I.1 баллами, что соответствует состоянию покрытия с отсутствием изменения цвета, меления, грязеудержания (рис. 1 в, г). Покрытия на основе силикатной краски более подвержены разрушению (рис. 1 а, б).

Была проведена оценка проницаемости покрытий в соответствии с ГОСТ 25898-2012 «Материалы и изделия строительные. Методы определения паропроницаемости и сопротивления паропроницанию» (ISO 12572:2001, NEQ) и ГОСТ 33355-2015 (ISO 7783:2011) «Материалы лакокрасочные. Определение характеристик паропроницаемости. Метод чашки».



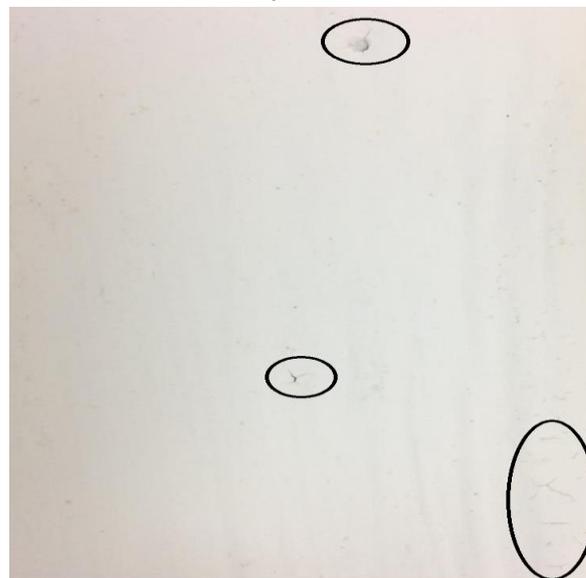
а



б



в



г

Рис. 1. Внешний вид покрытий после испытания на морозостойкость
 а – покрытие на основе силикатной краски до испытания; б – покрытие на основе силикатной краски после 40 циклов испытания; в – покрытие на основе золь силикатной краски до испытания;
 г – покрытие на основе золь силикатной краски после 40 испытания

Установлено, что коэффициент паропроницаемости покрытий на основе калиевого полиси-

ликатного связующего, определенный в соответствии с ГОСТ 25898-2012, составляет

0,00878 мг/м·чПа, а на основе калиевого жидкого стекла – 0,00272 мг/м·чПа.

Для оценки водозащитных свойств покрытий были проведены испытания растворных образцов, окрашенных силикатной и золь силикатной красками. После отверждения покрытий было определено водопоглощение при капиллярном всасывании окрашенных образцов (рис. 2). Водо-

поглощение при капиллярном всасывании образцов, окрашенных золь силикатной краской, составляет 4,4 %, а окрашенных силикатной краской – 4,6 %. Более низкое значение водопоглощения образцов, окрашенных золь силикатной краской, свидетельствует об изменении размеров пор в структуре покрытия по сравнению с покрытием на основе силикатной краски.

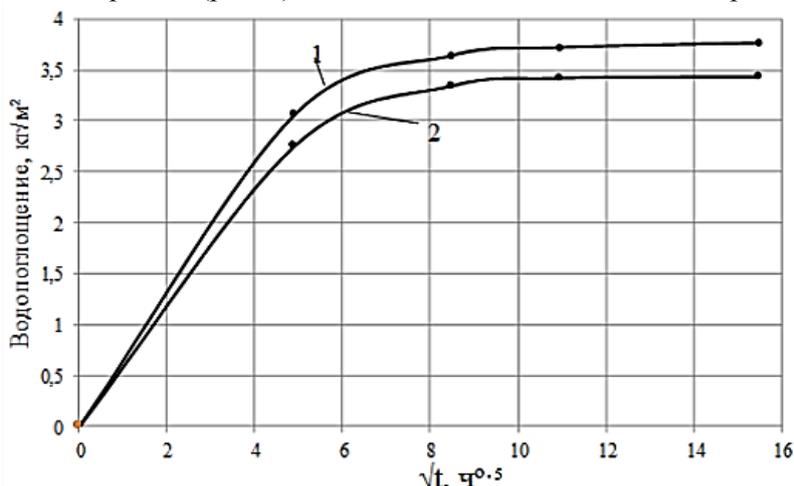


Рис. 2. Кинетика водопоглощения при капиллярном всасывании окрашенных растворных образцов
1 – образцы окрашены силикатной краской;
2 – образцы окрашены золь силикатной краской

Для оценки локальной структуры поверхности покрытий применяли методы сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ) [10, 11, 12]. Установлено, что поверхность покрытий на основе калиевого жидкого стекла содержит определенное количество пор нанометрического диапазона, отличающихся друг от друга по размерам и форме. Максимальный размер пор составляет 19,6. В основном присутствуют поры с диаметром от 18,8

до 19,4 мкм (рис. 3, а), в то время как в покрытии на основе калиевого полисиликатного раствора – присутствуют две группы пор: от 19,2 до 20,0 мкм и от 20,0 до 21,2 мкм. Наиболее часто встречающиеся поры размером 20,3–20,4 мкм. Значение максимального размера пор составляет 21,2 мкм (рис. 3, б).

В табл. 1 приведены значения свойств золь силикатной краски и покрытий на ее основе.

Таблица 1

Свойства красочного состава и покрытий на его основе

Наименование показателей	Значения
Удобнонаносимость	хорошая
Вязкость по ВЗ-4.с	17–20
Усадка, наличие трещин	нет
Жизнеспособность, сутки	Более 90
Время высыхания, мин, до степени 5	15–25
Адгезия, баллы	1
Адгезия, МПа	1,1–1,3
Коэффициент паропроницаемости, мг/м·чПа	0,00878
Прочность при ударе кгсм	50
Смываемость, г/м ²	Не более 2
Водостойкость (внешний вид после 24 час выдержки в воде)	Отсутствие белых матовых пятен, отслаивания, сыпи, пузырей и других разрушений
Морозостойкость, марка	F35

Анализ данных, приведенных в табл.1, свидетельствует, что по своим свойствам краски и покрытие на ее основе соответствуют требова-

ниям, предъявляемым к покрытиям для наружной отделки зданий, обладают более высокой адгезией, достаточной паропроницаемостью.

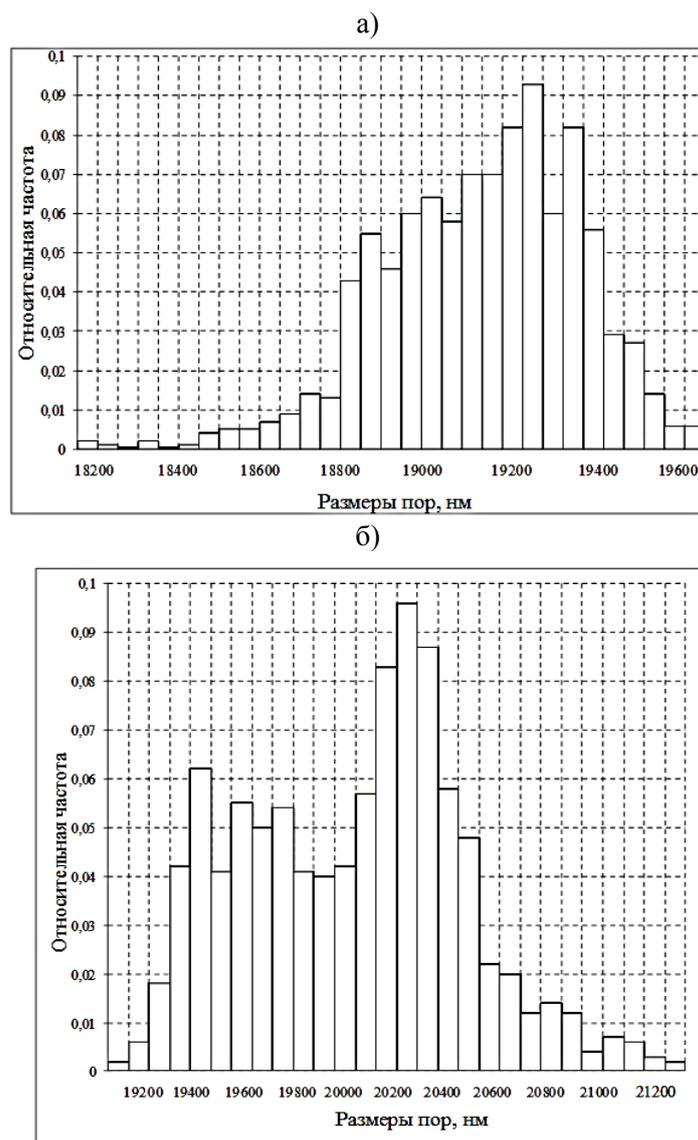


Рис. 2. Гистограмма распределения диаметра пор покрытий:
а) на основе калиевого жидкого стекла; б) на основе калиевого полисиликатного раствора

Источник финансирования. Государственная программа Российской Федерации «Развитие науки и технологий» на 2013–2020 годы, Программа фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы, в рамках Плана фундаментальных научных исследований Минстроя России и РААСН, тема 7.5.1.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корнеев В.И., Данилов В.В. Производство и применение растворимого стекла. Л.: Стройиздат, 1991. 176 с.
2. Tryba, B. Wrobel R.J.; Нона, Р. etc. Improvement of photocatalytic activity of silicate paints by removal of K_2SO_4 // Atmospheric environment. 2015. Том: 115. С. 47–52. Опубликовано: AUG 2015
3. Goodarzi Iman Mirzaie, Farzam Mansour, Shishesaz Mohammad Reza; и др. Eco-Friendly,

Acrylic Resin-Modified Potassium Silicate as Water-Based Vehicle for Anticorrosive Zinc-Rich Primers // Journal of applied polymer science. 2014. Vol 13. Issue 12.

4. Li Sanxi, Ding Junyong, Shawgi Nazar, Qi Shan. Effect of organic montmorillonite on the performance of modified waterborne potassium silicate zinc-rich anti-corrosion coating // Research on chemical intermediates. 2016. Vol. 42. Issue 4. Pp. 3507–3521 DOI: 10.1007/s11164-015-2228-6
5. Получение и применение гидрозолей кремнезема / под ред. Ю. Г. Фролова. М.: Труды МХТИ им. Д. И. Менделеева, 1979.
6. Айлер Р. Химия кремнезема. В 2 т. М.: Мир, 1982.
7. Loganina V.I., Kislitsyna S.N., Mazhitov Y.B. Properties of Polysilicate Binders for Sol-Silicate Paints. Advanced Materials Research Submitted: 2018-01-26 doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.1147.1 Accepted: 2018-02-23

8. Логанина В.И., Кислицына С.Н., Мажитов Е.Б. Разработка рецептуры золь-силикатной краски // Региональная архитектура и строительство. 2017. №3. С. 51–53.

9. Логанина В.И., Кислицына С.Н., Мажитов Е.Б. Технологические свойства золь силикатной краски // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №2. С. 17–21.

10. Чижик С.А. Сыроежкин С.В. Методы сканирующей зондовой микроскопии в микро- и

наномеханике // Приборы и методы измерений. 2010. № 1. С. 85–94.

11. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. Н. Новгород: Химия. 2004. С. 376 с.

12. Бухараев А.А., Овчинников А.А. Диагностика поверхности с помощью сканирующей силовой микроскопии // Заводская лаборатория. 2004. №5. С. 10–27.

Информация об авторах

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

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

Лашина Ирина Владимировна, аспирант, инженер кафедры строительного материаловедения изделий и конструкций. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в сентябре 2018 г.

© Логанина В.И., Мажитов Е.Б., Лашина И.В., 2018

^{1,*}*Loganina V.I., ¹Mazhitov E.B., ²Lashina I.V.*

¹*Penza State University of Architecture and Construction*

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

²*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

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

THE EVALUATION OF OPERATIONAL PROPERTIES OF COATINGS BASED ON SOL SILICATE PAINT

Abstract. The data is provided on the operational properties of coatings based on sol silicate paint. It is presented, the paint meets requirements for buildings' exterior coating, has higher adhesion, sufficient vapor permeability. The state of coating based on the sol silicate paint during the process of cyclic freeze-thaw is described. The coating based on developed composition is estimated at 1.1 points after 40 test cycles. It corresponds to the condition of coating with no change in color, chalking and mud retention. Coatings based on silicate paint are susceptible to destruction. The results of studying the surface structure of coatings by scanning probe microscopy are presented. It is found, that pores with a diameter of 18.8 to 19.4 μm are mainly present on the surface of silicate-based coatings. The coating based on the potassium polysilicate solute has two groups of pores: from 19.2 to 20.0 μm and from 20.0 to 21.2 μm . The most common pores are 20.3–20.4 μm . An increase in the numerical values of the coefficient of vapor permeability of coatings based on polysilicate binders in comparison with coatings based on liquid glass is established. The values of capillary water absorption of solute samples painted with Sol silicate and silicate paint are given. It is established that water absorption by capillary absorption of samples stained with sol silicate paint is 3.43 kg/m^2 and silicate paint is 3.76 kg/m^2 .

Keywords: sol silicate paint, polysilicate binder, coatings, permeability, water resistance, frost resistance.

REFERENCES

1. Korneev V.I., Danilov V.V. Production and use of soluble glass. L.: Stroyizdat. 1991, 176 p.
2. Tryba B., Wrobel R.J., Homa, P. etc. Improvement of photocatalytic activity of silicate paints

by removal of K_2SO_4 . Atmospheric environment. 2015, vol. 115. pp. 47–52. Publication: AUG 2015/

3. Goodarzi, Iman Mirzaie; Farzam, Mansour; Shishesaz, Mohammad Reza; и др. Eco-Friendly, Acrylic Resin-Modified Potassium Silicate as Water-

Based Vehicle for Anticorrosive Zinc-Rich Primers. Journal of applied polymer science, 2014, vol. 13, issue 12.

4. Li Sanxi, Ding Junyong, Shawgi Nazar, Qi Shan. Effect of organic montmorillonite on the performance of modified waterborne potassium silicate zinc-rich anti-corrosion coating. Research on chemical intermediates, 2016, vol. 42, issue 4, pp. 3507–3521 DOI: 10.1007/s11164-015-2228-6

5. Receiving and application of hydrosols of silicon dioxide. Under the editorship of Yu.G. Frolov. M.: Works MHTI of D.I. Mendeleev. 1979.

6. Ayler P. Silicon dioxide chemistry. In the 2nd TM: World. 1982.

7. Loganina V.I., Kislitsyna S.N., Mazhitov Y.B. Properties of Polysilicate Binders for Sol-Silicate Paints. Advanced Materials Research Submitted: 2018-01-26 doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.1147.1 Accepted: 2018-02-23

8. Loganina V.I., Kislitsyna S.N., Mazhitov E.B. Development of a compounding of zol-silicate paint. Regional architecture and construction, 2017, no. 3, pp. 51–53.

9. Loganina V.I., Kislitsyna S.N., Mazhitov E.B. Technological properties zol-silicate paint. Bulletin BGTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 2, pp. 17–21.

10. Siskin S.A., Syroyezhkin S.V. Methods of the scanning probe microscopy in micro and nanomechanics. Devices and methods of measurements. 2010, no. 1, pp. 85–94.

11. Mironov V.L. Fundamentals of the scanning probe microscopy. N. Novgorod: Chemistry. 2004, 376 p.

12. Bukharayev A.A., Ovchinnikov A.A. Diagnostics of a surface by means of the scanning power microscopy. Factory laboratory, 2004, no. 5, pp. 10–27.

Information about the authors

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

Mazhitov, Erkebulan B. Postgraduate student. E-mail: mazhitov201090@gmail.com. Russia, 440028, Penza, st. Herman Titov, 28.

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

Received in September 2018

Для цитирования:

Логанина В.И., Мажитов Е.Б., Лашина И.В. Оценка эксплуатационных свойств покрытий на основе золь силикатной краски // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №12. С. 6–11. DOI: 10.12737/article_5c1c994bc1ecd0.55450446

For citation:

Loganina V.I., Mazhitov E.B., Lashina I.V. The evaluation of operational properties of coatings based on sol silicate paint. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 12, pp. 6–11. DOI: 10.12737/article_5c1c994bc1ecd0.55450446

DOI: 10.12737/article_5c1c994ccee958.42995245

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

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

*E-mail: volodchenko.aa@bstu.ru

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА СВОЙСТВА НЕАВТОКЛАВНЫХ СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НЕТРАДИЦИОННОГО СЫРЬЯ

Аннотация. Многие научные школы работают над совершенствованием существующих и проектированием новых строительных композитов различного функционального назначения, разрабатываются технологии их производства, исследуются их свойства и т.д. Однако приоритет отдается первоначальным свойствам строительных композитов, но одним из основных показателей, по которым можно оценивать свойства строительных материалов после длительной эксплуатации в условиях воздействия природных и техногенных процессов, является долговечность. Представляется интересным исследование строительных материалов при изменяющихся условиях эксплуатации, на основе нетрадиционного природного и техногенного сырья. Установлено, что использование алюмосиликатных пород незавершенной стадии глинообразования, отличающихся особым полиминеральным составом и наличием термодинамически неустойчивых соединений, в технологии неавтоклавных силикатных материалов позволяет ускорить синтез новых соединений, оптимизировать их морфологию, улучшить микроструктуру цементирующих соединений. При длительной эксплуатации неавтоклавных стеновых материалов на основе этого сырья, особенно в условиях повышенной влажности, процесс образования новообразований из гидросиликатов кальция продолжается и после тепловлажностной обработки, что приводит к синтезу более совершенной и прочной микроструктуры цементирующих соединений. Кроме этого синтезируемые в материале новообразования из слабоокристаллизованных гидросиликатов кальция являются нестабильной активной фазой, которая с течением времени, особенно в условиях повышенной влажности, способна перекристаллизовываться, что приводит к оптимизации структуры цементирующих соединений и как следствие повышению эксплуатационных показателей изделий.

Ключевые слова: неавтоклавные материалы, силикатный кирпич, техногенное сырье, техногенный метасоматоз, нетрадиционные глинистые породы.

Введение. Одной из важнейших проблем современности является создание принципиально новых технологических решений в сфере энерго- и ресурсосбережения, рационального природопользования, создания экологически чистых производств строительных материалов, обеспечивающих эволюционно-модернизационное развитие существующей технологической базы. Исходя из анализа достижений в строительном материаловедении в ближайшие десятилетия ожидается существенное изменение номенклатуры выпускаемых строительных материалов. Известно, что наукоемкость науки определяется скоростью изменения сырьевой базы, а в стройиндустрии эволюции практически нет, за счет того, что она слишком консервативна. Развитие промышленности по производству строительных материалов привело к истощению запасов качественного минерального сырья, а геологоразведочные работы по расширению сырьевой базы практически не проводятся, и таким образом в следующие 10–20 лет может возникнуть дефицит традиционно применяемого сырья в промышленности строительных материалов.

Поэтому необходимо:

- разработать критериальные параметры, для геологических служб, по поиску определенных сырьевых ресурсов, которые не применяются в настоящее время для производства строительных материалов, но имеющих определенный вещественный состав, что определит возможность получения определенных строительных композитов на их основе;

- разработка совершенно новых подходов, принципиально решающих эту проблему за счет разработки энерго- и ресурсосберегающих технологий и материалов, способных не нарушать экологию окружающей среды и сохранять баланс между «биосферой» и «техносферой».

В настоящее время в развивающихся регионах Российской Федерации, в том числе в регионах Севера и Арктики, необходимо увеличивать объемы научных исследований в области развития сырьевой базы, необходимой для увеличения выпуска и расширения номенклатуры выпускаемых строительных материалов, а также для разработки эффективных композитов будущего на основе последних достижений российской и мировой науки.

Однако, исходя из сложившейся ситуации, по России суммарный объем побочных продуктов и отходов промышленных предприятий и производств, ежегодно составляет миллиарды тонн, в числе которых попутно добываемые глинистые породы незавершенной стадии минералообразования, которые в силу своего определенного вещественного состава, а также за счет геологических и техногенных условий их образования, могут определенным образом подходить для производства конкретных строительных композитов [1-3].

Задачи по применению различных глинистых пород в технологии выпуска силикатных материалов, в частности кирпича, решались в середине XX века многими российскими учеными и специалистами (Ю.М. Бутт, Л.М. Хавкин, П.П. Будников и др.)

Однако, проведенные ими исследования не получили дальнейшего развития в связи с тем, что недетальное изучение вещественного состава глинистых пород, особенно различного генезиса, связанное с ограниченностью возможностей исследовательского оборудования, не позволило обнаружить именно те, глинистые породы, которые в силу своего вещественного состава пригодны для производства силикатных материалов.

Во многих странах мира ученые в области строительного материаловедения разрабатывают новые виды строительных материалов, совершенствуют существующие, расширяют их номенклатуру и изучают их свойства. Однако приоритет отдается начальным свойствам строительных композитов. Представляется интересным исследование строительных материалов как изменяющейся, самоадаптивной системы, модифицирующей определенным образом свои свойства в процессе эксплуатации [4].

Цель работы – исследование влияния условий эксплуатации на процессы структурообразования неавтоклавных силикатных материалов на основе природного алюмосиликатного сырья.

Материалы и методы исследования. В качестве сырья, для получения неавтоклавных силикатных материалов и исследования их свойств, было использовано наиболее представительное природное алюмосиликатное сырье региона Курской магнитной аномалии, по своему составу относящиеся к эолово-элювиально-делювиальным глинистым породам четвертичного возраста.

Основная их часть не удовлетворяет показателям нормативных документов к сырью для производства строительных материалов, однако полиминеральный состав изучаемых глинистых пород [5], и их термодинамическая неустойчивость [6, 7] определяют возможность взаимодействия с вяжущим компонентом с

синтезом цементирующей матрицы в условиях гидротермальной обработки без давления и, как следствие, получения стеновых неавтоклавных силикатных материалов с малыми энергозатратами.

С целью определения вещественного состава используемых глинистых пород, а также формирующегося состава новообразований в данной работе применяли рентгенофазовый анализ (дифрактометр модели – ARL X'TRA) и дифференциально-термический анализ (Derivatograph Q – 1500 D). Для определения морфологических и структурных особенностей применяемых сырьевых материалов, а также для установления характера формируемых новообразований, в полученном композите, использовали метод растрово-электронной микроскопии, исследования осуществляли с применением сканирующего электронного микроскопа с высоким разрешением (модель – Tescan MIRA 3 LMU).

В качестве вяжущих компонентов применяли негашеную комовую известь АО «Белгородстройматериалы» ГОСТ 9179–77.

При изготовлении образцов использовали смесь, включающую в себя предварительно приготовленное композиционное вяжущее путем помола глинистой породы и извести (в соотношении 1:1), и эолово-элювиально-делювиальную глинистую породу. После формовки при давлении прессования 20 МПа, образцы помещались в пропарочную камеру и подвергали тепловлажностной обработке при температуре 90–95 °С по режиму: 1,5 ч.+9ч. +1,5ч.

Результаты исследования и их обсуждение. Важнейшие свойства получаемых стеновых силикатных изделий в первую очередь зависят от того какой состав, и морфологические особенности новообразований, формируется при тепловлажностной обработке в условиях атмосферного давления [8–10]. Характер и свойства синтезируемых новообразований будут зависят от вещественного состава используемого сырья, и условий получения строительного композита [11].

Следовательно синтез новообразований оптимальной структуры на нано-, микро и макроуровне является актуальной задачей [12, 13].

Данное сырье в результате специфики генезиса состоит из смешанослойных глинистых минералов, представляет собой очень многокомпонентную и сложную систему с разнообразным набором свойств, характеризующейся высоким содержанием пелитовой фракции, что предопределяет синтез

новообразований за счет активного взаимодействия с известью.

Таким образом информация о свойствах исходного сырья, в том числе со смешанослойными минералами, позволяет управлять процессами структурообразования при получении композитов с заданными свойствами [14].

Для исследований использовали эолово-элювиальные-делювиальные смешанослойные образования, отобранные в регионе Курской магнитной аномалии. Определение фракционного состава глинистой породы производили методом ситвого анализа.

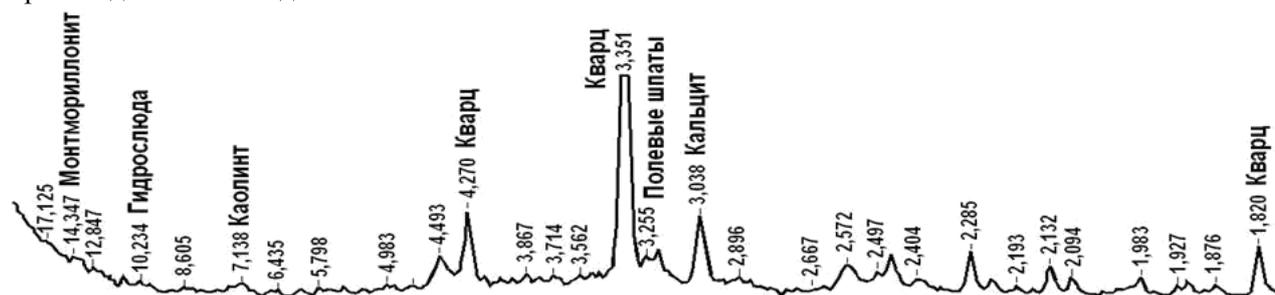


Рис. 1. Рентгенограмма эолово-элювиальной-делювиальной смешанослойной глинистой породы региона Курской магнитной аномалии

Задачей проведенных исследований являлось исследование влияния условий эксплуатации на структурообразование и физико-механические показатели полученных неавтоклавных силикатных материалов на основе природного нетрадиционного алюмосиликатного сырья.

Образцы для исследований получали способом полусухого прессования, при давлении 20 МПа. В качестве сырья использовали глинистую породу и молотую известь.

Ранее проведенными исследованиями установлено, что оптимальное содержание негашеной извести для глинистых пород различного вещественного состава, составляет 10–12 мас. %, что очень важно для условий реального производства, так как колебания вещественного состава неизбежны, и это позволяет получать материалы со стабильными свойствами [15, 16].

Количество негашеной извести в сырьевой смеси в данном эксперименте составило 10 и 12 мас. %. Полученные образцы изделий подвергали термовлажностной обработке при температуре 90–95 °С. Время изотермической выдержки составило 9 ч.

После выдержки образцов в течение 3-х суток, при температуре (20±5) °С, произвели испы-

Установлено, что в используемой глинистой породе преобладают частицы, относящиеся к алевроитовой фракции (42,95 %), а также пелитовой фракции (22,63 %). Исходя из данных гранулометрического анализа и установленному числу пластичности используемую в исследованиях глинистую породу можно отнести к супеси.

Количественный минеральный анализ показывает, что порода состоит из смешанослойных образований, гидрослюд и небольшого количества каолинита и монтмориллонита (рис. 1).

тание по определению показателя предела прочности при сжатии. Также была определена средняя плотность, водопоглощение и коэффициент размягчения образцов. Результаты испытаний, полученных образцов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Эксплуатационные показатели полученных образцов

Показатель	Количество вяжущего (СаО) в исходной смеси, мас. %	
	10	12
Предел прочности при сжатии, $R_{сж}$, МПа	20,6	16,8
Значение коэффициента размягчения	0,810	1,10
Средняя плотность материала, кг/м ³	1845	1812
Водопоглощение образцов, %	13,49	13,95

С целью изучения влияния влажных условий эксплуатации на процессы структурообразования и как следствие прочностные характеристики часть образцов каждого состава выдержали полгода в водопроводной воде. С целью выявления динамики изменения свойств, испытания образцов проводили каждый месяц (рис. 2).

Результаты испытаний образцов, выдержанных в течение 6 месяцев в воде, показывают существенное увеличение прочностных показателей по отношению к образцам, которые не выдерживались во влажностных условиях (см. рис. 2). Количество вяжущего компонента (извести), которое обеспечивает достижение максимальных прочностных характеристик образцов выдержанных полгода в воде, составляет 12 мас. %.

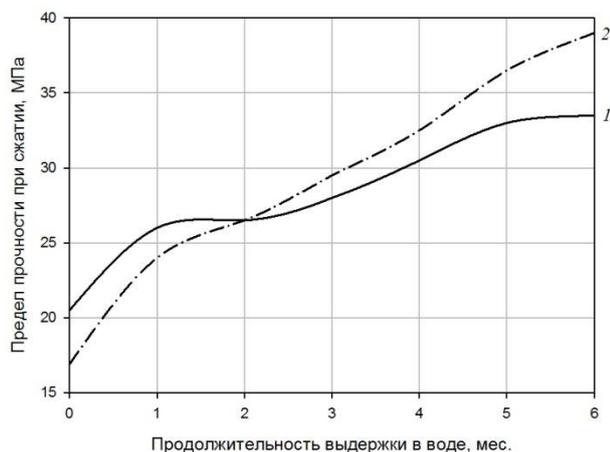


Рис. 2. Динамика изменения предела прочности при сжатии образцов во времени:
1 – содержание 10 мас.%, CaO;
2 – содержание 12 мас.%, CaO

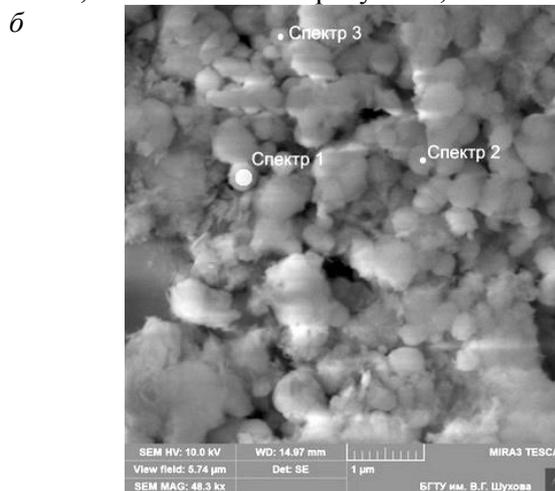
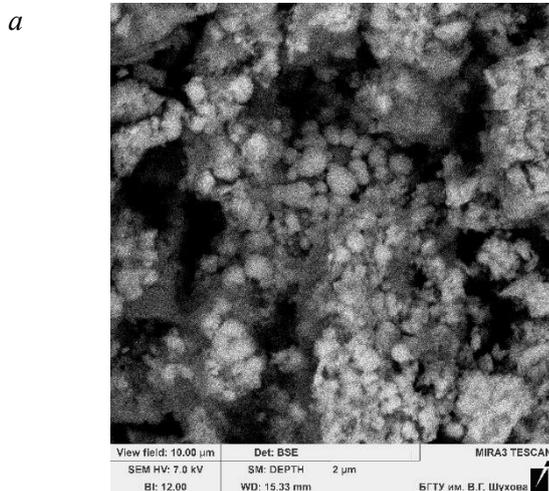


Рис. 3. Сферические новообразования в микроструктуре образца на основе глинистой породы (CaO – 10 мас. %):
а – скопление глобул в образце; б – выделенные участки для исследования в образце

Исходя из данных, полученных эмиссионных спектров произведен расчет элементного состава сформированных сферических новообразований. Процентное содержание составляющих элементов в сферическом новообразовании – глобуле приведено в таблице 2. Главными элементами, формирующими состав глобул, являются, мас. %:

Вероятно, это обусловлено тем, что пелитовая составляющая глинистой породы обеспечивает синтез новообразований, которые обладают гидравлическими свойствами. Гидравлические свойства синтезируемых новообразований можно объяснить за счет формирования гидросиликатов кальция высокой основности, процесс гидратации которых продолжается со временем, а также происходит процесс перекристаллизации гелеподобных низкоосновных гидросиликатов кальция. Указанные процессы также приводят к уплотнению структуры образца на нано-, микроуровне.

При исследовании микроструктуры исходного образца, содержащего 10 мас. % извести, обнаруживаются участки скопления сферических новообразований – глобул, диаметр которых составляет около 500 нм. Данные сферические новообразования скрепляются между собой сформировавшейся, за счет взаимодействия глинистой составляющей и извести, сеткой из новообразований, представленных слабокристаллизованными низкоосновными гидросиликатами кальция, которые также скрепляют между собой зерна заполнителя (рис. 3, а).

Для определения химического состава сферических новообразований – глобул, в исходном образце, был использован метод энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии. В качестве объекта изучения были выбраны новообразования, обозначенные на рисунке 3, б.

O – 33,57–44,42; Ca – 28,2–40; Si – 12,44–24,63; Al – 7,37–10,92. В небольших количествах присутствуют Mg (включен в состав обменного комплекса катионов) и Fe (находится в глинистой породе в виде Fe_2O_3).

Можно сделать вывод, что сферические новообразования – глобулы формируются в основном

в процессе реакции между вяжущим веществом (известью) и глинистыми минералами в породе. Данные соединения по всей видимости представляют из себя слабокристаллизованные, гелевидные (аморфные) гидросиликаты и алюминаты кальция. В данных сферических новообразованиях, присутствующих в образце в аморфном

виде, силы сцепления компонентов глобулы значительно превосходят силы сцепления с близлежащими составляющими смеси, за счет чего данные новообразования обладают высоким поверхностным натяжением и как следствие принимают форму глобул

Таблица 2

Химический состав сферических новообразований, определенный метод энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии

№ спектра	Элемент/оксид, мас. %					
	Ca / CaO	Si / SiO ₂	Al / Al ₂ O ₃	Mg / MgO	Fe / Fe ₂ O ₃	O ₂
1	40 / 51,2	14,5 / 28,41	10,9 / 18,84	1,0 / 0,93	–	33,55
2	30,78 / 48,1	10,45 / 29,35	7,35 / 15,33	0,3 / 0,6	3,65 / 5,74	47,4
3	27,20 / 36,92	23,63 / 49,36	7,76 / 13,71	–	–	41,4

Соотношение CaO/SiO₂ для сферических новообразований, имеющих обозначение – «Спектр 1» и «Спектр 2», составляет соответственно 1,8 и 1,64. Для участка «Спектр 3» данный показатель значительно ниже и равен 0,75, т.е. в сферическом новообразовании процент содержания кремнезема выше. Стоит отметить, что в данном участке отмечается значительно высокое содержание SiO₂, по отношению к участку «Спектр 1». Вероятней всего, что наряду с глинистыми минералами в условиях термовлажностной обработки с известью вступает в реакцию и мелкодисперсный кремнезем, что способствует

повышению процентного содержания SiO₂ в сферическом новообразовании – глобуле.

Можно сделать вывод, что формируемые в образцах новообразования сферической формы являются продуктом взаимодействия мелкодисперсных компонентов глинистой породы, в частности ее глинистой составляющей и извести, и представляют из себя промежуточные соединения.

После длительного хранения образцов в воде наблюдается значительное изменение микроструктуры (рис. 4), по сравнению с образцами, не подвергшимся продолжительному хранению в воде (см. рис. 3, а).

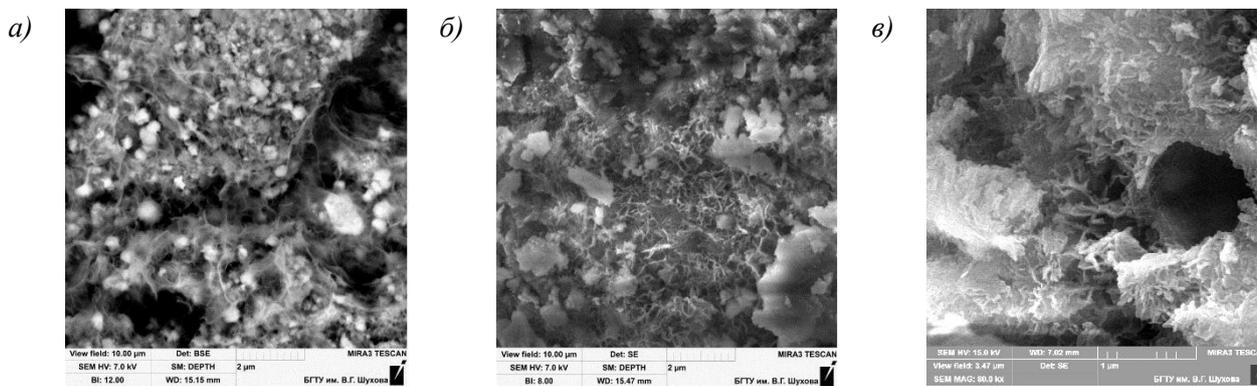


Рис. 4. Влияние длительного хранения в воде на микроструктуру образца на основе глинистой породы (CaO – 12 мас. %):

а – после месяца хранения в воде; б – после 3 месяцев хранения в воде; в – после 6 месяцев хранения в воде

В образцах после месяца хранения в воде (см. рис. 4, а), количество слабокристаллизованных низкоосновных гидросиликатов кальция увеличивается, в узлах поверхности сетки новообразований располагаются глобулы диаметром до 0,5 мкм, которые, как было описано ранее, представляют собой промежуточные соедине-

ния, сформировавшиеся в процессе взаимодействия тонкодисперсной составляющей породообразующих минералов породы с известью.

В микроструктуре образцов после 6 месяцев хранения в воде (см. рис. 4, в) глобулы в структуре цементирующего соединения практически не наблюдается. В тоже время наблюдается увеличение доли слабокристаллизованных гидро-

силикатов кальция, которые, формируют сплошную сетку из новообразований, в результате чего, устраняются микродефекты структуры на микро-, наноуровне.

Таким образом, вследствие термодинамической неустойчивости первоначально формируемых сферических новообразований – глобул, процесс синтеза и перекристаллизации слабоокристаллизованных гидросиликатов кальция, в

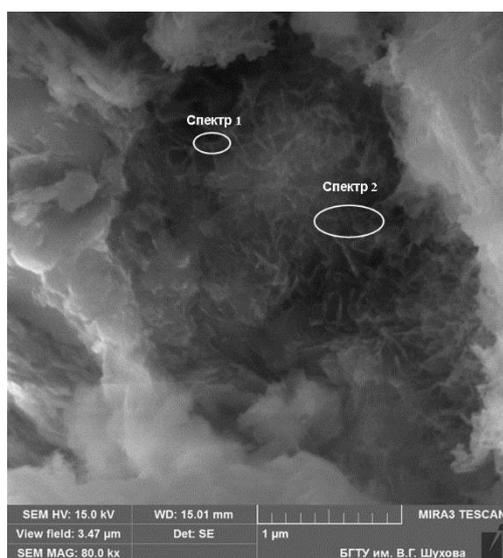


Рис. 5. Микроструктура исследуемого образца на основе глинистой породы (CaO 12 мас. %) с анализируемыми участками, РЭМ

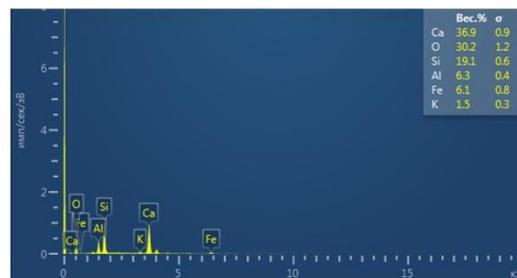
Главными составляющими элементами, участвующие в формировании сетки новообразований, являются, мас. %: O – 30,2–33,1; Ca – 32,4–36,9; Si – 19,1–20,00. В малом процентном содержании присутствуют – Mg, Al и Fe. Перечисленные элементы входят в состав структуры глинистой составляющей и гидросиликатов кальция.

В водной среде, с течением времени, процесс синтеза гидросиликатов кальция продолжается, что способствует к появлению более прочной структуры цементирующих соединений в композите на нано- и микроуровне. Сформированные гелеобразные (аморфные) гидросиликаты кальция принимают более окристаллизованную форму, что способствует упрочнению микроструктуры композита. Стоит отметить, что сформированные в образце слабоокристаллизованные гидросиликаты кальция являются нестабильными соединениями, которые в процессе эксплуатации композита, и особенно в условиях повышенной влажности, могут претерпевать перекристаллизацию, что способствует модификации структуры композита. Возможно, описанные

образце происходит и после завершения термо-влажностной обработки.

Химический состав сетки новообразований (рис. 5) в образце после 6 месяцев хранения в воде был определен при помощи метода энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (рис. 6).

а)



б)

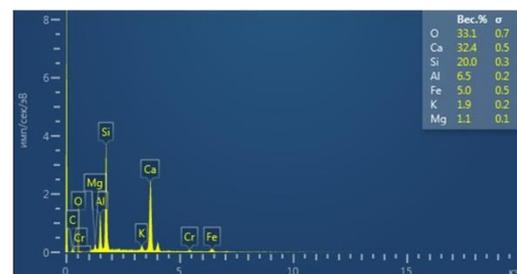


Рис. 6. Эмиссионный спектр характеристического излучения:
а – спектр 1; б – спектр 2

процессы и придают гидравлические свойства полученных неавтоклавных силикатных материалов на основе природного нетрадиционного алюмосиликатного сырья.

Заключение. Таким образом, применение подобных алюмосиликатных глинистых пород незавершенной стадии глинообразования, отличающихся особым полиминеральным составом и наличием термодинамически неустойчивых соединений, в технологии неавтоклавных силикатных материалов позволяет существенно повысить прочность сырца, интенсифицировать процесс формирования новообразований, оптимизировать их микроморфологию, улучшить и уплотнить микроструктуру образующихся цементирующих компонентов. Это дает возможность изготавливать силикатные материалы в условиях тепловлажностной обработки без давления, в отличие от традиционно выпускаемых силикатных изделий. Процесс синтеза микроструктуры композита, который продолжается и после тепловлажностной обработки изделий, обеспечивает

композиту повышение эксплуатационных характеристик, а также придает гидравлические свойства материалу.

Учет особенностей состава нетрадиционных глинистых пород, и их влияния на процессы структурообразования, в технологии неавтоклавных стеновых материалов, позволит получать стеновые материалы с пределом прочности при сжатии 40 МПа, в том числе эффективные высокопустотные стеновые материалы, с плотностью готового изделия 1100–1200 кг/м³.

Источник финансирования. Стипендия Президента РФ СП-3717.2018.1 на 2018-2019 г.г. 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. Фролова М.А., Морозова М.В., Айзенштадт А.М., Тутьгин А.С. Алюмосиликатное вяжущее на основе сапонитсодержащих отходов алмазодобывающей промышленности // Строительные материалы. 2017. №7. С. 68–70.
2. Дроздук Т.А., Айзенштадт А.М., Фролова М.А., Носуля А.А. Оценка активности минерального связующего на основе сапонитсодержащего материала // Строительные материалы. 2016. №9. С. 76–78.
3. Алфимова Н.И., Лесовик В.С., Глаголев Е.С., Вишневская Я.Ю. Оптимизация условий твердения композиционных вяжущих с учетом генезиса кремнеземсодержащего компонента. Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. 91 с.
4. Лесовик В.С., Володченко А.А. К проблеме техногенного метасоматоза в строительном материаловедении // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 4. С. 38–41.
5. Володченко А.Н., Строкова В.В. Разработка научных основ производства силикатных автоклавных материалов с использованием глинистого сырья / Строительные материалы. 2018. № 9. С. 25–31. DOI: https://doi.org/10.31659/0585_430X-2018-763-9-25-31
6. Вешнякова Л.А., Айзенштадт А.М., Фролова М.А. Оценка поверхностной активности высокодисперсного сырья для композиционных строительных материалов // Физика и химия обработки материалов. 2015. № 2. С. 68–72.
7. Строкова В.В., Айзенштадт А.М., Сивальнева М.Н., Кобзев В.А., Нелюбова В.В. Оценка активности наноструктурированных вяжущих термодинамическим методом // Строительные материалы. 2015. № 2. С. 3–9.
8. Bernstein S., Thomas Karl Fehr. The formation of 1.13 nm tobermorite under hydrothermal conditions: 1. The influence of quartz grain size within the system CaO–SiO₂–D₂O // Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials. 2012. 58 (s 2–3):84–91. DOI: 10.106/j.pcrystgrow.2012.02.006
9. Володченко А.Н., Строкова В.В. Повышение эффективности силикатных ячеистых материалов автоклавного твердения // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2017. № 2 (58). С. 60–69.
10. Danielle Klimesch and Abhi Ray. Evaluation of phases in a hydrothermally treated CaO–SiO₂–H₂O system // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2002. 70(3):995-1003. DOI: 10.1023/A:1022289111046.
11. Володченко А.Н., Лесовик В.С. Силикатные материалы автоклавного твердения на основе алюмосиликатного сырья как фактор оптимизации системы «человек – материал – среда обитания» // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2014. № 3. С. 27–33.
12. Гончарова М.А., Ивашкин А.Н., Симбаев В.В. Разработка оптимальных составов силикатных бетонов с использованием местных сырьевых ресурсов // Строительные материалы. 2016. № 9. С. 6–8.
13. Кара К.А. Композиционные вяжущие с использованием техногенного сырья // Сб. материалов Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород Изд-во БГТУ, 2016. С. 129–133
14. Строкова В.В., Сумин А.В., Нелюбова В.В., Шаповалов Н.А. Модифицированное вяжущее с использованием наноструктурированного минерального компонента // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 3. С. 36–39.
15. Володченко А.А., Загороднюк Л.Х., Прасолова Е.О., Чхин Сован. Нетрадиционное глинистое сырье как компонент неорганических дисперсных систем // Вестник МГСУ. 2014. №9. С. 67–75.
16. Lesovik V.S., Volodchenko A.A., Glagolev E.S., Chernysheva N.V., Lashina I.V., Feduk R.S. Theoretical backgrounds of non-tempered materials production based on new raw materials // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 327 (2018) 042064 doi:10.1088/1757-899X/327/4/042064.

Информация об авторах

Володченко Александр Анатольевич, доцент кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: volodchenko.aa@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в августе 2018 г.

© Володченко А.А., 2018

^{1,*}**Volodchenko A.A.**

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

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

*E-mail: volodchenko.aa@bstu.ru

THE INFLUENCE OF EXPLOITATION CONDITIONS ON PROPERTIES OF NON-AUTOCLAVED SILICATE MATERIALS ON THE BASIS OF ALTERNATIVE RAW MATERIALS

Abstract. Many scientific schools are working to improve the existing and design of new building composites for various functional purposes, develop technologies for their production, study their properties, etc. however, priority is given to the initial properties of building composites, but one of the main indicators by which to evaluate the properties of building materials after long-term operation under the influence of natural and man-made processes is durability. It is interesting to study building materials under changing operating conditions, based on non-traditional natural and man-made raw materials. It is established that the use of aluminosilicate rocks of the incomplete stage of clay formation, characterized by a special polymineral composition and the presence of thermodynamically unstable compounds, in the technology of non-autoclaved silicate materials allows to accelerate the synthesis of new compounds, to optimize their morphology, to improve the microstructure of cementing compounds. With long-term operation of non-autoclave wall materials based on this raw material, especially in conditions of high humidity, the process of formation of tumors from calcium hydrosilicates continues after heat and moisture treatment, which leads to the synthesis of a more perfect and durable microstructure of cementing compounds. In addition, the new formations synthesized in the material from weakly crystallized calcium hydrosilicates are an unstable active phase, which over time, especially in conditions of high humidity, is able to recrystallize, which leads to optimization of the structure of cementing compounds and, as a consequence, to an increase in the performance of products

Keywords: non-autoclave materials, silicate brick, industrial raw materials, industrial metasomatism, non-traditional clay rocks.

REFERENCES

1. Frolova M.A., Morozova M.V., Aizenshtadt A.M., Tutygin A.S. An aluminum-silicate binder on the basis of saponite-containing waste of diamond industry. *Stroitel'nye Materialy*, 2017, no 7, pp. 68–70.

2. Drozdoyuk T.A., Aizenshtadt A.M., Frolova M.A., Nosulya A.A. Assessment of mineral binder activity based on saponite-containing material. *Stroitel'nye Materialy*, 2016, no 9, pp. 76–78.

3. Alfimov N.I., Lesovik V.S., Glagolev E.S., Vishnevskaya Ya.Yu. Optimization of hardening conditions of composite binders taking into account the genesis of the silica-containing component. Belgorod: BGTU. 2016. 91 p.

4. Lesovik V.S., Volodchenko A.A. The problem of technogenic metasomatose in materials science. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2015, no. 4, pp. 38–41.

5. Volodchenko A.N., Strokova V.V. Development of scientific bases for production of silicate autoclave materials using clay raw materials. *Stroitel'nye Materialy*, 2018, no 9, pp. 25–31. DOI: https://doi.org/10.31659/0585_430X-2018-763-9-25-31 (In Russian).

6. Veshniakova L.A., Ayzenstadt A.M., Frolova M.A. An evaluation of the surface activity of high-disperse raw materials for composite building materials. *Physics and chemistry of materials treatment*, 2015, no.2, pp. 68–72

7. Strokova V.V., Aizenshtadt A.M., Sival'neva M.N., Kobzev V.A., Nelubova V.V. Activity evaluation of nanostructured binders with using thermodynamic method. *Stroitel'nye Materialy*, 2015, no 2, pp. 3–9.

8. Bernstein S., Thomas Karl Fehr. The formation of 1.13 nm tobermorite under hydrothermal conditions: 1. The influence of quartz grain size within the system CaO–SiO₂–H₂O. *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*. 2012. 58 (s 2–3):84–91. DOI: 10.106/j.pcrysgrow.2012.02.006

9. Volodchenko A.N., Strokova V.V. Improving the efficiency of autoclaved silicate cellular materials. *Bulletin of NEFU named after M. K. Ammosov*, 2017, no. 2 (58), pp. 60–69.

10. Danielle Klimesch and Abhi Ray. Evaluation of phases in a hydrothermally treated CaO–SiO₂–H₂O system. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2002, 70(3):995–1003. DOI: 10.1023/A:1022289111046.

11. Volodchenko A.N., Lesovik V.S. Silicate materials autoclaved hardening based on aluminosilicate materials based as an optimization factor in the «Man – Material – Habitat» system. News of higher educational institutions. Construction, 2014, no. 3, pp. 27–33.

12. Goncharova M.A., Ivashkin A.N., Simbaev V.V. Development of optimal silicate concrete compositions using local raw materials. Construction Materials. 2016, no 9, pp. 6–8.

13. Kara K.A. Composite binders with the use of technogenic raw materials. Collection of materials International scientific and technical conference of young scientists BSTU named after V.G. Shukhov, BGTU publ., 2016, pp. 129–133.

14. Strokova V.V., Sumin A.V., Nelubova V.V., Shapovalov N.A. Modified binder with applic

ation of nanostructured mineral components. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2015, no. 3, pp. 36–39.

15. Volodchenko A.A., Zagorodnyuk L.Kh., Prasolova E.O., Chin Sovann. Nontraditional Clay Raw Materials as a Component of Inorganic Dispersed Phases. Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering, 2014, no. 9, pp. 67–75.

16. Lesovik V.S., Volodchenko A.A., Glagolev E.S., Chernysheva N.V., Lashina I.V., Feduk R.S. Theoretical backgrounds of non-tempered materials production based on new raw materials. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 327 (2018) 042064 doi:10.1088/1757-899X/327/4/042064

Information about the author

Volodchenko, Aleksandr A. PhD, Assistant professor. E-mail: volodchenko.aa@bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in August 2018

Для цитирования:

Володченко А.А. Влияние условий эксплуатации на свойства неавтоклавных силикатных материалов на основе нетрадиционного сырья // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №12. С. 12–20. DOI: 10.12737/article_5c1c994ccee958.42995245

For citation:

Volodchenko A.A. The influence of exploitation conditions on properties of non-autoclaved silicate materials on the basis of alternative raw materials. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 12, pp. 12–20. DOI: 10.12737/article_5c1c994ccee958.42995245

DOI: 10.12737/article_5c1c994d5c4162.30794442

¹Колчунов В.И., ^{2,*}Никулин А.И., ²Обернихин Д.В.¹Юго-Западный государственный университет

Россия, 305040, Курск, Курская обл., 50 лет Октября ул., 94

²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

*E-mail: Nikulin.ai@bstu.ru

ОСОБЕННОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ И АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ШИРИНЫ РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТРАПЕЦИЕВИДНОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

Аннотация. Изучены особенности сопротивления и алгоритм расчета ширины раскрытия трещин железобетонных конструкций трапециевидного поперечного сечения. Рассмотрена расчетная схема с аналитическим распределением деформаций, напряжений и усилий в железобетонных конструкциях трапециевидных поперечных сечений по второй и первой группе предельных состояний, на которую замыкаются двадцать две неизвестные и построены уравнения для их определения, – уравнения равновесия; уравнения деформаций; уравнения, вытекающие из нелинейных диаграмм связи «Напряжения-деформации» с их характерными и предельными точками; геометрические соотношения, связывающие параметры трапециевидных сечений; зависимости связывающие физическую и среднюю нейтральные оси; зависимости, учитывающие работу растянутого бетона и неравномерность деформаций растянутой арматуры, сжатого бетона и сжатой арматуры между трещинами; зависимости, определяющие многоуровневые расстояния между трещинами и ширину их раскрытия. Предложен модернизированный двухконсольный элемент для изгибаемых железобетонных конструкций трапециевидных поперечных сечений, позволяющий после раскрытия статической неопределимости системы «бетонная матрица – арматурный стержень» существенно откорректировать параметры ширины раскрытия трещин, многоуровневое расстояние между трещинами и работу растянутого бетона между трещинами. Экспериментальными и численными исследованиями установлено, что в связи с эффектом нарушения сплошности, профиль трещины имеет сложный характер, при котором ширина раскрытия трещин максимально раскрывается не на оси арматуры, а на некотором удалении (два-три диаметра) от неё. Для железобетонных конструкций трапециевидного поперечного сечения наблюдается тенденция уменьшения раскрытия трещин при некотором удалении (два-три диаметра) от оси арматуры. При этом общее количество трещин увеличивается из-за расширения поперечного сечения по трапеции.

Ключевые слова: алгоритм расчета, ширина раскрытия трещины, железобетонные конструкции, сопротивление изгибу, предельные состояния второй и первой группы, трапециевидные сечения, расчетная схема, двухконсольный элемент, аналитические уравнения.

Введение. Железобетонные элементы с различными формами поперечного сечения (прямоугольного, таврового, двутаврового, трапециевидного и др.) составляют значительную часть сборных и монолитных конструкций, в то время как данные о работе под нагрузкой некоторых из них очень ограничены. Конструкции трапециевидного поперечного сечения (фундаменты, фундаментные балки, балки перекрытий, конструкции мостов и др.) довольно распространены в практике строительства. Они легче по весу, экономичнее по расходу бетона, технологичнее в изготовлении.

Все это приводит к необходимости оценки влияния формы поперечного сечения на несущую способность, трещиностойкость и деформативность изгибаемых железобетонных элементов. И если вопросы, связанные с несущей способностью и деформативностью, на сегодняшний день уже достаточно изучены, то ширина

раскрытия трещин в таких конструкциях практически не исследовалась. Между тем открытие нового эффекта нарушения сплошности в железобетоне [1, 2] позволяет выйти на новый уровень в решении этой задачи.

Нормативный расчетный аппарат зачастую построен на полуэмпирической основе, что затрудняет его использование при расчете железобетонных конструкций, имеющих какие-либо особенности в виде нестандартной формы поперечного сечения, смешанного армирования растянутой зоны «мягкими» и «твердыми» сталями и др. Не так давно в СП 63.13330 [3] была включена деформационная модель, которая построена на базе четких физических предпосылок, единых для всех стадий работы изгибаемых или внецентренно сжатых железобетонных элементов, важнейшей составной частью которой являются диаграммы неоднородного деформирования бетона

при сжатии и растяжении, а также уравнения механического состояния арматуры.

Однако применение такого расчетного аппарата сдерживается недостатком надежных экспериментальных данных о ширине раскрытия трещин железобетонных конструкций трапециевидного поперечного сечения и выявлением особенностей и новых эффектов их сопротивления

Чтобы устранить отмеченный пробел в статье приводятся методика расчета ширины раскрытия трещин железобетонных конструкций

трапециевидного поперечного сечения с учетом новых эффектов их сопротивления и предлагаемый алгоритм расчета.

Основная часть. Для определения НДС железобетонного изгибаемого элемента трапециевидного сечения с верхней широкой гранью с учетом образования трещин в растянутой зоне бетона рассмотрим расчетную схему, представленную на рис. 1.

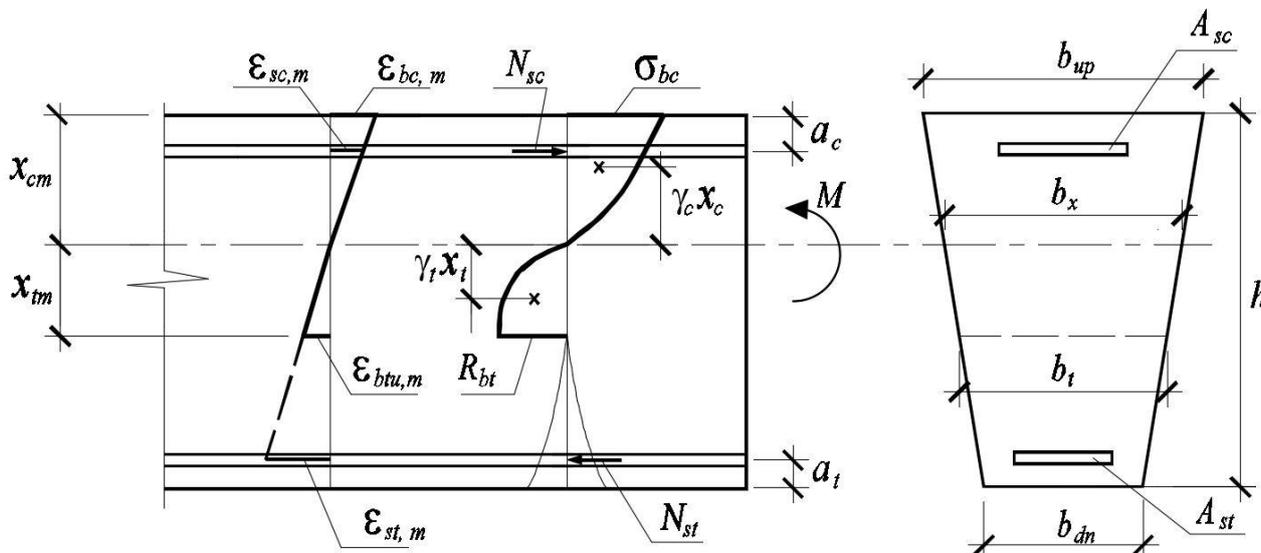


Рис. 1. Схема распределения деформаций, напряжений и усилий в сечении железобетонного элемента трапециевидной формы с учетом образования трещин в растянутой зоне бетона

Аналитическое отображение распределения деформаций, напряжений и усилий в сечении железобетонного элемента рассматриваемой формы приводит к следующим группам уравнений.

Уравнение равновесия внешних и внутренних сил в виде суммы их проекций на продольную ось имеет вид ($\sum X=0$):

$$\sum X = 0,5(b_{up} + b_x)x_c\omega_c\sigma_{bc} + \sigma_{sc}A_{sc} - 0,5(b_t + b_x)x_t\omega_{tu}R_{bt} - \sigma_{st}A_{st} = 0, \quad (1)$$

где σ_{bc} – величина краевого напряжения бетона в сжатой зоне сечения; ω_c, ω_{tu} – относительные площади расчетных эпюр напряжений, соответственно, в сжатой и растянутой зонах бетона; x_c, x_t – высоты сжатой и растянутой зон бетона в сечении с трещиной; σ_{sc}, σ_{st} – напряжения в сжатой и растянутой арматуре; b_{up}, b_{dn} – ширина, соответственно, верхней и нижней грани трапециевидного сечения элемента; h – высота сечения элемента; A_{sc}, A_{st} – площади сжатой и растянутой арматуры; a_c, a_t – расстояния от верхней и нижней

граней сечения до центров тяжести сжатой и растянутой арматуры; b_x – ширина сечения на уровне его нейтральной оси; b_t – ширина сечения на границе распространения трещины в растянутой зоне бетона.

В уравнении (1) содержатся 9 неизвестных переменных величин ($\sigma_{bc}, \omega_c, \omega_{tu}, x_c, x_t, \sigma_{sc}, \sigma_{st}, b_x, b_t$). Из уравнения (1) отыскивается неизвестное x_c .

Уравнение равновесия изгибающих моментов внешних и внутренних усилий относительно нейтральной оси ($\sum M=0$):

$$0,5(b_{up} + b_x)x_c^2\omega_c\gamma_c\sigma_{bc} + \sigma_{sc}A_{sc}(x_c - a_c) + 0,5(b_t + b_x)x_t^2\omega_{tu}\gamma_{tu}R_{bt} + \sigma_{st}A_{st}(h - x_c - a_t) - M = 0 \quad (2)$$

где M – заданная величина изгибающего момента, действующего в расчетном сечении железобетонного элемента; γ_c, γ_{tu} – относительные

расстояния от нейтральной оси до центров тяжести соответствующих эпюр напряжений в сжатой и растянутой зонах бетона.

Из уравнения (2) отыскивается неизвестное σ_{bc} .

В уравнении (2) добавляются 2 неизвестных параметра (γ_c, γ_{tu}), что увеличивает их общее количество до 11.

Исходя из геометрических соотношений, применяемых для трапеций, определение ширины (b_x) трапециевидного сечения элемента на

уровне его нейтральной оси производим с помощью следующего выражения [5]:

$$b_x = b_{up} - (b_{up} - b_{dn}) \cdot \frac{x_c}{h} \quad (3)$$

Ширина сечения на границе распространения трещины в растянутой зоне бетона b_t находится по аналогичной зависимости с заменой b_{up} на b_x и x_c на x_t .

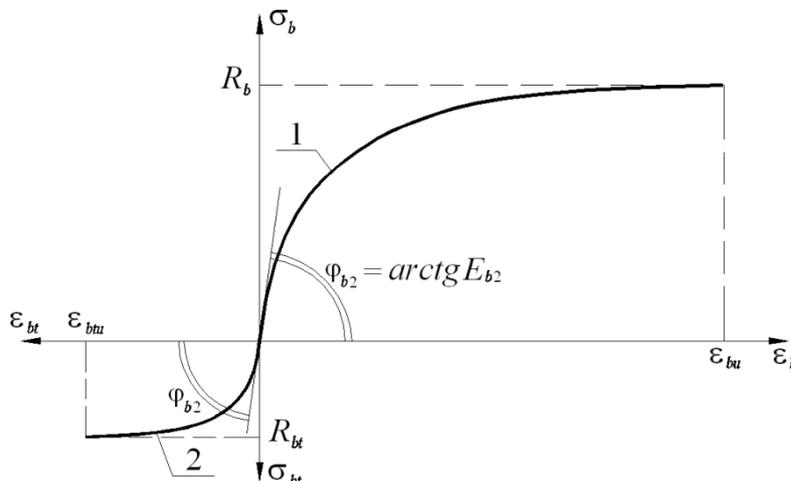


Рис. 2. Диаграммы деформирования бетона при неоднородном сжатии (кривая 1) и растяжении (кривая 2)

Коэффициенты полноты эпюр напряжений в сжатой и растянутой зонах бетона ω_c, ω_{tu} и относительные расстояния от нейтральной оси до центров тяжести соответствующих эпюр γ_c, γ_{tu}

определяются с использованием диаграммы $\sigma-\varepsilon$ (рис. 2) посредством следующих зависимостей, полученных применительно к трапециевидному поперечному сечению изгибаемого железобетонного элемента с верхней широкой гранью [7]:

$$\omega_c = \frac{E_{b2}\varepsilon_{bc}b_x}{0,5(b_{up} + b_x)\sigma_{bc}x_c^2} \left\{ I_{c1} + \frac{I_{c2}}{x_c} \left(D_{b2}\varepsilon_{bc} + \frac{b_{up}}{b_x} - 1 \right) + I_{c3} \frac{D_{b2}\varepsilon_{bc}}{x_c^2} \left(\frac{b_{up}}{b_x} - 1 \right) \right\} \quad (4)$$

$$\gamma_c = \frac{E_{b2}\varepsilon_{bc}b_x}{0,5(b_{up} + b_x)\sigma_{bc}x_c^3\omega_c} \left\{ I_{c2} + \frac{I_{c3}}{x_c} \left(D_{b2}\varepsilon_{bc} + \frac{b_{up}}{b_x} - 1 \right) + I_{c4} \frac{D_{b2}\varepsilon_{bc}}{x_c^2} \left(\frac{b_{up}}{b_x} - 1 \right) \right\} \quad (5)$$

$$\omega_{tu} = \frac{E_{b2}\varepsilon_{btu}b_x}{0,5(b_t + b_x)R_{bt}x_t^2} \left\{ I_{t1} + \frac{I_{t2}}{x_t} \left(D_{bt2}\varepsilon_{btu} + \frac{b_t}{b_x} - 1 \right) - I_{t3} \frac{D_{bt2}\varepsilon_{btu}}{x_t^2} \left(1 - \frac{b_t}{b_x} \right) \right\} \quad (6)$$

$$\gamma_{tu} = \frac{E_{b2}\varepsilon_{btu}b_x}{0,5(b_t + b_x)R_{bt}x_t^3\omega_{tu}} \left\{ I_{t2} + \frac{I_{t3}}{x_t} \left(D_{bt2}\varepsilon_{btu} + \frac{b_t}{b_x} - 1 \right) - I_{t4} \frac{D_{bt2}\varepsilon_{btu}}{x_t^2} \left(1 - \frac{b_t}{b_x} \right) \right\} \quad (7)$$

где ε_{bc} – относительная величина краевой деформации в сжатой зоне сечения изгибаемого железобетонного элемента после образования в нем трещины; $I_{c1}, I_{c2}, I_{c3}, I_{c4}, I_{t1}, I_{t2}, I_{t3}, I_{t4}$ – вспомогательные расчетные параметры, зависящие от переменных ε_{bc}, x_c и ε_{btu}, x_t .

Зависимость (4) содержит дополнительную неизвестную переменную величину ε_{bc} , что увеличивает их общее количество до 12, а число уравнений становится равным 8.

С учетом гипотезы плоских сечений для рассматриваемого железобетонного элемента записываются следующие 4 условия деформаций:

$$\frac{\varepsilon_{btu,m}}{\varepsilon_{bc,m}} = \frac{x_{tm}}{x_{cm}} \quad (8)$$

$$\frac{\varepsilon_{sc,m}}{\varepsilon_{bc,m}} = 1 - \frac{a_c}{x_{cm}} \quad (9)$$

$$\frac{\varepsilon_{st,m}}{\varepsilon_{bc,m}} = \frac{h - a_t}{x_{cm}} - 1 \quad (10)$$

$$\varepsilon_{bc,m} = \varepsilon_{bc} \cdot \psi_b;$$

$$\varepsilon_{btu,m} = \varepsilon_{btu} \cdot \psi_{bt};$$

$$\varepsilon_{st,m} = \varepsilon_{st} \cdot \psi_s; \varepsilon_{sc} = \frac{\varepsilon_{sc,m}}{\psi_{sc}} \quad (11)$$

Неравномерность деформаций в сжатой арматуре учитываем из приближенного равенства

$\psi_{sc} = \psi_b$, вытекающего из условия совместности деформаций сжатого бетона и сжатой арматуры;

Зная деформации ε_{sc} по кусочной диаграмме отыскиваем напряжения в сжатой арматуре по формуле (18).

Здесь x_{cm} , x_{tm} – высота сжатой и растянутой зоны в среднем сечении между трещинами. Они определяются из формулы (11.30) [110]:

$$\varphi = \frac{x_c}{x_{cm}} = 1 - \frac{0,7}{100\mu + 1} \quad (12)$$

$$x_{cm} = \frac{x_c}{\varphi} \quad (13)$$

$$x_{tm} = \frac{x_t}{\varphi} \quad (14)$$

ε_{sc} , ε_{st} – относительные деформации сжатой и растянутой арматуры в сечении с трещиной, которые являются 2-мя дополнительными неизвестными параметрами, что увеличивает их общее количество до 14, а число уравнений становится равным 11; ψ_s в первом приближении определяется из зависимости:

$$\psi_s = 1 - \frac{\varepsilon_{s,crc}}{\varepsilon_s} \beta; \quad (15)$$

где $\varepsilon_{s,crc}$ – относительная деформация растянутой арматуры в железобетонном элементе рассматриваемого сечения сразу после образования трещины; β – коэффициент, обеспечивающий неразрывность графика “момент-кривизна” в точке, соответствующей моменту трещинообразования сечения элемента (по рекомендациям [3] $\beta = 0,9$)

Для уточнения параметра ψ_s в последующих расчетах рекомендуется использовать зависимость (72).

И тогда зная ε_{btu} находим x_t .

Величину краевой деформации бетона ε_{bc} определяем из зависимости σ - ε (рис. 2):

$$\sigma_{bc} = \frac{E_{b2} \varepsilon_{bc} (1 + D_{b2} \varepsilon_{bc})}{1 + C_{b2} \varepsilon_{bc}}, \quad (16)$$

где E_{b2} , D_{b2} , C_{b2} – начальный модуль упругости и параметры нелинейности деформирования бетона при неоднородном сжатии и растяжении. Значения D_{b2} , C_{b2} нелинейно изменяются для ветвей, описывающих сжатия или растяжения бетона, – [9]. При этом входящие в них параметры ε_{bR} и ε_{btR} определяются из следующих зависимостей [12]:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{bR} &= 0,022 \sqrt[3]{R_b/E_{bn}}, \\ \varepsilon_{btR} &= 1/15 \sqrt[3]{(R_b/E_{bn})^2} \end{aligned} \quad (17)$$

Количество неизвестных параметров не изменилось (14), а число уравнений увеличилось до 12.

Неизвестные напряжения в сжатой и растянутой арматуре σ_{sc} , σ_{st} находятся с помощью универсальной кусочной функции [10]. Обозначим искомые два выражения следующими функциональными зависимостями:

$$\sigma_{sc} = f_1(\varepsilon_{sc}) \quad (18)$$

$$\sigma_{st} = f_2(\varepsilon_{st}) \quad (19)$$

Таким образом, получена замкнутая система 14 разрешающих уравнений, в результате решения которой находятся 14 неизвестных параметров (σ_{bc} , ω_c , ω_{tu} , γ_c , γ_{tu} , x_c , x_t , σ_{sc} , σ_{st} , b_x , b_t , ε_{bc} , ε_{sc} , ε_{st}), характеризующих НДС изгибаемого железобетонного элемента трапециевидного сечения с трещиной.

Для решения полученной системы уравнений используется следующий алгоритм.

1. ($i=0$). Задаемся начальным значением относительной деформации бетона в сжатой зоне $\varepsilon_{bc,i}$ для рассматриваемого сечения с трещиной для реализации **основной итерационной процедуры**:

$$\varepsilon_{bc,i} = \varepsilon_{bu}. \quad (20)$$

2. Из зависимости (16) находим величину соответствующего краевого напряжения в сжатой зоне бетона $\sigma_{bc,i}$.

3. Для реализации **вспомогательной итерационной процедуры** ($j=0$) задаемся начальным значением высоты сжатой зоны бетона для частного случая, связанного с отсутствием трещины в рассматриваемом сечении:

$$x_{c,j} = \frac{h}{1 + \frac{\varepsilon_{btu}}{\varepsilon_{bc,i}}} \quad (21)$$

4. Теперь зная предельную деформацию растяжения бетона ε_{btu} , по выражению (8) можно найти высоту растянутой зоны бетона в сечении с трещиной:

$$x_{t,j} = \frac{\varepsilon_{btu} \cdot x_{c,j}}{\varepsilon_{bc,i}} \quad (22)$$

5. Ширина трапециевидного сечения элемента на уровне его нейтральной оси ($b_{x,j}$) и на границе распространения трещины в растянутой зоне бетона ($b_{t,j}$) определяем по выражению (3).

6. Определяем коэффициенты полноты эпюр напряжений в сжатой и растянутой зонах бетона на основании зависимостей – (4)–(6).

7. Определяем величины средних относительных деформаций в сжатой и растянутой арматуре с использованием зависимостей (9)–(10).

8. Переходим от средних относительных деформаций к деформациям арматуры в сечении с трещиной (11).

9. Теперь находим величины напряжений $\sigma_{sc,i}$, $\sigma_{st,i}$ в сжатой и растянутой арматуре с использованием диаграмм σ - ε (18), (19).

10. В качестве критерия сходимости **вспомогательной итерационной процедуры** используем уравнение равновесия (1), в которое вместо нуля подставлена невязка Dlt_j с точностью до пятой значащей цифры после запятой:

$$|Dlt_j| \leq 10^{-4} \text{ (Н)}. \quad (23)$$

11. Если условие сходимости п. 10 выполнено, то **вспомогательная итерационная процедура** считается завершенной, и тогда в **основную итерационную процедуру** передаются параметры НДС изгибаемого железобетонного элемента трапециевидного сечения с трещиной: ω_c , ω_m , χ_c , χ_t , σ_{sc} , σ_{st} , b_x , b_t , ε_{sc} , ε_{st} .

12. Относительные расстояния от нейтральной оси до центров тяжести эпюр напряжений в сжатой и растянутой зонах бетона в сечении с трещиной находятся по формулам (5)–(7):

13. В качестве критерия сходимости **основной итерационной процедуры** используем уравнение равновесия (2), преобразованное для определения невязки Dlt_i путем нахождения разности между заданной величиной $\sigma_{bc,i}$ и полученным в расчетном сечении с трещиной σ_{bc} с точностью до пятой значащей цифры после запятой:

$$Dlt_i = \sigma_{bc} - \sigma_{bc,i}. \quad (24)$$

14. Единицей измерения невязки Dlt_i является МПа, поэтому проверку сходимости величины невязки для итерационного процесса достаточно осуществить с точностью до пятой значащей цифры после запятой

$$|Dlt_i| \leq 10^{-4} \text{ (МПа)} \quad (25)$$

15. Если данное условие не удовлетворяется, то **основной итерационный процесс**, включающий **вспомогательную итерационную процедуру**, продолжается путем управляемого изменения параметра $\varepsilon_{bc,i}$ и повторения расчетов. Так продолжаем до удовлетворения основного условия сходимости.

16. Если указанное условие выполнено, то первая часть **основного алгоритма** считается завершенной, и расчет НДС железобетонного изгибаемого элемента трапециевидного сечения с

$$A_{red} = A_c + \alpha_s A_s + \alpha'_s A'_s = \frac{b_{up} + b_{dn}}{2} \cdot h + \alpha_s A_s + \alpha'_s A'_s;$$

статический момент приведенного сечения

$$S_{red} = S_c + \alpha_s A_s a_s + \alpha'_s A'_s (h - a'_s) = \frac{h^2 \cdot (2b_{up} + b_{dn})}{6} \cdot h + \alpha_s A_s a_s + \alpha'_s A'_s (h - a'_s)$$

верхней широкой гранью с учетом образования трещины в растянутой зоне бетона заканчивается. При этом основные параметры НДС (σ_{bc} , ε_{bc} , ω_c , ω_m , χ_c , χ_t , σ_{sc} , σ_{st} , ε_{sc} , ε_{st}) считаются установленными с погрешностью, не превышающей заданной точности.

17. Теперь, зная деформации бетона ε_{bc} и арматуры ε_{st} определяем кривизну железобетонной конструкции трапециевидного поперечного сечения по формуле:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\psi_b \varepsilon_b + \psi_s \varepsilon_s}{h_0}. \quad (26)$$

здесь ψ_b – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения деформаций сжатого бетона между трещинами и принимаемый равным 1; ψ_s – определяется по формуле (72).

Вторая часть алгоритма непосредственно связана с определением параметров ширины раскрытия трещин.

При решении задачи прочности в алгоритм вносятся следующие изменения. Первое, напряжения в бетоне известны и равны R_b , а изгибающий момент становится неизвестным, поэтому из зависимости (2) определяется не σ_b , а M_u . Второе, в качестве критерия сходимости **основной итерационной процедуры** используем уравнение равновесия (2), преобразованное для определения невязки Dlt_i путем нахождения разности между заданной величиной $M_{u,i}$ и полученным в расчетном сечении с трещиной M_u с точностью до третьей значащей цифры после запятой. В третьих, значение параметра $\psi_s=1$; при этом высоту сжатого и растянутого бетона в сечении с трещиной и в сечении без трещины так же будем различать с помощью введения коэффициента φ по формулам (12)–(14).

18. Задаемся недостающими данными, необходимыми для второй части алгоритма.

а) Геометрические характеристики поперечного сечения:

$$h, h_0 = h - a, b, l, t_c = t_l = 2 \cdot \emptyset, t_* = 1,5 \cdot \emptyset,$$

$$h_{cr} = h_0 - \frac{\emptyset}{2} - x_{cr}, x_{cr} = h_0 - x_c - x_t, I_{con} = \frac{bt_*^3}{12};$$

Параметры x_c и x_t характеризующие сечение с трещиной вычисляются после завершения итерационного процесса первой части алгоритма.

Приведенная площадь сечения

$$A_{red} = A_c + \alpha_s A_s + \alpha'_s A'_s = \frac{b_{up} + b_{dn}}{2} \cdot h + \alpha_s A_s + \alpha'_s A'_s;$$

статический момент приведенного сечения

$$S_{red} = S_c + \alpha_s A_s a_s + \alpha'_s A'_s (h - a'_s) = \frac{h^2 \cdot (2b_{up} + b_{dn})}{6} \cdot h + \alpha_s A_s a_s + \alpha'_s A'_s (h - a'_s)$$

где S_c – статический момент трапеции относительно нижней грани; центр тяжести трапеции относительно нижней грани, $-y_0 = \frac{h}{3} \cdot \frac{2b_{up} + b_{dn}}{b_{up} + b_{dn}}$;

приведенный момент сопротивления $W_{red} = \frac{I_{red}}{y_{red}}$, где $y_{red} = \frac{S_{red}}{A_{red}}$ – ордината центра

тяжести приведенного сечения относительно нижней грани; момент инерции приведенного сечения $I_{red} \approx I_c + \alpha_s A_s y_s^2 + \alpha'_s A'_s y'_s{}^2$; момент инерции приведенного сечения относительно

центра тяжести $I_c = \frac{h^3 (b_{up}^2 + 4b_{up}b_{dn} + b_{dn}^2)}{36(b_{up} + b_{dn})}$; рас-

стояние от центра тяжести растянутой арматуры

до центра тяжести приведенного сечения $y_s = y_{red} - a_s$; расстояние от центра тяжести сжатой арматуры до центра тяжести приведенного сечения $y'_s = h - y_{red} - a'_s$.

б) После завершения итерационного процесса первой части алгоритма в том числе вычисляются и параметры x_c и x_r характеризующие сечение с трещиной.

19. Определяем перемещения с использованием расчетной схемы ДКЭ [4, 13], модернизированной применительно к железобетонным конструкциям трапециевидного поперечного сечения (рис. 3, б):

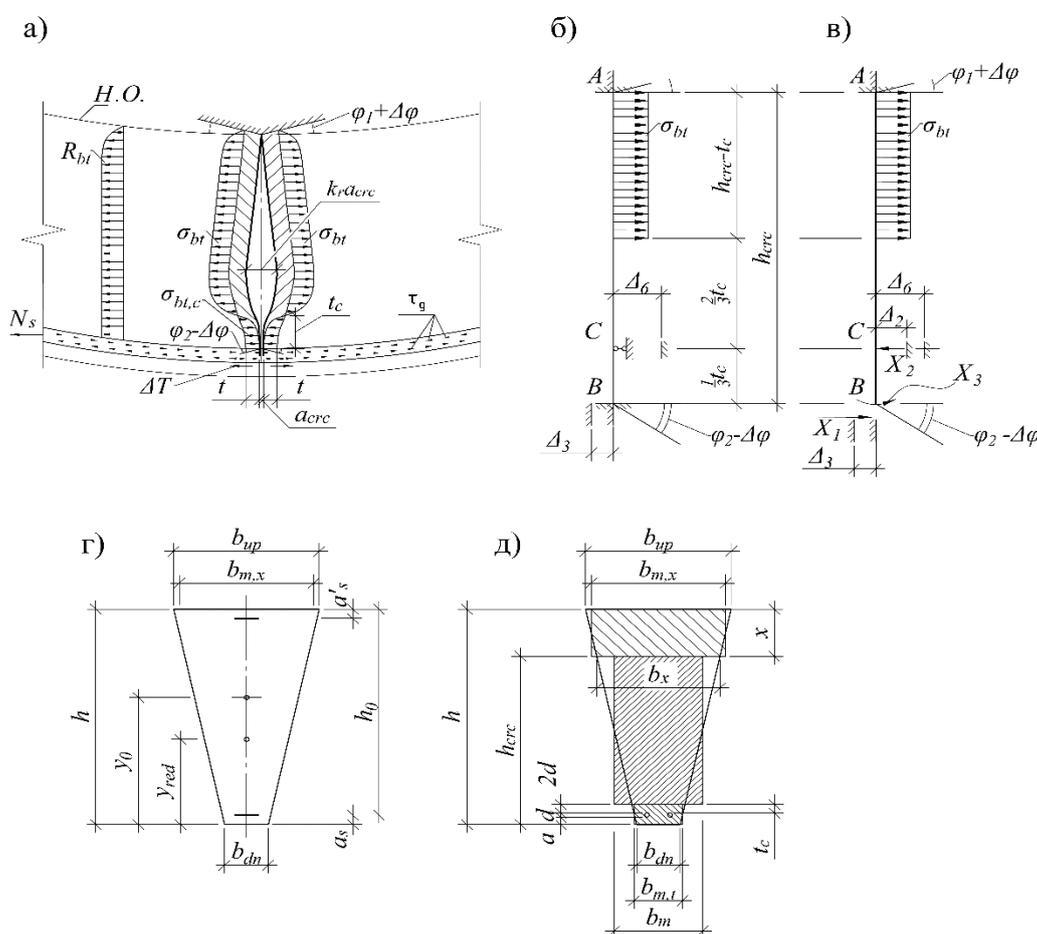


Рис. 3. К реализации зависимости механики разрушения для железобетонных конструкций трапециевидного поперечного сечения

- а) вырезание двухконсольного элемента при изгибе; б) расчетная схема для раскрытия статической неопределенности двухконсольного элемента при изгибе, в зоне прилегающей к трещине;
- в) то же, эквивалентная расчетная схема; г), д) – геометрические характеристики поперечного сечения и их усреднения в пределах вырезанных консолей, соответственно

Рассчитываются перемещения из расчетной схемы ДКЭ (рис. 3, б, в):

$$\Delta_3 = \frac{a_{crc}}{2} k_r \quad (k_r \text{ в первом приближении принимаем равным } 0,3, \text{ для уточнения параметра } k_r \text{ в}$$

последующих расчетах рекомендуется использовать зависимости (55), (56)); значение a_{crc} на первом шаге итераций принимаем по экспериментальным данным, а на последующих итерациях по найденным в предыдущих итерациях с ис-

пользованием формулы (73), при этом ΔT на первом шаге итераций принимаем равным $\Delta T = 0,5 \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot t_c \cdot R_b$ (r – радиус арматуры), а на последующих итерациях по найденным в предыдущих итерациях с использованием формулы (41) ($\Delta\varphi$, являющийся одним из параметров этой формулы отыскивается из зависимости $\Delta\varphi = \frac{l_{crc}}{\rho}$,

где $\frac{1}{\rho}$ определяется по формуле (26));

$\Delta_6 = \frac{\Delta_3}{k_r} \cdot 1 - \frac{\Delta_3}{k_r} \cdot 0,33$, (значение r для Δ_6 принимается равным двум диаметрам продольной рабочей арматуры).

20. Из раскрытия статической неопределимости системы «арматура-бетон» находим внутренние усилия X_1, X_2, X_3 . Здесь $X_1 = \Delta T$, – сдвигающая сила, которая находится в непосредственной близости от трещины, на расстоянии t (рис. 3 а); X_2 – равнодействующая сила в местной зоне сжатого бетона (расположенной в растянутой зоне поперечного сечения железобетонной конструкции), которая находится на расстоянии t_c от боковой поверхности рабочей продольной арматуры;

в первом приближении принимается из соотношения X_2/X_1 в соответствии с графиком рисунок 4.32 из [4]; моментная составляющая в арматуре X_3 , (в связи с незначительной её величиной, в целях упрощения, моментной составляющей X_3 на первой итерации пренебрегаем). Угловые параметры находим из следующих зависимостей [1, 2]:

$$\varphi_1 = \frac{0,5f}{h_1}; \quad \varphi_2 = \frac{0,5f}{t_1} \quad (27)$$

где $h_1 = h_{crc} - t_1$; $t_1 = t_c$, – принимается равным двум диаметрам продольной рабочей арматуры),

При этом необходимо выполнять следующие неравенства $\varphi < \varphi_1, \varphi < \varphi_2$, если неравенства не выполняются, то $\varphi_1 = \Delta\varphi, \varphi_2 = \Delta\varphi$.

На последующих итерациях вычисляем значения X_2 , по формулам:

$$X_2 = \frac{B_2}{B_1} \quad (28)$$

Если $X_2 < 0$, изменяем направление усилия:

$$X_2 = -\frac{B_2}{B_1} \quad (29)$$

Проверяем выполнение неравенства:

$$X_2 \leq 0,5R_b \cdot b_{m,t} \cdot t_c \quad (30)$$

$$B_0 = -\frac{3}{8} \chi R_{bt} \cdot b_m \cdot (h_{crc} - t_c) + \frac{\chi_c P_{bt,c} h_{crc}}{(h_{crc} - t_c)} + \frac{3}{(h_{crc} - t_c)^3} (\Delta_6 + (h_{crc} - t_c)(\varphi_1 + \Delta\varphi)) E_c(\lambda) I_{con} \quad (31)$$

Здесь χ_c на первом шаге итерационного процесса $\chi_c = \frac{2\pi r}{b_m}$,

$$P_{bt,c} = 0,5R_b \cdot b_{m,t} \cdot t_c \quad (32)$$

$$A_1 = 3 \cdot (h_{crc} - t_c)^2 \cdot \left[2h_{crc} + \left(\frac{1}{3}h_{crc} + \frac{1}{6}t_c \right) \frac{2}{h_{crc}^2} \right] \quad (33)$$

$$B_1 = 1 - \left(\frac{1}{3}h_{crc} + \frac{1}{6}t_c \right) \cdot (h_{crc} - t_c) \frac{3}{h_{crc}^2} + A_1 \frac{6}{h_{crc}} \left(\frac{1}{3}h_{crc} + \frac{1}{6}t_c \right) \frac{1}{(h_{crc} - t_c)} + A_1 \frac{3}{2} \frac{1}{(h_{crc} - t_c)} \quad (34)$$

$$C = \frac{\chi R_{bt} b_m}{6} (h_{crc} - t_c)^3 \frac{1}{h_{crc}^2} - \chi_c P_{bt,c} \cdot \left(h_{crc} - \frac{1}{3}t_c \right)^2 \frac{1}{h_{crc}^2} + (\varphi_2 + \varphi_1) E_c(\lambda) I_{con} \frac{2}{h_{crc}^2}, \quad (35)$$

$$A = \frac{\chi R_{bt} b_m}{12} (h_{crc} - t_c)^3 (3h_{crc} + t_c) \frac{1}{h_{crc}^2} - \left(h_{crc} - \frac{1}{3}t_c \right)^2 \cdot \left(\frac{1}{3} \chi_c P_{bt,c} \right) \cdot \left(h_{crc} + \frac{1}{6}t_c \right) \frac{2}{h_{crc}^2} + (\Delta_3 + h_{crc}(\varphi_1 + \Delta\varphi)) \cdot E_c(\lambda) I_{con} \frac{2}{h_{crc}^2} \quad (36)$$

$$A_2 = 3 \cdot A - 2 \cdot C \cdot h_{crc} \quad (37)$$

$$B_2 = -A_2 \frac{3}{2} \frac{1}{(h_{crc} - t_c)} - B_0 - A_2 \frac{6}{h_{crc}} \cdot \left(\frac{1}{3}h_{crc} + \frac{1}{6}t_c \right) \frac{1}{(h_{crc} - t_c)} - C \cdot \left(\frac{1}{3}h_{crc} + \frac{1}{6}t_c \right) \frac{3}{(h_{crc} - t_c)} \quad (38)$$

Уточняем значения момента X_3 по формуле:

$$X_3 = X_2 \cdot A_1 + A_2 \quad (39)$$

Проверяем выполнение неравенства по X_3 :

$$\text{Если } X_3 > M_s = \frac{2 \cdot R_s \cdot A_s \cdot \varnothing \cdot 0,9}{4} \quad (40)$$

тогда $X_3 = M_s$ и вычисляем усилие X_1 по формуле:

$$X_1 = \Delta T = X_2(h_{crc} - t_c)^2 \frac{1}{h_{crc}^2} - X_3 \frac{2}{h_{crc}} - C \quad (41)$$

Если же $X_3 \leq M_s$, то X_1 рассчитываем по формуле:

$$X_1 = X_2(h_{crc} - t_c)^2 \frac{1}{h_{crc}^2} - \frac{2}{h_{crc}}(X_2 \cdot A_1 + A_2) - C \quad (42)$$

Проверяем выполнение неравенства $X_1 \leq 0,5 \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot t_c \cdot R_b$, для дальнейшего расчета принимаем меньшее из значений X_1 .

Рассчитываем коэффициент χ_c из выражения $\chi_c \cdot P_{bt,c} = X_1$:

$$\chi_c = \frac{X_1}{P_{bt,c}} \quad (43)$$

Пересчитываем соответствующие параметры ($B_0, A, B_1, C, A_1, A_2, B_2$) для нахождения усилий X_1, X_2, X_3 , причем проверяем выполнения дополнительного неравенства для усилия X_1 :

$$X_1 > 2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot t_c \cdot R_{bt} \quad (44)$$

В случае его выполнения, принимаем $X_1 = 2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot t_c \cdot R_{bt}$, рассчитываем коэффициент χ_c по (43) и т.д., пока заданный и найденный коэффициенты совпадут с заданной точностью.

Для дальнейшего расчета принимаем значения усилий X_1, X_2, X_3 на последнем шаге итерационного процесса.

В случае если $X_3 > M_s = \frac{2 \cdot R_s \cdot A_s \cdot \varnothing \cdot 0,9}{4}$, то

гда $X_3 = M_s \cdot k'$ (где k' - коэффициент принимаемый равным 0,1 при экспериментальной (действительной) ширине раскрытия трещины $a_{crc,exp} \geq 0,1$ мм или 0,05 при $a_{crc,exp} < 0,1$ мм).

21. Рассчитываем значение параметра K в сечении с трещиной по формуле:

$$\frac{1}{K} = 1 + \delta_1 \frac{\mu_1 \cdot \alpha \cdot (h_0 + x_c \cdot (\gamma_c - 1))}{0,32d(\gamma - \xi)(\gamma + 0,03\xi)} \quad (45)$$

где

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b} \quad (46)$$

$$\mu_1 = \frac{A_s}{b_{m,x} \cdot x + b_m \cdot (h_0 - d - t_c) + b_{m,t} \cdot (t_c + d)} \quad (47)$$

$$\gamma = \frac{h}{h_0} \quad (48)$$

$$\delta_1 = \frac{1 - \xi}{\gamma - \xi} \quad (49)$$

22. Определяем параметр сцепления B по формуле:

$$B = \frac{S_s G}{K \cdot A_s E_s} \quad (50)$$

где $G = 0,3E_b$.

23. Напряжения в рабочей продольной арматуре в сечении с трещиной определяем, принимая во внимание деформации в арматуре по формуле (11) и кусочную диаграмму с использованием формулы (19).

24. Вычисляем граничную относительную деформацию удлинения бетона: $\varepsilon_{bt,u} = [1,811 - 0,02242 \cdot (R_{bt} - 1,1)] \cdot \varepsilon_{bt,R}$

Где значение $\varepsilon_{bt,R}$ вычисляется по формуле (17).

25. Вычисляем расчетную величину напряжений $\sigma_{bt,c}$ и сравниваем с величиной расчетного сопротивления бетона центральному сжатию.

$$\sigma_{bt,c} = -\frac{X_2}{0,5b_{m,t} \cdot t_c} \leq R_b \quad (51)$$

После этого выполняем проверку зависимости, которая обусловлена соотношением усилий X_1, X_2 :

$$\sigma_{bt,c} \leq -\frac{2\pi r}{b_{m,t}} \cdot R_b \quad (52)$$

Из двух неравенств выбираем наименьшее $\sigma_{bt,c}$ по модулю.

26. Проверяем выполнение расчетного условия, при котором $\Delta T = X_1$ и сравниваем значение усилия ΔT с неравенством:

$$\Delta T \leq 0,5 \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot t_c \cdot R_b \quad (53)$$

В результате для ΔT принимаем меньшее значение.

27. Вычисляем значение параметра B_3 :

$$B_3 = \varepsilon_s + \frac{\Delta T}{E_s A_s} - \frac{\sigma_{bt,c}}{\nu_c E_c} \quad (54)$$

28. Вычисляем коэффициент k_r по формулам работы [6]:

$$\text{— случай 1, } k_r = \frac{y_r}{y_{ds}} \quad (55)$$

$$\text{— случай 2, } k_r = \frac{y_{x0}}{y_{ds}} \quad (56)$$

Здесь прогибы y_r и y_{x0} также определяются в соответствии с работой [6].

29. Вычисляем значение параметра B_4 :

$$B_4 = 1 + \frac{\sigma_{bt,c}}{(K-1)B_3 k_r \nu_c E_c} + \frac{\varepsilon_{bt,u}}{B_3 k_r (K-1)} \quad (57)$$

При это учитываем физически возможную область его изменения (см. пункт 31):

$$0 < B_4 < e^{B-t_c} \quad (58)$$

Действительно, если $B_4 < 0$, то $\ln B_4$ не существует, что физически объясняется напряженно-деформированным состоянием железобетонных конструкций, при котором трещин еще нет

($a_{crc}=0, l_{crc} \rightarrow \infty$, для практических расчетов принимается равной длине участка железобетонной конструкции на котором назначается расстояние между трещинами); если $B_4=e^{B \cdot t_c}$, то расстояние между трещинами равно нулю, что физически объясняется напряженно-деформированным состоянием железобетонных конструкций, при котором трещины расположены так часто, что расстояния между ними практически равны нулю и отсутствует любое сцепление между бетоном и арматурой.

Если выражение (58) не выполняется справа, то снижаем уровень напряжения $\sigma_{bt,c}$ и усилие ΔT , соответственно:

$$\sigma_{bt,c} \leq \frac{2\pi d}{b_{m,t}} \cdot 0,5R_b$$

и

$$\Delta T = 0,5X_1 \leq 0,25 \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot t_c \cdot R_b \quad (59)$$

Затем определяют

$$\sigma_{bt,c} \leq \frac{2\pi d}{b_{m,t}} \cdot 0,25R_b \text{ и } \Delta T \leq 0,125 \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot t_c \cdot R_b \quad (60)$$

и так далее.

С такими же соотношениями уменьшаем значения напряжения $\sigma_{bt,c}$ и усилия ΔT до выполнения условия (58) справа. При этом, если параметр B_4 станет отрицательным (что физически невозможно из соображений потери сцепления по всей длине l_{crc}), то вводится дополнительное условие $l_{crc} \geq bt_*$ и сохраняются значения $\sigma_{bt,c}$ и ΔT предыдущей пары.

30. Проверяем выполнение дополнительного ограничения параметра B_4 , полученного из факторного анализа графика зависимости l_{crc} от отношения B/B_4 , которое имеет вид: $B_4 \leq (B/0,3)$. В итоге для практических расчётов выбираем меньшее значение параметра B_4 , в правой части неравенства (58).

31. Определяем зависимое значение l_{crc} по формуле:

$$l_{crc} > l_{crc,1} - \text{трещин нет};$$

$$l_{crc,1} > l_{crc} > l_{crc,2} - \text{первый уровень трещинообразования}; \quad (66)$$

$$l_{crc,n} > l_{crc} > l_{crc,n+1} - n\text{-ый уровень трещинообразования}$$

Из параметрического анализа следует что также необходимо выполнение условия $l_{crc} \geq bt_*$, которое соответствует последнему физически возможному уровню трещинообразования.

$$l_{crc,2} = \eta_1 \cdot l_{crc,1}; \quad l_{crc,3} = \eta_2 l_{crc,2}; \quad l_{crc,4} = \eta_3 l_{crc,3}; \quad l_{crc,5} = \eta_4 l_{crc,4}; \quad l_{crc,6} = \eta_4 l_{crc,5} \text{ и т.д.} \quad (67)$$

32. Сравниваем расчетное значение l_{crc} с левой и правой границами – в результате назначаем уровневое значения l_{crc} , которое и принимаем для дальнейшего расчета расстояния между трещинами l_{crc} , соответствующее данному уровню

$$l_{crc} = \frac{2(\ln B_4 - Bt)}{-B} \quad (61)$$

При этом должно выполняться условие, которое следует из физического ограничения (когда трещин нет $a_{crc}=0$):

$$l_{crc} \geq -2 \frac{\ln \left(1 - \frac{\Delta T \cdot B}{B_3 \cdot G} \right)}{B} + 2t_* \quad (62)$$

здесь также должно выполняться неравенство $\Delta T < \frac{B}{B_3 \cdot G}$, которое вытекает из числителя натурального логарифма $\ln \left(1 - \frac{\Delta T \cdot B}{B_3 \cdot G} \right)$:

$$\frac{\Delta T \cdot B}{B_3 \cdot G} < 1, \quad \Delta T \cdot B < B_3 \cdot G, \quad \Delta T < \frac{B}{B_3 \cdot G} \quad (63)$$

Из анализа графика зависимости l_{crc} от $1 - e^{-B(0,5l_{crc}-t_*)}$ проверяем выполнение еще одного дополнительного неравенства:

$$l_{crc} \geq 2 \frac{0,527}{B} + 2t_* \quad (64)$$

Анализ показывает, что увеличение деформаций в арматуре в связи с увеличением нагрузки, вызывает уменьшение расстояния между трещинами. При этом появляется новый уровень трещинообразования, соответствующий уровню нагрузки, при котором выполняется следующее неравенство:

$$l_{crc,i} \leq \eta \cdot l_{crc,i-1} \quad (65)$$

где параметр η принимается из соотношения между напряжениями в продольной арматуре в смежных трещинах (для зоны чистого изгиба параметр η принимается равны 0,5).

Таким образом процесс появления трещин продолжается с увеличением ступени нагружения вплоть до разрушения. При этом выделяется не один, как это принято в большинстве известных методик, а несколько уровней трещинообразования:

Находим левую и правую части дискретного значения расстояния между трещинами:

нагрузки (как правило уровень нагрузки не превышает значения нормативной нагрузки, хотя предложенная методика позволяет выполнять расчёт для любого уровня нагрузки, что необхо-

димо, например для сопоставления с экспериментальными данными на разных ступенях нагружения или для оценки степени перераспределения усилий в предельной стадии для статически неопределимых железобетонных конструкций).

Из функционального анализа графика зависимости a_{crc} от l_{crc} необходимо выполнение (только для площадки текучести) следующего условия:

- $l_{crc,уров}$ не может перейти на больший уровень, может только уменьшаться (если на каком-либо уровне это происходит, то необходимо ввести ограничение:

$$l_{crc,уров,i} \leq l_{crc,уров,i-1} \quad (68)$$

- $l_{crc,функц}$ может изменяться в любых направлениях, но только в пределах одного уровня $l_{crc,уров}$, то есть:

$$l_{crc,функц,i} = l_{crc,уров,i-1} \quad (69)$$

где i -уровень, при котором $l_{crc,уров}$ переходит на больший уровень.

$$\psi_s = \frac{2 \cdot K \cdot B_3 \cdot k_r}{\varepsilon_s \cdot l_{crc} \cdot B} \cdot \left[1 - e^{-B \cdot (0,5l_{crc} - t^*)} \right] + \frac{2}{\varepsilon_s \cdot l_{crc}} \left(\varepsilon_s + \frac{\Delta T}{E_s A_s} - K \cdot B_3 \cdot k_r \right) \cdot (0,5l_{crc} - t^*) + \frac{\beta \cdot K \cdot B_3 \cdot k_r}{\varepsilon_s \cdot l_{crc} \cdot B \cdot t^*} \cdot (0,5l_{crc} - t^*)^2 + \frac{2 \cdot \varepsilon_s \cdot E_s \cdot A_s + \Delta T}{\varepsilon_s \cdot l_{crc} \cdot E_s \cdot A_s} \cdot t^* \quad (72)$$

34. При выполнении практических расчетов ширину раскрытия трещин, следуют умножить на коэффициент k_r , найденный по формулам (55), (56).

В итоге, формула для вычисления ширины раскрытия трещин принимает вид:

$$a_{crc} = a_{crc,s} \cdot k_r = \left(-\frac{2\Delta T}{G} + 2 \frac{B_3}{B} \left(1 - e^{-B \cdot (0,5l_{crc} - t^*)} \right) \right) \cdot k_r \quad (73),$$

где параметр B_3 рассчитывается по формуле (54),

$$B_2 = \frac{\delta \cdot V}{t^* \cdot B} = 0, \text{ т.к. поперечная сила } V=0; \text{ пара-}$$

метр k_r для железобетонной конструкции трапециевидного поперечного сечения определяется по формулам приведенных в работе [6].

35. Уточняем перемещения и жёсткость консоли $E_c(\lambda)I_{con}$ по пунктам 19–34 данного алгоритма (путем уточнения перемещений a_{crc}) и повторяем итерационный процесс до достижения заданной погрешности для a_{crc} .

Выводы.

1. Рассмотрена расчетная схема с аналитическим распределением деформаций, напряжений и усилий в железобетонных конструкциях трапециевидных поперечных сечений по второй и первой группе предельных состояний, на которую

33. Рассчитываем значение ширины раскрытия трещины с использованием формулы из работ [1, 2]:

$$a_{crc,s} = -\frac{2\Delta T}{G} + 2 \frac{B_3}{B} \left(1 - e^{-B \cdot (0,5l_{crc} - t^*)} \right) \quad (70)$$

При этом вводим физическое ограничение, которое следует из анализа вышеприведенной формулы, $a_{crc} \geq 0$.

$$l_{crc} \geq -2 \cdot \frac{\ln \left(1 - \frac{\Delta T \cdot B}{G \cdot B_3} \right)}{-B} + 2t^* \quad (71)$$

Таким образом, условие (71) является необходимым для определения l_{crc} . Заметим, что последнее неравенство учитывается только при невыполнении условия (58) слева. Если вычисленное значение a_{crc} меньше нуля, то это означает что трещин нет.

Определяем значение коэффициента учета работы растянутого бетона между трещинами ψ_s по формуле [1, 2]:

замыкаются двадцать две неизвестные и построены уравнения для их определения, – уравнения равновесия; уравнения деформаций; уравнения, вытекающие из нелинейных диаграмм связи «Напряжения-деформации» с их характерными и предельными точками; геометрических соотношений связывающих параметры трапециевидных сечений; зависимостей связывающих физическую и среднюю нейтральные оси; зависимостей, учитывающих работу растянутого бетона и неравномерность деформаций растянутой арматуры, сжатого бетона и сжатой арматуры между трещинами; зависимостей, определяющих многоуровневые расстояния между трещинами и ширину их раскрытия.

2. Предложен модернизированный двухконсольный элемент для изгибаемых железобетонных конструкций трапециевидных поперечных сечений, позволяющий после раскрытия статической неопределимости системы «бетонная матрица – арматурный стержень» существенно откорректировать параметры ширины раскрытия трещин, многоуровневое расстояние между трещинами и работу растянутого бетона между трещинами. При этом из раскрытия внутренней статической неопределимости с учетом угловых и деформационных параметров отыскиваются

$X_1 = \Delta T$, – сдвигающая сила, которая находится в непосредственной близости от трещины, на расстоянии t ; X_2 – равнодействующая сила в местной зоне сжатого бетона, расположенной в растянутой зоне поперечного сечения железобетонной конструкции, которая находится на расстоянии t_c от боковой поверхности рабочей продольной арматуры; X_3 – моментная составляющая в рабочей продольной арматуре.

3. Экспериментальными и численными исследованиями установлено, что в связи с эффектом нарушения сплошности, профиль трещины имеет сложный характер, при котором ширина раскрытия трещин максимально раскрывается не на оси арматуры, а на некотором удалении (два-три диаметра) от её оси.

4. Экспериментальными и численными исследованиями установлено, что для железобетонных конструкций трапециевидного поперечного сечения наблюдается тенденция уменьшения раскрытия трещин при некотором удалении (два-три диаметра) от оси арматуры. При этом общее количество трещин увеличивается из-за расширения поперечного сечения по трапеции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. Расчетные модели силового сопротивления железобетона. М.: Изд-во АСВ, 2004. 472 с.
2. Гольшев А.Б., Колчунов В.И. Сопротивление железобетона. Киев: Изд-во Основа, 2009. 432 с.
3. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. М.: ООО «Аналитик», 2012. 155 с.
4. Бамбура А.М., Павликов А.М. Колчунов В.И., Кочкарёв Д.В., Яковенко И.А. Практичний посібник із розрахунку залізобетонних конструкцій за діючими нормами України (ДБН В2.6–98:2009) та новими моделями деформування, що
5. разролені на їхню заміну. Киев: Изд-во Талком, 2017. 627 с.
5. Никулин А.И., Обернихин Д.В., Рубанов В.Г., Свентиков А.А. Трещиностойкость изгибаемых железобетонных элементов трапециевидного сечения на основе применения нелинейной деформационной модели // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 2. С. 58–63.
6. Колчунов В.И., Никулин А.И., Обернихин Д.В. Ширина раскрытия трещин железобетонных конструкций трапециевидного поперечного сечения с учетом новых эффектов сопротивления // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 10. С. 64–73.
7. Никулин А.И., Обернихин Д.В. Деформативность изгибаемых железобетонных элементов трапециевидного сечения с трещинами в растянутой зоне // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 5. С. 88–93.
8. Залесов А.С., Мухамедиев Т.А., Чистяков Е.А. Расчет трещиностойкости железобетонных конструкций по новым нормативным документам // Бетон и железобетон. 2002. № 5. С. 15–19.
9. Никулин А.И. Энергетический подход к трансформированию эталонных диаграмм сжатия бетона // Бетон и железобетон. 2013. № 5. С. 12–14.
10. Мадатян С.А. Арматура железобетонных конструкций. М.: Воентехлит, 2000. 256 с.
11. Мурашев В.И., Сигалов Э.Е., Байков В.Н. Железобетонные конструкции. М.: Госстройиздат, 1962. 651 с.
12. Никулин А.И. К уточнению величин предельных относительных деформаций бетона в сжатой зоне изгибаемых железобетонных элементов // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 8. С. 12–15.
13. Iakovenko I., Kolchunov V.I. The development of fracture mechanics hypotheses applicable to the calculation of reinforced concrete structures for the second group of limit states. Journal of Applied Engineering Science, 2017 vol. 15(2017)3, pp. 366–375. DOI:10.5937/jaes15–14662.

Информация об авторах

Колчунов Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры строительства уникальных зданий и сооружений. E-mail: vlik52@mail.ru. Юго-Западный государственный университет, Россия, 305040, г. Курск, Курская обл., ул. 50 лет Октября, 94.

Никулин Александр Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: nikulin137@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Обернихин Дмитрий Вячеславович, старший преподаватель кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: obernikhindmitriy@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в октябре 2018 г.

© Колчунов В.И., Никулин А.И., Обернихин Д.В., 2018

¹Kolchunov V.I., ^{2,*}Nikulin A.I., ²Obernikhin D.V.

¹Southwest State University

Russia, 308012, Kursk, str. 50 let Oktyabrya, 94

²Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

*E-mail: Nikulin.ai@bstu.ru

FEATURES OF RESISTANCE AND ALGORITHM FOR CALCULATING WIDTH OF REINFORCED CONSTRUCTION CRACK OPENING OF STRUCTURAL TRAPEZOIDAL CROSS-SECTION

Abstract. The features of resistance and the algorithm for calculating the width of crack opening of reinforced concrete structures of trapezoidal cross-section are studied. The design scheme with an analytical distribution of deformations, stresses and forces in reinforced concrete structures of trapezoidal cross sections is considered according to the second and first group of limit states, to which twenty-two unknowns are closed and the equations for its determination are constructed. They are equilibrium equations; deformation equations; equations derived from nonlinear stress-strain coupling diagrams with its characteristic and limit points; geometric relations connecting the parameters of trapezoidal sections; dependencies connecting the physical and average neutral axis; dependencies that take into account the work of stretched concrete and the non-uniformity of deformations of stretched reinforcement, compressed concrete and compressed reinforcement between cracks; dependencies that determine the multilevel distances between cracks and the width of its opening. A modernized dual console element for flexible reinforced concrete structures of trapezoidal cross-sections is proposed. After disclosing the static indeterminacy of the "concrete matrix - reinforcing rod" system, it allows to significantly adjust the parameters of the crack opening width, the multilevel distance between the cracks and the work of the stretched concrete between the cracks. Experimental and numerical studies have established that due to the discontinuity effect, the crack profile is complex, in which the crack opening width is maximally revealed not on the reinforcement axis, but at some distance (two or three diameters) from it. For reinforced concrete structures of trapezoidal cross-section, there is a tendency to reduce the crack opening at a certain distance (two or three diameters) from the axis of the reinforcement. The total number of cracks increases due to the enlargement of the trapezoidal cross-section.

Keywords: calculation algorithm, cracks disclosure width, reinforced concrete structures, bending resistance, limit states of the second and first group, trapezoidal sections, design scheme, dual console element, analytical equations.

REFERENCES

1. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. Calculation models of the power of resistance of reinforced concrete. Moscow.: ASV. 2004, 472 p.
2. Golyshev A.B., Kolchunov V.I. Resistance of reinforced concrete. Kiev: Osнова, 2009, 432 p.
3. SP 63.13330.2012. Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions. Updated edition SNiP 52-01-2003. Moscow.: Analytic. 2012, 155 p.
4. Bambura A.M., Pavlikov A.M., Kolchunov V.I., Kochkarjov D.V., Iakovenko I.A. Practical collection of calculation concrete structures according to the applicable norms of Ukraine (DBN V2.6-98:2009) and new models of deformation that are rooted in their replacement. Kiev: Talkom. 2017, 627 p.
5. Nikulin A.I., Obernikhin D.V., Rubanov V.G., Sventikov A.A. Fracture toughness of steel reinforced concrete elements of trapezoidal cross-section based on the application of nonlinear deformation models. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2016, no 2, pp. 58-63.
6. Kolchunov V.I., Nikulin A.I., Obernikhin D.V. Cracking width of reinforced concrete structures of trapezoidal cross-section, taking into account new effects of resistance. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no 10, pp. 64-73.
7. Obernikhin D.V., Nikulin A.I. Deformability of bending reinforced concrete elements of trapezoidal section with cracks in the stretched zone. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2016, no 5, pp. 88-93.
8. Zalesov A.S., Mukhamediev T.A., Chistyakov E.A. Calculation of crack resistance of reinforced concrete structures according to new regulatory documents. Concrete and reinforced concrete, 2002, no 5, pp. 15-19.
9. Madatyan S.A. Reinforcement of reinforced concrete structures. Moscow.: Voentekhlit. 2000, 256 p.
10. Obernikhin D.V., Nikulin A.I. Strength and fracture toughness of steel reinforced concrete elements of trapezoidal cross-section with lower general face. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2016, no 4, pp. 66-72.

11. Murashev V.I., Sigalov E.E., Baikov V.N. Reinforced concrete structures. M.: Gosstroyizdat. 1962, 651 p.

12. Nikulin A.I. To clarify the values of the limiting relative deformations of concrete in the compressed zone of bent reinforced concrete elements. Industrial and civil engineering, 2014, no 8, pp. 12–15.

Information about the author

Kolchunov, Vladimir I. DSc, Professor. E-mail: vlik52@mail.ru. Southwest State University. Russia, 308012, Kursk, str. 50 let Oktyabrya, 94.

Nikulin, Alexander I. PhD, Assistant professor. E-mail: nikulin137@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Obernihin, Dmitry V. Senior lecturer. E-mail: obernikhindmitriy@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in October 2018

Для цитирования:

Колчунов Вл.И., Никулин А.И., Обернихин Д.В. Особенности сопротивления и алгоритм расчета ширины раскрытия трещин железобетонных конструкций трапециевидного поперечного сечения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №1. С. 21–33. DOI: 10.12737/article_5c1c994d5c4162.30794442

For citation:

Kolchunov V.I., Nikulin A.I., Obernihin D.V. Features of resistance and algorithm for calculating width of reinforced construction crack opening of structural trapezoidal cross-section. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 1, pp. 21–33. DOI: 10.12737/article_5c1c994d5c4162.30794442

DOI: 10.12737/article_5c1c9951a85d95.66778563

^{1,*}Борисюк Е.А.¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

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

*E-mail: evgen1002@mail.ru

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЗАИМОСВЯЗЬ КОМПОНЕНТОВ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМАХ (ЧАСТЬ 2)

Аннотация. Способ выражения состава многокомпонентного материала через относительные – независимые и управляемые, характеристики и построение на их основе модели композиционного материала, рассмотренной в части 1 публикуемой статьи, позволил значительно сократить объём экспериментальных работ, при обеспечении глубокого и всестороннего исследования песчаного бетона. Исследования показали, что особенно эффективно использование предлагаемых относительных характеристик при планировании экспериментов математическими методами. Целью проведённого эксперимента явилось создание математической модели песчаного бетона на основе комплексной оценки его физико-механических и технико-экономических характеристик, а также определение оптимальных, для заданных условий, составов бетона с минимальным расходом цемента. Учитывая технологические особенности приготовления бетонных смесей на мелких песках, при планировании эксперимента были приняты независимые относительные характеристики: x_1 – отражающая долю цемента в молотой смеси цемента с песком; x_2 – отражающая долю молотой цементно-песчаной смеси в суммарном содержании всех твёрдых компонентов системы и x_3 – водо-твёрдое отношение. Совместная вариация независимых переменных позволяет получить все вероятные сочетания входящих в состав песчаного бетона ингредиентов, что обуславливает возможность широкого и обоснованного анализа их влияния на свойства бетона. В результате обработки опытных данных, используя методы математической статистики, были получены алгебраические уравнения, отражающие связь между исследуемыми свойствами бетона и исходными параметрами. Совместное графическое решение этих уравнений позволило установить оптимальные составы песчаного бетона заданных марок, которые показали высокую сходимость результатов при их проверке. Полученные результаты, в целом, дают возможность считать, что предложенный способ выражения состава через относительные характеристики может представлять значительный интерес для научных работников, занимающихся вопросами оптимизации сложных многокомпонентных систем в различных областях исследований.

Ключевые слова: многокомпонентные системы, композиционные материалы, бетоны, относительная взаимосвязь компонентов, оптимизация, планирование эксперимента.

Введение. К важным достоинствам предложенного способа количественной оценки состава многокомпонентной системы на основе установленной относительной взаимосвязи компонентов можно отнести также безусловную возможность использования его при исследованиях с помощью математических методов планирования экспериментов, по заранее выбранным планам с различным числом параметров, при решении задач оптимизации и компьютерной обработки результатов [13, 14]. Описанный в первой части принцип относительной взаимосвязи компонентов в многокомпонентной системе был использован при оптимизации составов песчаного бетона.

Основная часть. Подбор состава песчаного бетона состоял в определении соотношения – цемент: песок молотый: песок немолотый: вода, а также расхода материалов на 1 м³ бетона, при условии, что заданные прочность бетона, морозостойкость и подвижность (жесткость) бетонной смеси достигаются при наименьшем расходе це-

мента и минимальной усадке бетона. Целью проведённого эксперимента явилось создание математической модели песчаного бетона на основе комплексной оценки его физико-механических и технико-экономических характеристик, а также определение оптимальных для заданных условий составов бетона с минимальным расходом цемента.

Независимые переменные были определены после проведения предварительных опытов. Области их применения позволяют исследовать широкий диапазон составов песчаного бетона с расходом цемента 250–750 кг/м³ и воды 250–340 л/м³. Учитывая технологические особенности приготовления бетонных смесей на мелких песках, а именно, включение в технологию совместный домол цемента с частью песка, расход этих компонентов выражали относительной величиной, характеризующей долю цемента в молотой смеси цемента с песком:

$$x_1 = \frac{Ц}{Ц+ПМ} = \frac{Ц}{М} \quad (1)$$

где C – расход цемента, кг; P_M – расход молотого песка, кг; M – содержание молотой смеси цемента и песка, кг.

Этот параметр позволяет управлять активной составляющей молотой смеси, характеризует содержание цемента в общей смеси молотых компонентов и имеет предел изменения от 0 до 1.

Вторым параметром в эксперименте был принят:

$$x_2 = \frac{M}{M+P_H} = \frac{M}{T} \quad (2)$$

где P_H – расход немолотого песка, кг; T – суммарное содержание всех твёрдых компонентов, кг.

Этот параметр характеризует долю молотой цементно-песчаной смеси в суммарном содержании всех твёрдых компонентов системы, а также управляет гранулометрическим составом и плотностью системы в зависимости от соотношения – молотая цементно-песчаная смесь: немолотый песок. Область изменения этого параметра также от 0 до 1.

Третьим параметром, определяющим свойства песчаного бетона, был принят водо-твёрдое отношение:

$$x_3 = \frac{B}{T} \quad (3)$$

Это вызвано тем, что широко применяемый параметр – водоцементное отношение – является зависимым (расход цемента контролируется параметром x_1) и его использование в планировании эксперимента исключается. Схема взаимодействия параметров при планировании была принята из оснований рекомендаций [4].

Совместная вариация независимых переменных позволяет получить все вероятные сочетания входящих в состав бетона ингредиентов, что обуславливает возможность широкого и обоснованного анализа их влияния на свойства песчаного бетона. Выбранные параметры отвечают основным требованиям планирования эксперимента: совместимы, независимы, однозначны, управляемы, содержат полную информацию о соотношении компонентов бетона.

Выбор области исследования каждого параметра и интервала варьирования определяется областью изменения переменной, представляющей практический интерес с точки зрения конкретной задачи. Области изменения переменных и их кодированные значения приведены в таблице 1.

Таблица 1

Условия кодирования переменных

№ П	Условия кодирования	Обозначения	Натуральные значения переменных		
			x_1	x_2	x_3
1	Основной уровень	0	0,5	0,6	0,16
2	Интервал варьирования	Δx	0,1	0,15	0,02
3	Верхний уровень	+1	0,6	0,65	0,18
4	Нижний уровень	-1	0,4	0,35	0,14

Задача исследования заключалась в создании математической модели исследуемого бетона, т.е. в установлении зависимостей, связывающих выбранные параметры y_i , прочность, усадка при высыхании, жёсткость, расход цемента и другие, с влияющими на них параметрами x_1 ; x_2 ; x_3 .

$$y_i = f(x_1; x_2; x_3 \dots x_n) \quad (4)$$

Эта функция выражается в виде алгебраического полинома:

$$y_i = B_0 + B_1x_1 + B_2x_2 + B_3x_3 + B_{11}x_1^2 + B_{22}x_2^2 + B_{33}x_3^2 + B_{12}x_1x_2 + B_{23}x_2x_3 + B_{13}x_1x_3 \quad (5)$$

где y_i – значение функции отклика, предсказанное уравнением, исследуемое свойство; $B_0, B_1, B_2, \dots B_n$ – коэффициенты уравнения регрессии; $x_1, x_2, x_3, \dots x_n$ – независимые переменные в кодированном выражении; n – число факторов.

В соответствии с рекомендациями [4], если вид искомой зависимости неизвестен, был применён трёхуровневый план второго порядка.

Для выявления искомых опытных значений функций отклика (y_i) zaproектированных составов бетона был поставлен эксперимент, который включал перемешивание бетонной смеси в бегунах в течение 3–4 минут, уплотнение на лабораторной виброплощадке, твердение в нормальных условиях. zaproектированные в эксперименте составы песчаного бетона значительно отличаются по консистенции, поэтому уплотнение осуществляли до появления на поверхности образца

цементного молока. Жёсткость определяли по методу И.М. Красного.

Испытание бетона на прочность при сжатии, определение деформаций усадки и набухания, а также кинетику водопоглощения осуществляли на образцах балочках размером 40×40×160 мм, по стандартным методикам.

В опытах использовали мелкий пылевидный (барханный) песок с Мкр. = 0,07, цемент М400, активность цемента 43,8 МПа. Помол цемента с песком осуществляли до удельной поверхности 3000...3500 см²/г. Результаты исследований приведены в таблице 2.

Таблица 2

Сводная таблица результатов планирования эксперимента

№ п/п	План эксперимента			Состав бетона в долях от цемента (по массе) Ц : П _М : П _Н : В	Расход материалов в кг/м ³				Средняя плотность кг/м ³
	X ₁	X ₂	X ₃		Ц	П _М	П _Н	В	
1	0,6	0,65	0,18	1:0,67:0,9:0,46	698	468	626	321	2115
2	0,4	0,65	0,18	1:1,5:1,35:0,69	458	689	620	317	2085
3	0,6	0,35	0,18	1:0,67:3,1:0,86	363	243	1125	312	2046
4	0,4	0,35	0,18	1:1,5:4,64:1:1,29	239	359	1109	308	2016
5	0,6	0,65	0,14	1:0,67:0,9:0,36	753	505	678	271	2205
6	0,4	0,65	0,14	1:1,5:1,35:0,54	490	735	662	265	2125
7	0,6	0,35	0,14	1:0,67:3,1:0,67	384	257	1190	257	2088
8	0,4	0,35	0,14	1:1,5:4,64:1,0	251	376	1165	251	2043
9	0,6	0,5	0,16	1:0,67:1,67:0,53	559	375	934	296	2165
10	0,4	0,5	0,16	1:1,5:2,5:0,8	357	536	893	286	2071
11	0,5	0,65	0,16	1:1:1,08:0,49	598	598	646	293	2135
12	0,5	0,35	0,16	1:1:3,71:0,91	314	314	1164	292	2077
13	0,5	0,5	0,18	1:1:2:0,72	436	436	872	314	2056
14	0,5	0,5	0,14	1:1:2:0,56	471	471	942	264	2148
15	0,5	0,5	0,16	1:1:2:0,64	458	458	916	293	2125
16	0,5	0,5	0,16	1:1:2:0,64	459	459	918	294	2131
17	0,5	0,5	0,18	1:1:2:0,64	458	458	916	293	2125

Таблица 3

Контролируемые характеристики песчаного бетона в соответствии с планом эксперимента

№ п/п	Коэффициент уплотнения, К упл.	Воздуховление, ВЗ, %	Жёсткость, сек.	Деформативные характеристики		Коэффициент морозостойкости, через цикл		Предел прочности на сжатие, МПа	
				Усадка при высыхании, мм/м	Набухание, мм/м	100	300	Через 28 сут.	Через 300 сут.
1	0,95	5	10	2,56	2,62	0,92	0,65	52,4	63,8
2	0,954	4,5	7	2,42	2,20	0,99	0,62	32,2	46,9
3	0,936	6,4	6	2,12	2,65	0,89	0,73	18,5	26,0
4	0,924	7,6	4	2,61	1,89	0,69	0,52	10,1	15,1
5	0,952	4,8	175	1,99	1,80	0,89	0,96	65,2	80,6
6	0,942	5,8	216	1,80	1,68	0,96	0,92	45,8	64,8
7	0,918	8,2	97	1,64	1,66	0,96	0,81	23,5	35,6
8	0,905	9,5	128	2,20	1,56	0,91	0,62	15,8	22,7
9	0,963	3,7	12	1,95	2,12	0,88	0,84	38,9	50,1
10	0,932	6,8	34	2,13	1,89	0,80	0,68	24,6	34,6
11	0,948	5,2	51	2,08	2,22	0,99	0,86	52,4	61,4
12	0,936	6,4	10	2,36	1,83	0,78	0,64	15,8	22,9
13	0,938	6,1	2	2,16	2,28	0,98	0,72	22,8	32,7
14	0,94	6,0	153	1,75	1,92	0,99	0,88	38,5	56,9
15	0,95	5,0	20	1,96	1,98	0,96	0,82	29,0	43,8
16	0,953	4,7	23	1,89	2,10	0,93	0,80	29,6	44,7
17	0,951	4,9	18	1,99	2,06	0,94	0,81	30,2	44,4

В результате обработки опытных данных, используя методы математической статистики, получены алгебраические уравнения, отражающие связь между исследуемыми свойствами бетона и исходными параметрами.

$$R = 11,1 - 26,7\frac{Ц}{М} - 13,3\frac{М}{Т} + 68,4\frac{В}{Т} + 133,3\left(\frac{М}{Т}\right)^2 + 193,3\frac{Ц}{М} \cdot \frac{М}{Т} - 666,7\frac{М}{Т} \cdot \frac{В}{Т} \quad (6)$$

$$Ж = 3965 - 890\frac{Ц}{М} + 753\frac{М}{Т} + 45383\frac{В}{Т} + 400\left(\frac{М}{Т}\right)^2 + 132500\left(\frac{В}{Т}\right)^2 + 5000\frac{Ц}{М} \cdot \frac{В}{Т} - 6333\frac{М}{Т} \cdot \frac{В}{Т} \quad (7)$$

$$\lambda = 6,48 - 8,2\frac{Ц}{М} - 18,56\frac{М}{Т} + 15,5\frac{В}{Т} + 11,56\left(\frac{М}{Т}\right)^2 + 14\frac{Ц}{М} \cdot \frac{М}{Т} \quad (8)$$

$$Ц = -161 + 267\frac{Ц}{М} + 267\frac{М}{Т} + 1100\frac{В}{Т} + 2067\frac{Ц}{М} \cdot \frac{М}{Т} - 2000\frac{Ц}{М} \cdot \frac{В}{Т} - 2000\frac{М}{Т} \cdot \frac{В}{Т} \quad (9)$$

Получив функциональные зависимости основных технологических и экономических параметров от заданных факторов, можно решать задачу оптимизации, предварительно конкретизировав её цель.

Цель оптимизации: определение составов песчаного бетона с марочной прочностью 10,0; 20,0; 30,0 МПа при жёсткости бетонной смеси не более 60 с, с минимальными деформациями усадки и минимальным расходом цемента.

Математически цель оптимизации выражается следующим образом:

$$R = f\left(\frac{Ц}{М}; \frac{М}{Т}; \frac{В}{Т}\right) = 10,0; 20,0; 30,0 \text{ МПа};$$

$$Ж = f\left(\frac{Ц}{М}; \frac{М}{Т}; \frac{В}{Т}\right) = 60 \text{ сек};$$

$$\lambda = f\left(\frac{Ц}{М}; \frac{М}{Т}; \frac{В}{Т}\right) \rightarrow \min;$$

$$Ц = f\left(\frac{Ц}{М}; \frac{М}{Т}; \frac{В}{Т}\right) \rightarrow \min.$$

Существует два основных способа решения задачи оптимизации: графический (номограммы) и аналитический. Наглядную картину оптимизации даёт графический способ (рис. 2 а, б, в, г). Однако, он недостаточно точен, хотя и пользуется широким применением. Номограммы позволяют выявить наиболее общие закономерности изменения свойств песчаных бетонов на мелких песках изготовленных по предложенной технологии с использованием совместного домола цемента и части песка. Из графиков на приведен-

В натуральном масштабе:

ных рисунках видно, что свойства песчаных бетонов в значительной мере зависят от соотношения цемента и песка, от содержания молотого песка и воды.

С увеличением $\frac{Ц}{М}$ и $\frac{М}{Т}$ прочность возрастает. В пределах эксперимента прочность на сжатие изменялась от 10,0 до 70,0 МПа. Области изменения переменных обеспечивают получение бетонных смесей с жёсткостью от 0 до 200 сек и более, т.е. от смесей пластичных до особо жёстких.

Как видно из номограмм получить бетоны заданных марок можно при расходе цемента в широком диапазоне. При выборе состава бетона следует руководствоваться не только маркой и расходом цемента, но и учитывать его свойства в зависимости от условий изготовления и эксплуатации.

Например: бетон М200 можно получить при расходе цемента от 320 кг/м³ при $\frac{В}{Т} = 0,14$ (рис. 2а) до 430 кг/м³ при $\frac{В}{Т} = 0,18$ (рис. 2в), с жёсткостью бетонной смеси от Ж = 0 (при В/Т = 0,18) до жесткости Ж = 150 сек. (при В/Т = 14). Полная усадка при этом изменяется от 1,9 мм/м при $\frac{В}{Т} = 0,14$ до 2,9 мм/м при $\frac{В}{Т} = 0,18$, в зависимости от содержания молотого песка.

В результате проведённой обработки результатов исследований были установлены оптимальные составы песчаного бетона заданных марок (таблица №3).

Таблица 3

Оптимальные составы песчаного бетона, выраженные через факторы варьирования и в долях от цемента по массе

№ ПП	Марка бетона	Состав бетона, выраженный через фокторы варьирования			Состав бетона, в долях от цемента по масс			
		Ц/М	М/Т	В/Т	Цемент	Песок мол.	Песок немол.	Вода
1	100	0,41	0,28	0,152	1,0	1,44	6,16	1,32
2	200	0,5	0,395	0,143	1,0	1,0	3,04	0,723
3	300	0,53	0,46	0,151	1,0	0,89	2,22	0,62

Таблица 4

Физико-механические и физико-химические свойства песчаных бетонов оптимальных составов

№ пп	Состав бетона цемент:песок.мол.: песок немол.:вода	Средняя плотность, кг/м ³	Расход цемента, кг/м ³	Жёст- кость, сек	Предел прочно- сти, МПа 28сут.	Усадка при вы- сыхании, мм	Щелочность водной вы- тяжки рН, через	
							28 сут.	180 сут.
1	1:1,44:6,16:1,32	2090	213	26	9,4	2,36	11,8	9,5
2	1:1:3,04:0,723	2125	368	55	22,5	1,95	11,36	10,1
3	1:0,89:2,22:0,62	2135	452	62	31,0	1,57	11,4	10,4

Примечание: оптимальный состав бетона М100 лежит за пределами эксперимента

Выводы. Предложенный способ выражения состава многокомпонентного материала через относительные – независимые и управляемые, характеристики и построение на их основе модели композиционного материала, позволяет значительно сократить объёмы экспериментальных работ, дает возможность глубокого и всестороннего исследования композиционного материала. Представленные результаты только в минимальной мере позволяют судить о возможностях разработанного метода исследования композиционного материала. Широкое применение этого метода с привлечением математического обеспечения и вычислительной техники, обеспечит многократное снижение экспериментальной работы при исследовании многокомпонентных систем, давая при этом более точную и более полную оценку их свойств, что несомненно должно облегчить труд экспериментатора и повысить его эффективность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Борисюк Е.А. Разработка составов и технологии песчаного (мелкозернистого) бетона из барханных песков Туркменской ССР для жилищного строительства: дис.... канд. техн. наук. М...1988. 209 с.
2. Вознесенский В.А., Лященко Г.В. Особенности планирования эксперимента и решение интегральных задач в системах «смесь I смесь II – технология – свойства» // Заводская лаборатория. 1986. №12. С. 55–56.
3. Вознесенский В.А., Выровой В.Н., Корш В.Я. Современные методы оптимизации композиционных материалов. Киев: Будивельник, 1983. 143 с.
4. Руководство по подбору состава тяжёлого бетона. М.: Стройиздат, 1979. 103 с.
5. Борисюк Е.А., Ларгина О.И. Применение новых независимых переменных для совершенствования методов оптимизации многокомпонентных и структурированных систем /Сб. докладов участников круглого стола «Наносистемы в строительстве и производстве строительных материалов». М.: Изд. АСВ, 2007. С.38–43.
6. Чистов Ю.Д., Борисюк Е.А., Левшунов Р.Т. К вопросу выбора портландцемента для изготовления высоковольтных изоляторов // Вестник электроэнергетики. 1996. №1. С. 53–60.
7. Харитонов А.М. Развитие методов оптимизации составов многокомпонентных строительных композитов. // Фундаментальные исследования. 2015. № 11-3. С. 520–523.
8. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии М.: Изд. В.Ш., 1985. 327 с.
9. Кошелева Е.А., Гурьев А.М. Оптимизация химического состава насыщающих смесей при диффузионном борировании инструментальных сталей // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2009. № 5. С. 76–77.
10. Кошелева Е.А., Нестеренко А.Г., Иванов С.Г., Гурьев А.М. Оптимизация химического состава насыщающих смесей при диффузионном упрочнении инструментальных сталей / Труды VI Международной научной школы-конференции «Фундаментальное и прикладное материаловедение» // Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2009. С. 179–183.
11. Гурьев М.А., Кошелева Е.А., Иванов С.Г. Оптимизация состава многокомпонентной насыщающей смеси на основе бора и хрома для поверхностного легирования сталей // Ползуновский альманах. №1. Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010. С. 131–135.
12. Нугманов А.Х-Х., Титова Л.М., Александрия И.Ю., Фоменко Е.В. Оптимизация рецептур многокомпонентных продуктов методами теории подобия и ее практической реализации // Техника и технология пищевых производств. 2015. Т. 39. №4. С. 63–70.
13. Ахмадиев Ф.Г., Гильфанов Р.М. Математическое моделирование и оптимизация «состав-свойство» многокомпонентных смесей // Известия казанского ГАСУ. 2012. №2. С. 289–297.

14. Яковис Л.М. Математическое моделирование и оптимизации управляемых процессов приготовления многокомпонентных смесей: дис.... докт. техн. наук. С.-П. 2002. 333 с.

15. Bonvalet M., Philippe T., Sauvage X., Blavette D. Modeling of precipitation kinetics in multi-component systems: Application to model superalloys // Acta Materialia. 2015. Vol. 100. Pp. 169–177.

Информация об авторах

Борисюк Евгений Александрович, старший преподаватель кафедры технологии, организации и управления строительством, кандидат технических наук. E-mail: evgen1002@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Поступила в сентябре 2018 г.

© Борисюк Е.А., 2018

^{1,*}**Borisyuk E.A.**

¹Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)

Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26

*E-mail: evgen1002@mail.ru.

RELATIVE INTERCONNECTION OF COMPONENTS IN MULTICOMPONENT SYSTEMS (PART 2)

Abstract. Discussed in the first part of an article, the method of expression the composition of multi-component material through relative independent and controlled characteristics and the building models of composite material have significantly reduced volume of practical work, while providing an in-depth and comprehensive study of sand concrete. Researches show the use of proposed relative characteristics are effective when planning experiments through mathematical methods. The goal of an experiment is to create a mathematical model of sand concrete based on comprehensive evaluation of its physical, mechanical, technical and economic characteristics, as well as the determination of the optimal conditions and minimal cement consumption for the given concrete compositions. Taking into account the technological features of concrete mixtures with small sand, two independent relative characteristics are adopted during the planning of experiment: x_1 -reflecting the proportion of cement in the ground mixture of cement with sand; x_2 -reflecting the proportion of the ground cement-sand mixture in the total solid content of all components of the system and x_3 -water-solid ratio. The joint variation of the independent variables allows to obtain all possible combinations of the ingredients included in the composition of sand concrete. This makes possible to analyze its influence on the concrete properties. Algebraic equations are obtained, in the result of processing the experimental data with the methods of mathematical statistics. They reflect the relationship between properties of concrete and the initial parameters. The joint graphical solution of these equations allows to determine the optimal compositions for sand concrete of given marks, which showed high convergence of the results during verification. In general, results provide an opportunity to consider the proposed way of expressing the composition through relative characteristics and may be of considerable interest to researchers involved in the optimization of complex multicomponent systems in various fields of research.

Keywords: multicomponent systems, composite materials, concretes, relative interconnection of components, optimization, experiment planning.

REFERENCES

1. Borisyuk E.A. Development of compositions and technologies of sandy (fine-grained) concrete from sand sands of the Turkmen SSR for housing: DIS. ... Cand. Tech. Sciences. M. 1988, 209 p.
2. Voznesensky V.A., Lyashchenko G.V. Features of experiment planning and solving of integral is defined in systems "mixture I mix II-technology-properties. Factory laboratory, 1986, no.12, pp. 55–56.
3. Voznesensky V.A., Vyrovoy V.N., Korsch V.Y. Modern methods of optimization of composite materials. Kiev: Dnipro, 1983, 143 p.

4. Sizing guide the composition of heavy concrete. M.: Stroizdat, 1979, 103 p.

5. Borisyuk E.A., Largina O.I. Application of new independent variables to improve the methods of optimization of multidimensional and structured systems. Sat. participants of the round table "Nanosystems in construction and production of construction materials. M.: Izd. ACB, 2007, pp. 38–43.

6. Chistov Y.D., Borisyuk E.A., Levshunov, R.T. Choose Portland for the manufacture of high-voltage insulators. Herald of the electric power industry, 1996, no. 1, pp. 53–60.

7. Kharitonov A.M. Development methods to optimize formulations of multicomponent composite

construction. Basic research, 2015, no. 11-3, pp. 520–523.

8. Ahnazarova S.L., Kafarov V.V. Optimization techniques in chemical technology experiment, m.: IZD. Polycarpus served Munir, 1985, 327 p.

9. Kosheleva E.A., Guryev A.M. Optimization of chemical composition of saturating at mixtures while the diffusive boronizing of tool steels. International Journal of applied and fundamental research, 2009, pp. 76–77.

10. Kosheleva E.A., Nesterenko A.G., Ivanov S.G., Guryev A.M. Optimization of chemical composition of saturating at mixtures while the diffusive hardening tool steels. Proceedings of the 6th International Scientific Conference "School of fundamental and applied materials science ". Alt. GOS. Tech. University of them. I., Jsc. Barnaul: IZD-vo AltGTU, 2009, pp. 179–183.

11. Guryev M.A., Kosheleva E.A., Ivanov S.G. Optimizing the composition of multi-component mixtures of boron-based satiety and chrome for surface alloying of steels. Polzunovskij Almanac. №1.

ALT. GOS. Tech. University of them. I., Jsc. Barnaul: AltGTU, 2010, pp. 131–135.

12. Nugmanov A.K., Titov L.M., Alexanyan I.Y., Fomenko E.V. Optimization of formulations of multi-component products methods of the theory of similarity and its practical implementation. Technique and technology of food production, 2015, vol. 39, no. 4, pp. 63–70.

13. Akhmadiev F.G., Gilfanov R.M. Mathematical simulation and optimization "composition-property of multicomponent mixtures. J. Izvestia Kazan GUSU, 2012, no. 2, pp. 289–297.

14. Jakovis L.M. Mathematical modelling and optimization of managed processes of preparation of multi-component mixtures: DIS. ... Dott. Tech. Sciences. S.P. 2002, 333 p.

15. Bonvalet M., Philippe T., Sauvage X., Blavette D. Modeling of precipitation kinetics in multi-component systems: Application to model superalloys. Acta Materialia, 2015, vol. 100, pp. 169–177.

Information about the author

Borisyuk, Evgeny A. PhD, Senior lecturer. E-mail: evgen1002@mail.ru. Moscow State University of Civil Engineering (National Research University). Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26.

Received in September 2018

Для цитирования:

Борисюк Е.А. Относительная взаимосвязь компонентов в многокомпонентных системах (Часть 2) // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №12. С. 34–41. DOI: 10.12737/article_5c1c9951a85d95.66778563

For citation:

Borisyuk E.A. Relative interconnection of components in multicomponent systems (Part 2). Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 12, pp. 34–41. DOI: 10.12737/article_5c1c9951a85d95.66778563

DOI: 10.12737/article_5c1c99553a7828.01508345

^{1,*}Долженко А.В., ¹Наумов А.Е., ¹Шевченко А.В., ²Стойкович Н.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

²Высшая техническая школа профессионального образования Ниш

Республика Сербия, 18000, г. Ниш, ул. Александра Медведова 20

*E-mail: dolzhenko.av@bstu.ru

ВЛИЯНИЕ КАСАТЕЛЬНЫХ СИЛ ТРЕНИЯ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛАСТИКОТРУБОБЕТОННОГО ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТОГО КОРОТКОГО СТЕРЖНЯ

Аннотация. Представлены численные исследования напряженно-деформированного состояния центрально сжатых коротких полимертубобетонных (ПТБ) цилиндрических стоек, проанализировано влияние касательных сил трения на границе слоев бетонного ядра и пластиковой оболочки на напряженно-деформированное состояние ПТБ стойки в предположении упругой работы материалов ядра и оболочки. Необходимость проведения данных исследований связана с недостатком теоретических и численных исследований влияния касательных сил трения на напряженно-деформированное состояние такого вида конструктивных элементов, в том числе и классического решения со стальной оболочкой. В связи с этим, математическое моделирование и создание инженерных методик расчета ПТБ на основе содержательного рассмотрения совместной работы бетонного ядра и цилиндрической пластиковой оболочки имеет существенный научный потенциал.

Проведенное авторами конечноэлементное моделирование позволило оценить влияние сил трения на напряженно-деформированное состояние элементов пластиковой цилиндрической оболочки и бетонного ядра рассматриваемой короткой ПТБ стойки как незначительное. Выполненные расчеты продемонстрировали справедливость с инженерной точностью использование математической модели короткой ПТБ стойки для проведения инженерных расчетов и структурного анализа конструкции. Установлено, что использование аналитической модели верифицированной методом конечных элементов позволяет исследовать влияние вариации физико-механических свойств материалов ядра и оболочки ПТБ на параметры напряжённо-деформированного состояния (НДС) конструкции и осуществлять рациональное проектирование ПТБ элементов в составе конструкций гражданских и промышленных зданий с привязкой к фактически используемым широко представленным на рынке материалам.

Ключевые слова: полимертубобетон, тубобетон, трехосное сжатие, касательные силы, трение, прочностные расчеты строительных конструкций.

Трубобетонные колонны с оболочкой из стальных труб широко используются в строительстве из-за своей высокой прочности, устойчивости, пластичности и огнестойкости. Такие колонны имеют более высокую жесткость чем у обычных железобетонных колонн. Ранее авторами было предложено использование в качестве оболочки пластиковой трубы и обоснована возможность её использования в качестве оболочки центрально сжатых трубобетонных элементов при малых сжимающих нагрузках [1] с сохранением основных преимуществ классического трубобетона.

Но, несмотря на все достоинства трубобетонных колонн, их широкому внедрению в строительство на территории Российской Федерации препятствует отсутствие в нормах проектирования методик расчета таких элементов. Проведенные за последние 20 лет исследования центрально сжатых трубобетонных элементов в

нашей стране позволили разработать методики их расчета, основанные на эмпирических данных [2, 3]. При этом, большая часть этих методик требует учета ненормируемых, определяемых экспериментально, параметров, что существенно усложняет применение этих методик реальном проектировании.

Исследованию влияния касательных сил трения на напряженно-деформированное состояние центрально сжатых трубобетонных элементов в науке уделено незначительное внимание. Большинство авторов в своих работах пренебрегают силами трения на стыке оболочки и бетонного ядра [9–12].

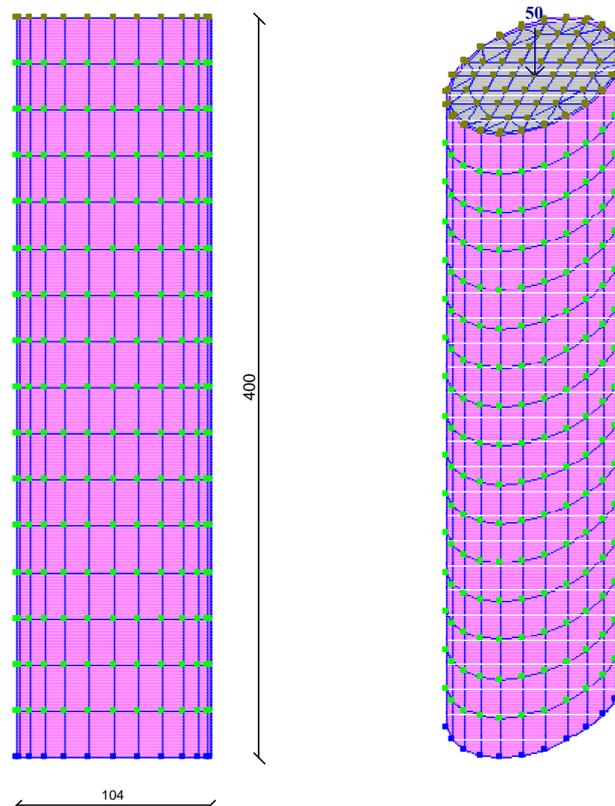
В ранних работах авторов [1, 4] рассматривались вопросы рациональности использования коротких ПТБ стоек в качестве ресурсоэффективных конструкций в гражданском строительстве и методические аспекты количественного

анализа напряженно-деформированного состояния конструкций с учетом факторов действительной работы под нагрузкой и экспериментально определенных физико-механических свойств материалов ПТБ. В частности, в работе [4] были проанализировано распределение продольных сжимающих и поперечных растягивающих напряжений в композитной конструкции, выработаны подходы к построению аналитических зависимостей, предложены результаты численного моделирования конструкции и произведена оценка достоверности аналитического решения задачи сопоставлением с результатами конечно-элементного расчета. В текущей работе авторы рассматривают влияние касательных сил трения на границе слоев бетонного ядра и пластиковой оболочки на напряженно-деформированное состояние ПТБ стойки в предположении упругой работы материалов ядра и оболочки.

С целью определения сопоставляемых с аналитическим решением численных параметров НДС конструкции было выполнено конечно-элементное моделирование и расчет элемента в программе Лира. Рассчитываемая конструкция имеет высоту 400 мм, внутренний диаметр трубы

$$E_f A_f + E_b A_b = E_f \cdot \left(R + \frac{t}{2} \right) \frac{2\pi H}{24 \cdot 16} + E_b \left(\frac{5}{6} R \frac{2\pi H}{24 \cdot 16} \right) \quad (1)$$

здесь H – высота рассчитываемой конструкции, которую разбиваем на 24 сектора в плане и на 16 частей по высоте.



$2R=100$ мм, толщину стенки $t=5$ мм. Материал оболочки – полипропилен с модулем упругости $E_f=1190$ МПа и коэффициентом поперечных деформаций $\nu_f=0,20$. Материал ядра – бетон с начальным модулем упругости $E_b=24000$ МПа, и коэффициентом поперечных деформаций согласно пособия по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СНиП 2.03.01-84) $\mu_b=0,42$, коэффициент трения пластика о бетон $\mu=0,33$ [5]. Расчет производился на величину центральных сжимающих напряжений 20 МПа.

Элементы оболочки смоделированы КЭ 44 (универсальным четырехугольным конечным элементом оболочки), элементы бетонного ядра – КЭ 34 (универсальным пространственным шестиузловым изопараметрическим конечным элементом). Контактная задача решалась с помощью двухузлового одностороннего элемента трения, работающего на сжатие (КЭ 264). Осевую жесткость элемента определяем по формуле:

Рис. 1. Расчетная схема, размеры

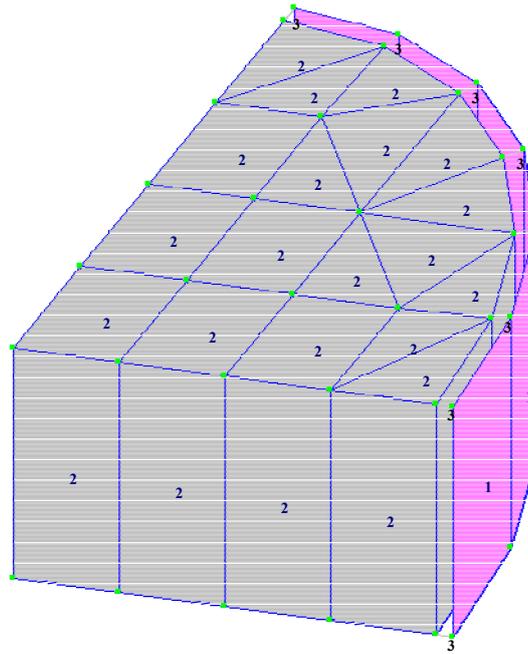


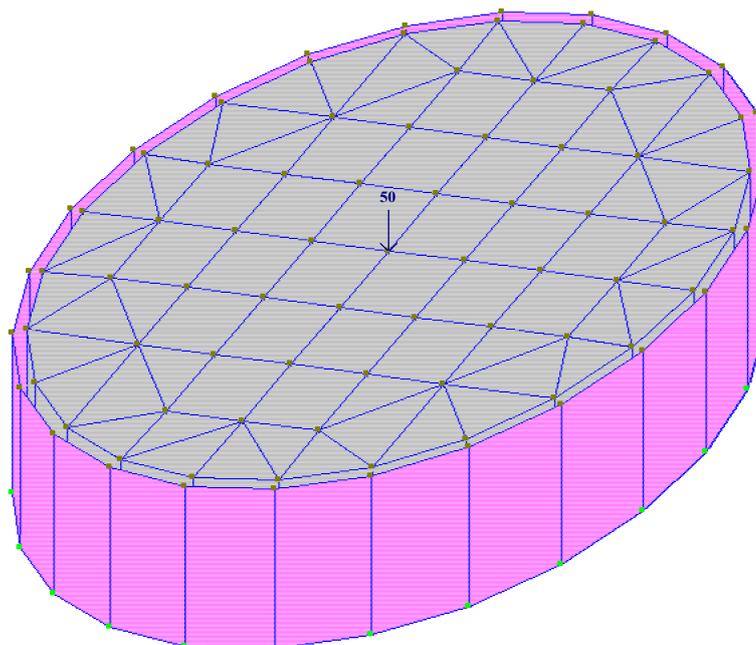
Рис. 2. Жесткости

Таблица 1

Типы жесткостей

Тип жесткости	Имя	Параметры
1	Пластина Н 0.5	$E=1190, V=0.2, H=5, R_0=0$
2	3D	$E=24000, V=0.42, R_0=0$
3	КЭ 264 численное	$E1=6.954e+006, k=0.33, E2=2.29482e+006$
		Сжатие, зазор:0

Загружение 1



z

Рис. 3. Нагрузки, кН

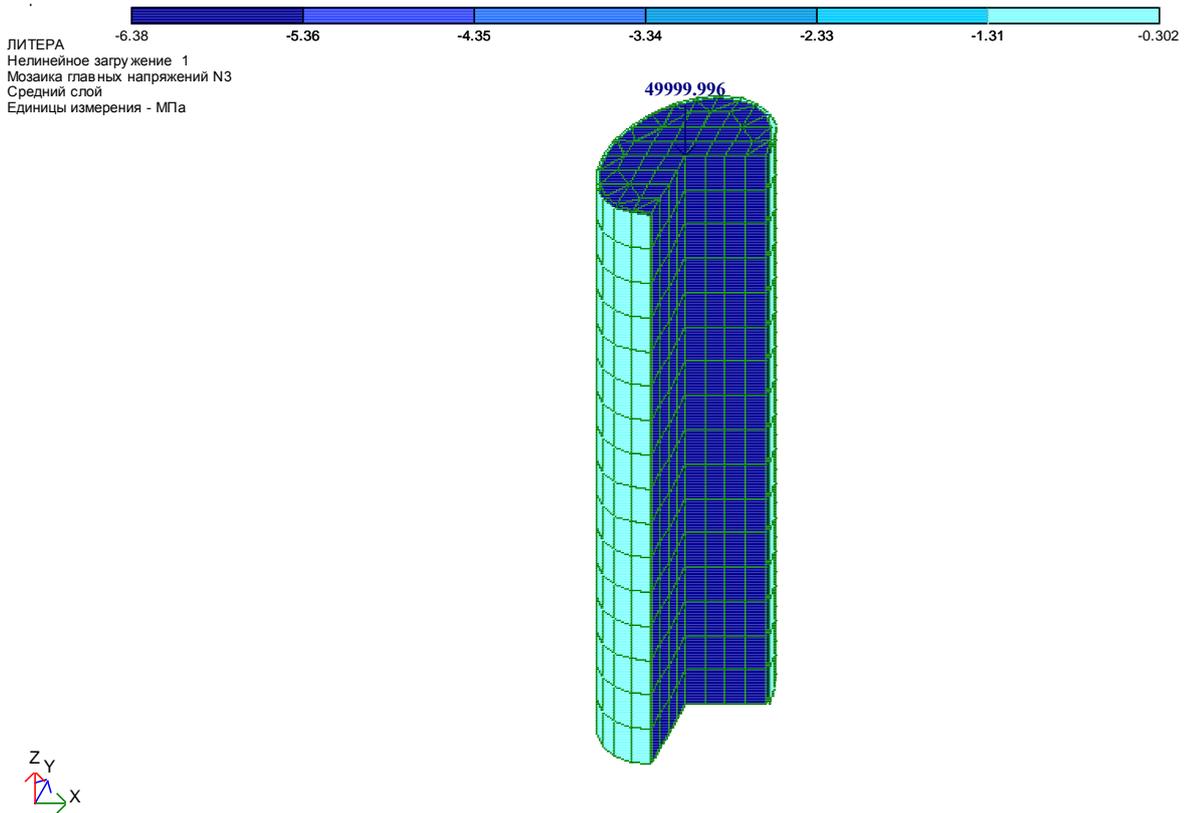


Рис. 4. Главные напряжения в бетоне и оболочке σ_{b3} и σ_{f2}

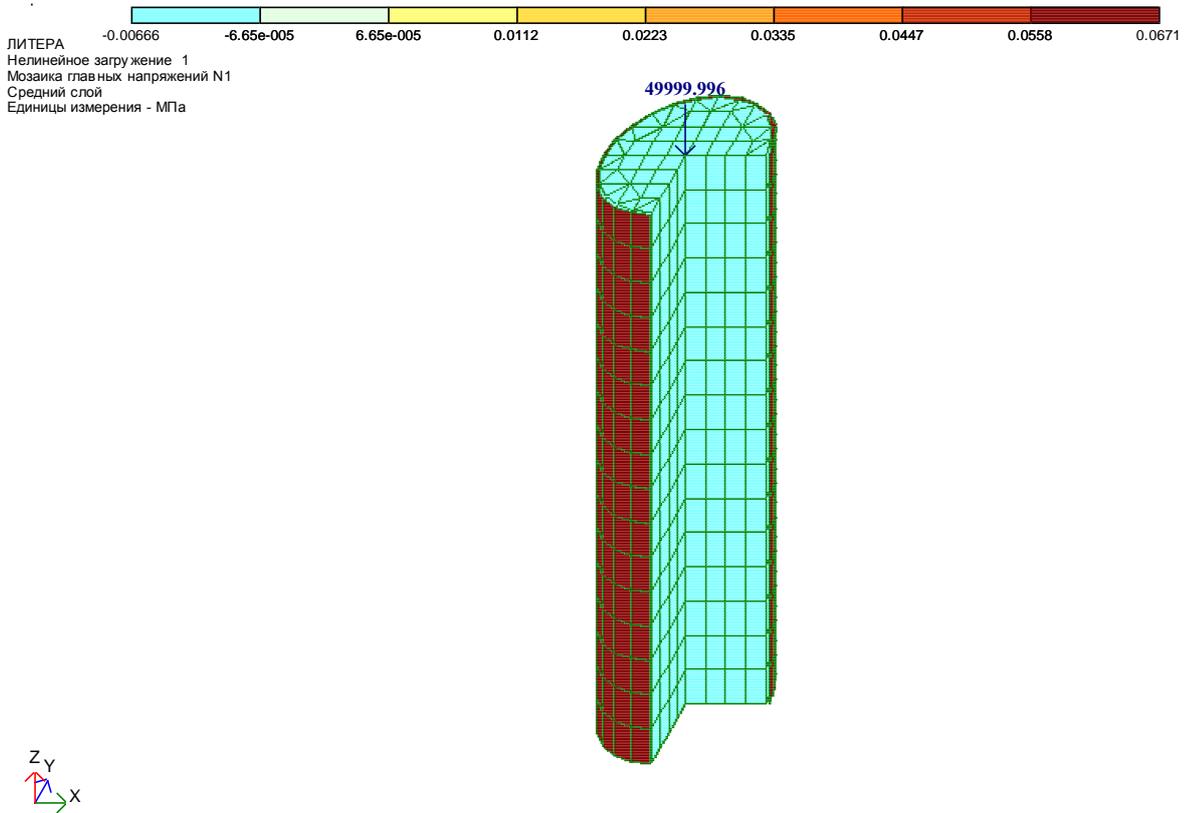


Рис. 5. Главные напряжения в бетоне и оболочке σ_{b1} и σ_{f1}

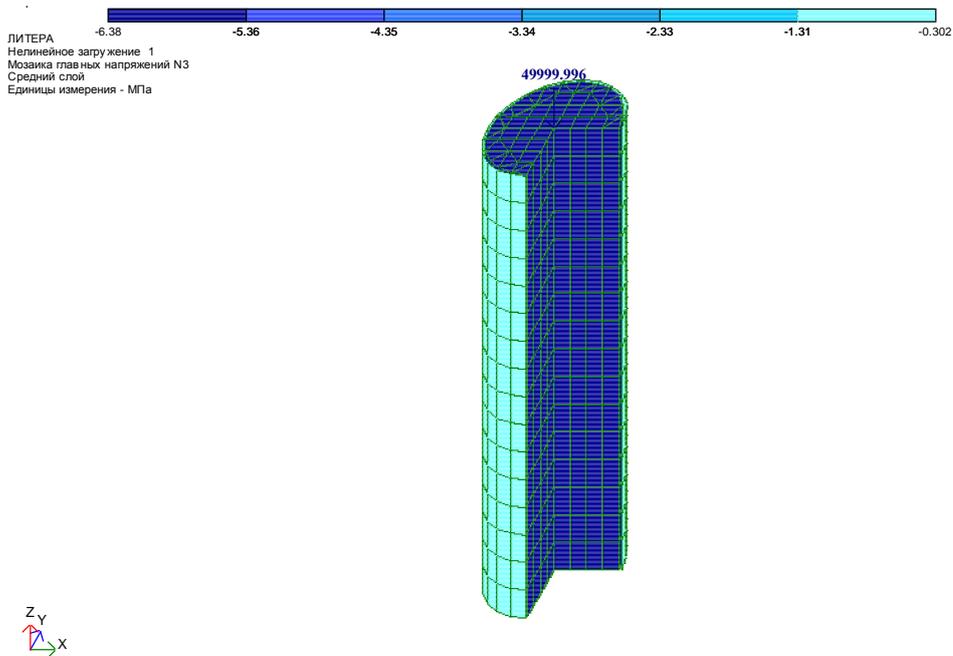


Рис. 6. Главные напряжения в бетоне σ_{b2}

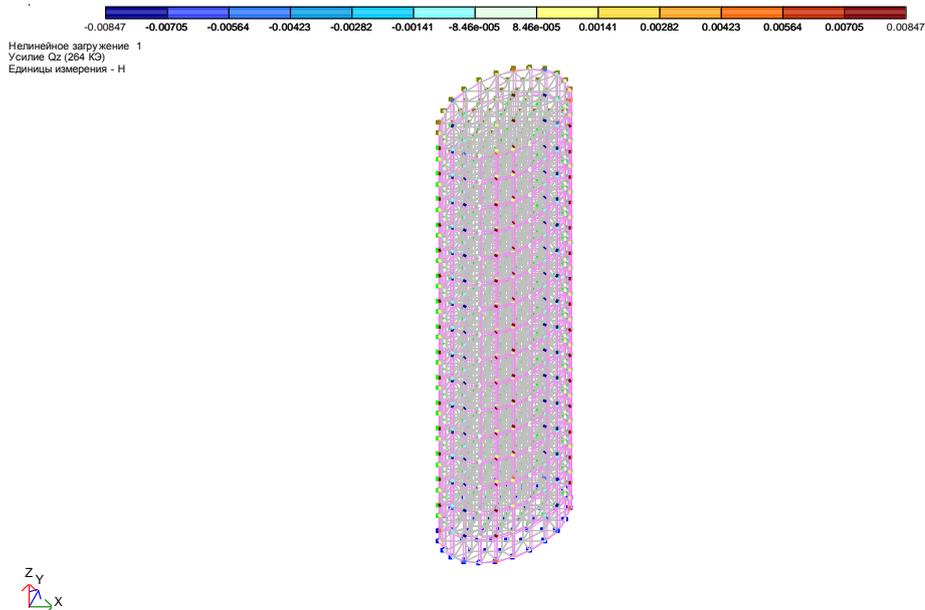


Рис. 7. Силы трения в конечных элементах

В связи с тем, что в данном расчете изменилась только нагрузка, то коэффициенты k_1 и k_2 останутся, такими же, как и в предыдущей задаче [4].

Теоретически в соответствии с предложенной авторами математической моделью [4] кольцевые и продольные напряжения в оболочке без учета сил трения соответственно равны

$$\sigma_{f1} = -\frac{N}{k_1 A_b + k_2 A_f} = 0,071 \text{ МПа} \quad (2)$$

$$\sigma_{f2} = \frac{N}{\frac{k_1}{k_2} A_b + A_f} = -0,298 \text{ МПа} \quad (3)$$

Главные напряжения в бетонном ядре будут иметь значения:

$$\sigma_{b3} = \frac{N}{A_b + \frac{k_2}{k_1} A_f} = -6,304 \text{ МПа} \quad (4)$$

$$\sigma_{b1} = \sigma_{b2} = -\sigma_{f1} \frac{t}{R} = -0,0071 \text{ МПа} \quad (5)$$

Оценим влияние сил трения по формулам, полученным в [4] с учетом [6, 7, 8].

Коэффициенты, входящие в зависимости [4] принимаем равными:

$$\Delta = -\frac{\sigma_{f2}}{E_f} + \frac{\sigma_b}{E_b} = -1,225 \cdot 10^{-5} \quad (6)$$

$$G_b = 8450 \text{ МПа,}$$

$$G_f = 496 \text{ МПа,}$$

$$\xi = \left(2\pi R \left(\frac{2}{tG_f} + \frac{3}{RG_b} \right) \right)^{-1} = 3,913 \frac{H}{\text{мм}^2} \quad (7)$$

$$c = \frac{R}{3} + \frac{t}{2} = 19,17 \text{ мм} \quad (8)$$

$$\sum EJ = E_b \frac{\pi}{18} R^4 + E_f \frac{5\pi}{18} [(R+t)^4 - R^4] = 2,919 \cdot 10^{10} \text{ Нмм}^2 \quad (9)$$

$$\gamma = \frac{1}{E_f A_f} + \frac{1}{E_b A_b} + \frac{c^2}{\sum EJ} = 5,272 \cdot 10^{-7} \text{ Н}^{-1} \quad (10)$$

$$\lambda = \sqrt{\xi \gamma} = 1,436 \cdot 10^{-3} \quad (11)$$

Находим распределение сдвигающих сил и сдвигающих напряжений без учета силы трения:

$$C_2 = \frac{\sigma_{f2} A_f + \frac{\Delta}{\gamma}}{ch(\lambda l)} = -499,60 \quad (12)$$

$$T = -499,60 \cdot ch(1,436 \cdot 10^{-3} x) - 475,0 \quad (13)$$

$$\tau = -0,717 \cdot sh(1,436 \cdot 10^{-3} x) \quad (14)$$

Перед вычислением сдвигающих сил и сдвигающих напряжений с воздействием силы трения найдем ее значение в середине оболочки:

$$p2\pi R l \varphi = 147,23 \text{ Н} \quad (15)$$

Постоянная интегрирования равна:

$$C_2 = \frac{\sigma_{f2} A_f - p2\pi R l \varphi + \frac{\Delta}{\gamma}}{ch(\lambda l)} = -635,78 \quad (16)$$

Силы сдвига и напряжения с учетом сил трения запишем в виде:

$$T = -635,78 \cdot ch(1,436 \cdot 10^{-3} x) - 475,0 \quad (17)$$

$$\tau = -0,727 \cdot sh(1,436 \cdot 10^{-3} x) \quad (18)$$

Максимальные сжимающие напряжения в оболочке с учетом сил трения равно:

$$\sigma_{f2} + \frac{ch(\lambda l) \left(\left(\sigma_{f2} A_f + \frac{\Delta}{\gamma} \right) \left(1 - \frac{1}{ch(\lambda l)} \right) - 2\sigma_{f1} t \pi \varphi \right)}{A_f} = -0,404 \text{ МПа} \quad (19)$$

Степень влияния сил трения оценим по формуле:

$$\left| \left(\frac{ch(\lambda l) - 1}{\left(\sigma_{f2} A_f + \frac{\Delta}{\gamma} \right)} - \frac{p2\pi R l \varphi}{\left(\sigma_{f2} A_f + \frac{\Delta}{\gamma} \right)} \right) 100\% \right| = 33,6\% \quad (20)$$

Распределение усилий даны на рисунках 8–11.

Результаты численных исследований даны в таблице 2.

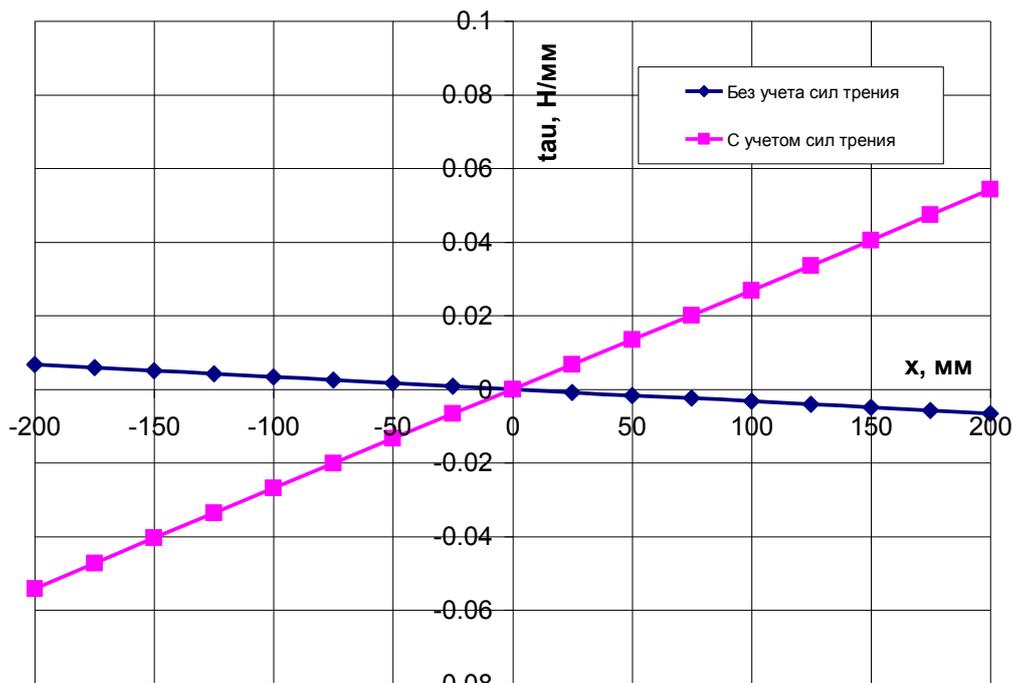


Рис. 8. Напряжения сдвига с учетом и без учета сил трения

Результаты численных исследований

№ п./п.	Наименование показателя	Численные значения, полученные расчетом по методам:		Примечание
		Теории упругости и расчета составных стержней	МКЭ	
1	Главные напряжения в бетоне σ_{b3} , МПа	-6,304	-6,38	$\mu_f = 0,42$ $\mu_b = 0,20$
2	Главные напряжения в бетоне σ_{b2} , МПа	-0,0071	-0,0075	
3	Продольные напряжения - σ_{f2} , МПа	-0,298	-0,302	
4	Кольцевые напряжения - σ_{f1} , МПа	0,071	0,067	
5	Усилие в элементе трения, Н	$\pm 0,06$	$\pm 0,008$	

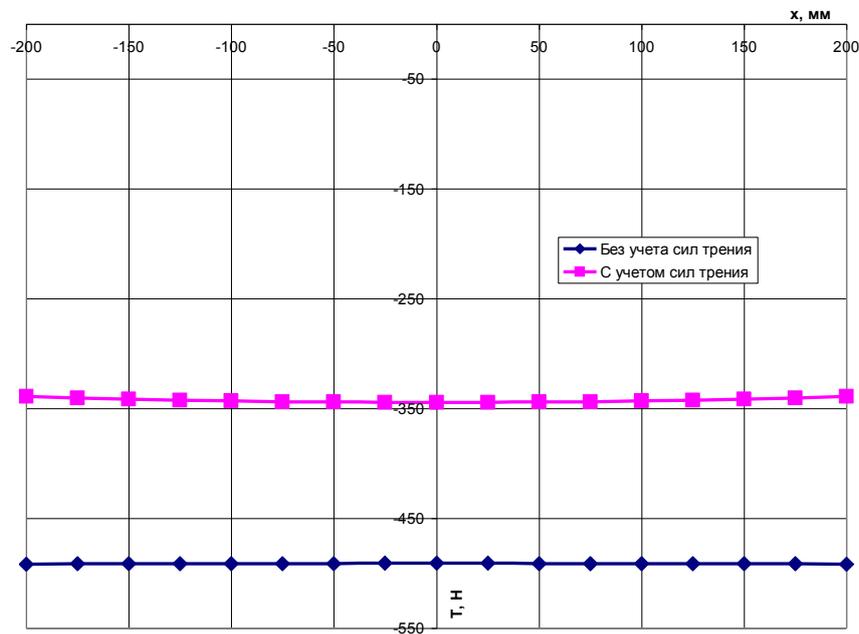


Рис. 9. Силы сдвига с учетом и без учета сил трения

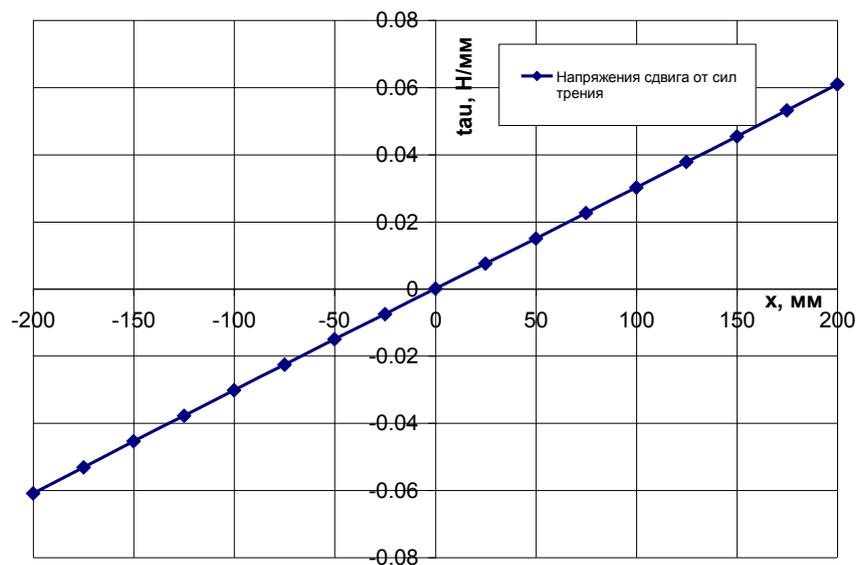


Рис. 10. Напряжения сдвига на контакте оболочки и бетонного ядра от сил трения

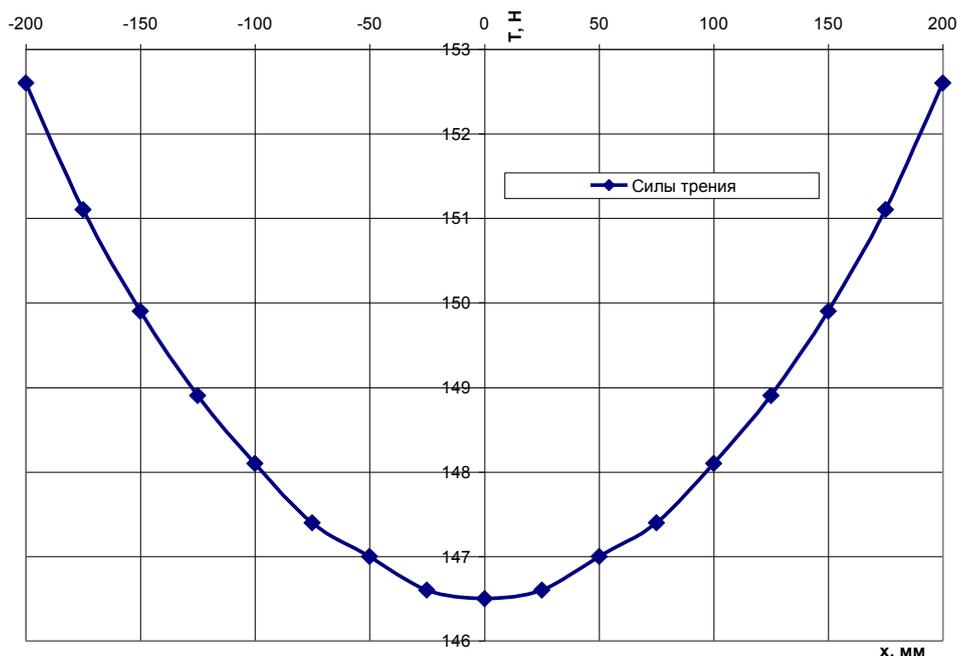


Рис. 11. Силы сдвига на контакте оболочки и бетонного ядра от сил трения

На основании вышеприведенных конечно-элементных и численных исследований можно сделать следующие выводы:

- установленное влияние сил трения элементов пластиковой оболочки и бетонного ядра на напряженно-деформированное состояние конструкции исчерпывающим образом определяется физико-механическими характеристиками материала оболочки, что определяет необходимость дальнейшего исследования вариации свойств пластика ПТБ;

- аналитическое решение задачи с инженерной точностью совпадает с конечноэлементным решением, что позволяет использовать его для инженерных расчетов конструкций;

- использование аналитической модели, верифицированной методом конечных элементов, позволяет исследовать влияние вариации физико-механических свойств материалов ПТБ (ядра и оболочки) на параметры НДС конструкции и осуществлять рациональное проектирование ПТБ элементов в составе конструкций гражданских и промышленных зданий с привязкой к фактически используемым широко представленным на рынке материалам.

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Dolzhenko A., Naumov A., Shevchenko A. Bearing capacity and rigidity of short plastic-concrete-tubal vertical columns under transverse

load // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 327, 2018.

2. Шахворостов А.И. Исследование напряженно-деформированного состояния трубобетона на напрягающем цементе, Дисс...канд. техн. наук. М, 2000.

3. Кришан А.Л., Сагадатов А.И. Трубобетонные элементы с предварительно обжатым ядром – Бетон и железобетон – пути развития. Научные труды 2-ой Всероссийской конференции по бетону и железобетону. 5–9 сентября 2005г. т.2. М.:НИИЖБ, 2005.

4. Долженко А.В., Наумов А.Е., Шевченко А.В., Стойкович Н. Численные исследования напряженно-деформированного состояния пластикотрубобетонного центрально-сжатого короткого стержня // Вестник БГТУ. 2018. № 10. С. 23–32.

5. Александров А.В., Алфутов Н.А., Астанин В.В. и др. Машиностроение. Энциклопедия, М.: Машиностроение, 1995. 624.

6. Вольмир А.С. Устойчивость упругих систем, М., 1963. 984с.

7. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. 416 с.

8. Филин А.П. Элементы теории оболочек. Изд. 2-е, доп. и перераб. Л.: Стройиздат, 1975. 256 с.

9. Sakino K., Nakahara H., Morino S., Nishiyama I., Behavior of centrally loaded concrete-filled steel-tube short columns // Struct. Eng. ASCE 2004. Vol. 130(2). Pp. 180–188.

10. Schneider S.P., Axially loaded concrete-filled steel tubes. J. Struct. Eng. ASCE 124, 1998. Pp. 1125–1138.

11. Huang C.S., Yeh Y.K., Liu G.Y., Hu H.T., Tsai K.C., Weng Y.T., Wang S.H., Wu M.H., Axial load behavior of stiffened concrete-filled steel

columns. J. Struct. Eng. ASCE. 2002. Vol. 128(9). Pp. 1222–1230.

12. Uy B. High-strength steel-concrete composite columns for buildings. Struct. Build. 2003. Vol. 156. Pp. 3–14.

Информация об авторах

Долженко Александр Валериевич, старший преподаватель кафедры городского кадастра и инженерных изысканий. E-mail: dolzhenko.av@bstu.ru; da7182@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

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

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

Стойкович Ненад, PhD. E-mail: nenad.stoikovic@vtsnis.edu.rs. Высшая техническая школа профессионального образования Ниш. Республика Сербия, 18000, г. Ниш, ул. Александра Медведева 20.

Поступила в сентябре 2018 г.

© Долженко А.В., Наумов А.Е., Шевченко А.В., Стойкович Н., 2018

^{1,*}*Dolzhenko A.V.*, ¹*Naumov A.E.*, ¹*Shevchenko A.V.*, ²*Stoykovich N.*

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

²*The Higher Technical School of Professional Education Nis
Serbia, 18000, Nis, st. Alexander Medvedev, 20*

**E-mail: dolzhenko.av@bstu.ru*

INFLUENCE OF THE TANGENTIAL FORCES OF FRICTION ON STRESSED-DEFORMED STATE OF POLIMER CONCRETE PIPE OF CENTRALLY COMPRESSED SHORT ROD

Abstract. Numerical studies of the stressed-deformed state of centrally compressed short polymer concrete pipe of cylindrical struts are presented. The influence of the tangential friction forces at the concrete core layers and the plastic covering on the stressed-deformed state of the polymer concrete pipe strut in the assumption of an elastic work of the core and covering materials is analyzed. The need to conduct a research is associated with a lack of theoretical and numerical studies of tangential friction influence on the stressed-deformed state of this type of structural elements, including the classical solution with a steel covering. In this regard, mathematical modeling and creation of engineering methods to calculate the polymer concrete pipe based on a meaningful consideration of the joint work of the concrete core and the cylindrical plastic covering have significant scientific potential. The finite element modeling carried out by the authors allows to estimate the influence of friction forces on the stressed-deformed state of the plastic cylindrical covering and concrete core of the short polymer concrete pipe strut as is an insignificant. The performed calculations demonstrate fairness with engineering accuracy to use a mathematical model of a short polymer concrete pipe strut for engineering calculations and structural analysis of a construction. It is established that the use of analytical model verified by the finite element method allows to investigate the influence of physical and mechanical properties of the core and covering material of short polymer concrete pipe on the parameters of the stressed-deformed state of construction. It also provides to carry out rational design of short polymer concrete pipe elements in the structures of civil and industrial buildings with reference to the actually used and widely available materials on the market materials.

Keywords: polymer concrete pipe, pipe concrete, triaxial compression, tangential forces, friction, strength calculations of building constructions.

REFERENCES

1. Dolzhenko A., Naumov A., Shevchenko A. Bearing capacity and rigidity of short plastic-concrete-tubal vertical columns under transverse load. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 327, 2018.
2. Shahvorostov A.I. The study of the stress-strain state of the concrete on the straining cement, Diss ... Cand. tech. sciences, M, 2000.
3. Krishan A.L., Sagadatov A.I. Reinforced concrete elements with pre-compressed core - Concrete and reinforced concrete - the path of development. Proceedings of the 2nd All-Russian Conference on Concrete and Reinforced Concrete. September 5-9, 2005 v.2. M.: NIIZHB, 2005.
4. Dolzhenko A.V., Naumov A.E., Shevchenko A.V., Stoykovich N. Numerical researches of the stressed-strained state of plastic tubed concrete pier under central compression load. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 10, pp. 23–32.
5. Aleksandrov A.V., Alfotov N.A., Astanin V.V. etc. Mechanical Engineering. Encyclopedia, M.: Mechanical Engineering, 1995. 624 p.
6. Volmir A. S. Stability of elastic systems, M., 1963. 984 p.
7. Karpenko N.I. General models of reinforced concrete mechanics. M.: Stroiizdat, 1996. 416 p.
8. Filin A.P. Elements of the theory of shells. Ed. 2nd, add. and pererabat. L.: Stroyizdat, 1975, 256 p.
9. Sakino K., Nakahara H., Morino S., Nishiyama I., Behavior of centrally loaded concrete-filled steel-tube short columns. J. Struct. Eng. ASCE 2004, vol. 130(2), pp. 180–188.
10. Schneider S.P., Axially loaded concrete-filled steel tubes. J. Struct. Eng. ASCE 124, 1998, pp. 1125–1138.
11. Huang C.S., Yeh Y.K., Liu G.Y., Hu H.T., Tsai K.C., Weng Y.T., Wang S.H., Wu M.H., Axial load behavior of stiffened concrete-filled steel columns. J. Struct. Eng. ASCE, 2002, vol. 128(9), pp. 1222–1230.
12. Uy B. High-strength steel-concrete composite columns for buildings. Struct. Build, 2003, vol. 156, pp. 3–14.

Информация об авторах

Dolzhenko, Alexander V. Senior lecturer. E-mail: da7182@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

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

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

Stoykovich Nenad, PhD, Assistant professor. E-mail: nenad.stoikovic@vtsnis.edu.rs. The Higher Technical School of Professional Education Nis, Serbia. Serbia, 18000, Nis, st. Alexander Medvedev 20.

Received in September 2018

Для цитирования:

Долженко А.В., Наумов А.Е., Шевченко А.В., Стойкович Н. Влияние касательных сил трения на напряженно-деформированное состояние пластикотрубобетонного центрально-сжатого короткого стержня // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №12. С. 42–51. DOI: 10.12737/article_5c1c99553a7828.01508345

For citation:

Dolzhenko A.V., Naumov A.E., Shevchenko A.V., Stoykovich N. Influence of the tangential forces of friction on stressed-deformed state of polymer concrete pipe of centrally compressed short rod. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 12, pp. 42–51. DOI: 10.12737/article_5c1c99553a7828.01508345

DOI: 10.12737/article_5c1c995a85cd82.12056702

^{1,*}Ганджунцев М.И., ¹Филатов В.В.¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
Россия, 129337, Москва, Ярославское ш., д. 26

*E-mail: oppmtgsu2014@yandex.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТОНКИХ ИЗГИБАЕМЫХ ПЛАСТИН ПРИ ЗАДАННОЙ НЕРАВНОМЕРНОЙ ОСАДКЕ ТОЧЕК КОНТУРА

Аннотация. В статье предложена численная методика определения напряженно-деформированного состояния тонких изотропных пластин в результате кинематического воздействия. В качестве кинематического воздействия рассмотрено заданное смещение точек одного из опорных краев пластины. Такая постановка задачи может быть востребована, когда осадки опорного контура конструкции уже состоялись и величины их нам известны, но необходимо определить влияние неравномерности осадок на напряженно-деформированное состояние пластины. Решение дифференциальных уравнений получено с использованием обобщенных уравнений метода конечных разностей, позволяющих учитывать разрывы искомой функции, ее первой производной и правой части дифференциального уравнения. Алгоритм построен без использования законтурных точек. На примере расчета квадратной шарнирно опертой пластины проиллюстрирована простота методика и быстрая сходимость решения.

Ключевые слова: тонкие изотропные пластины, обобщенные уравнения метода конечных разностей, осадка опорного контура.

Введение. Неравномерная осадка зданий и сооружений в процессе эксплуатации может вызывать дополнительные напряжения в конструкциях. В работе [1] исследуется влияние неравномерных смещений фундаментов на работу решетчатых башен дымовых труб. В [2] рассмотрено изменение напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкций построенного здания в ходе его эксплуатации, с учетом зафиксированной на объекте разности осадок фундаментов. Анализируя опыт строительства на Юге России д.геол.-мин.н. проф. Б.Ф. Галай указывает: «что практически все аварии зданий и сооружений в регионе связаны с потерей несущей способности оснований...» [3]. В силу чего, совершенствование методик определения НДС элементов зданий и сооружений при кинематическом воздействии представляется актуальной задачей. Ниже приведена численная методика расчета изотропных пластин на заданные перемещения, в частности, точек контура. При этом кинематическое воздействие может рассматриваться как самостоятельная задача или совместно с действием внешних нагрузок.

Отметим также, что расчеты в [1] и [2] выполнялись в коммерческих программных комплексах на базе метода конечных элементов. Нами для решения задачи привлекаются обобщенные уравнения метода конечных разностей [4]. Многие авторы, обращая внимание на проблему достоверности и надежности численного решения, указывают на необходимость получения результатов различными методами [5, 6].

Методология. Дифференциальные уравнения поперечного изгиба тонкой изотропной пластины запишем в безразмерном виде [4]:

$$\frac{\partial^2 m}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 m}{\partial \eta^2} = -p \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial \eta^2} = -m \quad (2)$$

где $\xi = \frac{x}{a}$; $\eta = \frac{y}{a}$; $m = \frac{M}{q_0 a^2}$; $M = \frac{M_x + M_y}{1 + \mu}$;

$p = \frac{q}{q_0}$; $w = \frac{WD}{q_0 a^4}$; q_0 – интенсивность нагрузки

в какой-либо точке; μ – коэффициент Пуассона; D – цилиндрическая жесткость; a – длина одной из сторон плиты; W – прогиб. Выполнив подстановку (2) в (1) и переход к размерным величинам, получим известное дифференциальное уравнение изогнутой поверхности пластины (103) [7].

Безразмерные изгибающие моменты определяются по известным формулам:

$$\left. \begin{aligned} m^{(\xi)} &= -\left(w^{\xi\xi} + \mu w^{\eta\eta}\right); \\ m^{(\eta)} &= -\left(w^{\eta\eta} + \mu w^{\xi\xi}\right); \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где $w^{\xi\xi} = \frac{\partial^2 w}{\partial \xi^2}$; $w^{\eta\eta} = \frac{\partial^2 w}{\partial \eta^2}$; $m^{(\xi)} = \frac{M_x}{q_0 a^2}$;

$$m^{(\eta)} = \frac{M_y}{q_0 a^2}.$$

Безразмерные поперечные силы:

$$\frac{Q_x}{q_0 a} = -\frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial \eta^2} \right) = \frac{\partial m}{\partial \xi} = m^\xi;$$

$$\frac{Q_y}{q_0 a} = \frac{\partial m}{\partial \eta} = m^\eta. \quad (4)$$

Безразмерные крутящие моменты

$$m^{(\xi\eta)} = -m^{(\eta\xi)} = (1 - \mu)w^{\xi\eta}, \text{ где } w^{\xi\eta} = \frac{\partial^2 w}{\partial \xi \partial \eta}.$$

Решение системы дифференциальных уравнений (1), (2) получим, как мы указывали выше,

$$\begin{aligned} & \tilde{m}_{i-1,j} + \tilde{m}_{i,j-1} - 4\tilde{m}_{ij} + \tilde{m}_{i,j+1} + \tilde{m}_{i+1,j} + \\ & + \frac{1}{2h} ({}^{I-II} \Delta m_{ij}^\xi + {}^{III-IV} \Delta m_{ij}^\xi + {}^{I-III} \Delta m_{ij}^\eta + {}^{II-IV} \Delta m_{ij}^\eta) = (5) \\ & = -\frac{1}{4} ({}^I p_{ij} + {}^III p_{ij} + {}^II p_{ij} + {}^IV p_{ij}); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \tilde{w}_{i-1,j} + \\ & + \tilde{w}_{i,j-1} - 4\tilde{w}_{ij} + \tilde{w}_{i,j+1} + \end{aligned} \quad (6)$$

$$+ \tilde{w}_{i+1,j} = -\tilde{m}_{ij},$$

$$\text{где } \tilde{m} = \frac{m}{h^2}; \quad \tilde{w} = \frac{w}{h^4}; \quad (7)$$

h – шаг расчетной сетки; верхние левые индексы обозначают номер элемента примыкающего к точке i, j (рис. 1).

с привлечением обобщенных уравнений метода конечных разностей, хорошо себя зарекомендовавших при расчете оболочек, пластин тонких и средней толщины на статические и динамические нагрузки, а также на упругом основании [4, 8–12].

Разностные уравнения, аппроксимирующие (1) и (2) запишем по [4] на квадратной сетке для случая непрерывных m и w . Будем учитывать только разрывы распределенной нагрузки и первых частных производных m , моделирующих полосовые нагрузки

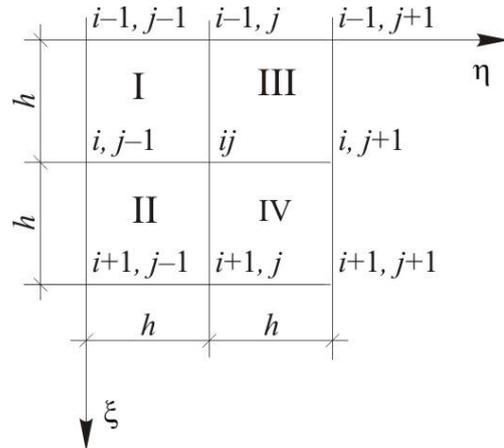


Рис. 1. Элемент, примыкающий к расчетной точке

Основная часть. Уравнения (5), (6) записываются для каждой регулярной точки совместно с уравнениями аппроксимирующими краевые условия. При этом законтурные точки не используются. Решая, полученную таким образом, систему алгебраических уравнений определяем значения \tilde{m} и \tilde{w} в каждой расчетной точке. По известным значениям прогибов вычисляются вторые частные производные

$$w_{ij}^{\xi\xi} = h^2 (\tilde{w}_{i-1,j} - 2\tilde{w}_{ij} + \tilde{w}_{i+1,j}) \quad w_{ij}^{\eta\eta} = h^2 (\tilde{w}_{i,j-1} - 2\tilde{w}_{ij} + \tilde{w}_{i,j+1}) \quad (8)$$

После чего по (3) – значения моментов по направлениям ξ и η .

Учет краевых условий рассмотрен в [4]. Здесь подробнее остановимся на получении разностного аналога для левого шарнирного края ($\eta=0$) при заданной осадке его точек $w_{i,0}$. Из условия $m^{(\eta)} = 0$ [4] и второго уравнения (3) следует

$$w^{\eta\eta} = -\mu w^{\xi\xi} \quad (9)$$

Подставляя (9) в (2) и учитывая первое выражение (8) получим

$$\tilde{m}_{i,j} = -\frac{(1-\mu)}{h^2} w^{\xi\xi} = -(1-\mu)(\tilde{w}_{i-1,j} - 2\tilde{w}_{ij} + \tilde{w}_{i+1,j}) \quad (10)$$

В качестве иллюстрации методики рассмотрим пример расчета квадратной шарнирно опертой пластины при заданной осадке ее левого

края, без выяснения причин ее вызвавших, по закону $w = w_0 \sin(\pi\xi)$ (рис.2).

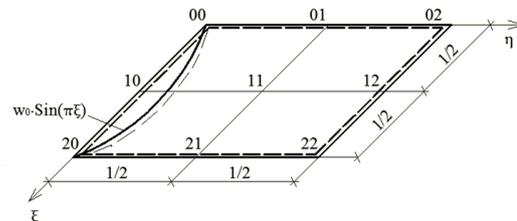


Рис. 2. Заданная осадка левого края пластины

Покажем ход решения на минимальной расчетной сетке с шагом $h = \frac{1}{2}$. Коэффициент Пуассона $\mu = 0.3$. Примем значение перемещения в

точке 10 равным единице, тогда закон изменения осадок по левому краю примет вид $w = \sin(\pi\xi)$.

В этом случае $w_{10}^{\xi\xi} = -\pi^2 \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) = -9.87$. Если

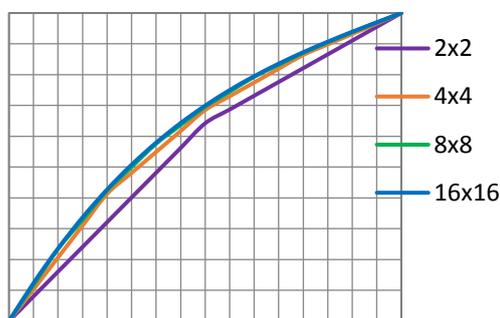
осадка левого края задана не аналитически, а значениями перемещений точек края, то вторая частная производная от функции прогибов вычисляется по (8). Запишем уравнения для точки 10: по (7) $\tilde{w}_{10} = \frac{1}{0.5^4} = 16$; по (10)

$\tilde{m}_{1,0} = -\frac{(1-0.3)}{0.5^2}(-9.87) = 27.636$. Для точки 11 запишем уравнения (5) и (6), учитывая найденные значения \tilde{W}_{10} и $\tilde{m}_{1,0}$: $27.636 - 4\tilde{m}_{1,1} = 0$; $16 - 4\tilde{w}_{1,1} = -\tilde{m}_{1,1}$. Откуда $\tilde{m}_{1,1} = 6.909$ и $\tilde{w}_{1,1} = 5.727$. По (7) $w_{11} = 5.727 \frac{1}{2^4} = 0.358$.

Используя (8), найдем $w_{1,1}^{\xi\xi} = \frac{1}{2^2}(0 - 2 \cdot 5.727 + 0) = -2.879$;

а

в



б

в

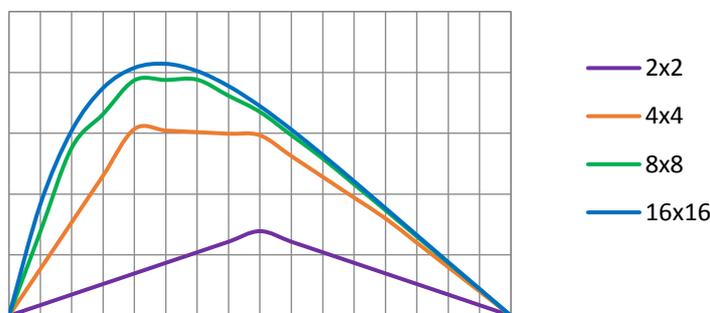


Рис. 4. Эпюры прогибов (а), изгибающих моментов в направлении ξ (б) и в направлении η (в)

Выводы. Эффективность применения обобщенных уравнений МКР при расчете балок, тонких пластин, пластин средней толщины, изотроп-

$w_{1,1}^{\eta\eta} = \frac{1}{2^2}(16 - 2 \cdot 5.727 + 0) = 1.137$. Значения безразмерных моментов по направлениям ξ и η вычислим по (3)

$$m_{1,1}^{\xi\xi} = -(-2.879 + 0.3 \cdot 1.137) = 2.538,$$

$$m_{1,1}^{\eta\eta} = -(1.137 - 0.3 \cdot 2.879) = -0.273.$$

$$m_{1,0}^{\xi\xi} = -(1 - \mu^2)w_{1,0}^{\xi\xi} = -(1 - 0.09)(-9.87) = 8.982.$$

На рис.3 показана рассчитываемая плита с нанесенной сеткой 16x16 и нумерацией характерных сечений.

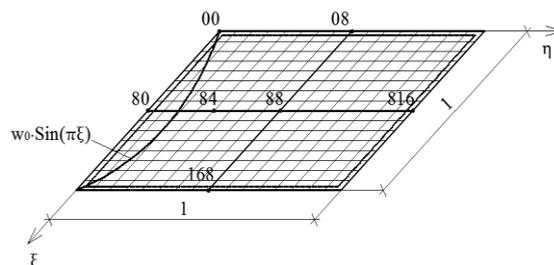


Рис. 3. Плита с сеткой 16×16

Решения, полученные на вложенных одна в другую сетках, приведены на рис. 4 а, б, в.

б

ных и анизотропных, оболочек на действие статических и динамических нагрузок продемонстрирована в работах [4, 8–12]. Простота алго-

ритма, быстрая сходимость решения, возможность получения результатов при использовании простейших вычислительных средств позволяют рекомендовать методику к использованию в инженерной практике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Губанов В.В., Голиков А.В. Влияние неравномерных смещений фундаментов на работу решетчатых башен дымовых труб // Металлические конструкции. 2015. Т. 21. №4. С. 177–189.
2. Бартоломей М.Л. Численный анализ процесса развития трещин при неравномерных осадках сооружения // Вычислительная механика сплошных сред. 2012. Т. 5. №12. С. 217–224.
3. Галай Б.Ф., Сербин В.В. Аварии зданий и сооружений, построенных на свайных фундаментах в просадочных грунтах юга России // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2014. №6. С. 20–26.
4. Габбасов Р.Ф., Габбасов А.Р., Филатов В.В. Численное построение разрывных решений задач строительной механики. М.: АСВ. 2008. 280 с.
5. Игнатьев А.В., Игнатьев В.А., Онищенко Е.В. Решение геометрически нелинейных задач статики шарнирно-стержневых систем на основе метода конечных элементов в форме классического смешанного метода // Вестник МГСУ. 2016. №2. С. 20–33.
6. Кургузов В.Д. Численные процедуры решения геометрически нелинейных задач механики деформируемого твердого тела // Вычислительные технологии. 2009. Т. 14, №4. С. 70–80.
7. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки. Пер. с англ. М.: Наука, 1966. 635 с.
8. Габбасов Р.Ф., Уварова Н.Б. Применение обобщенных уравнений метода конечных разностей к расчету плит на упругом основании // Вестник МГСУ. 2012. №4. С. 102–107.
9. Габбасов Р.Ф., Хоанг Туан Ань, Шикун М.А. Обобщенные уравнения метода конечных разностей в задачах расчета тонких изгибаемых плит на динамические нагрузки // Вестник МГСУ. 2014. №9. С. 32–38.
10. Габбасов Р.Ф., Хоанг Туан Ань. Расчет изгибаемых пластин средней толщины на динамические нагрузки с использованием обобщенных уравнений метода конечных разностей // Вестник МГСУ. 2014. №10. С. 16–23.
11. Габбасов Р.Ф., Хоанг Туан Ань, Нгуен Хоанг Ань. Сравнение результатов расчета тонких изгибаемых плит с использованием обобщенных уравнений методов конечных разностей и последовательных аппроксимаций // Промышленное и гражданское строительство. 2014. №1. С. 62–64.
12. Журавлева Е.Н., Габбасов Р.Ф., Нгуен Хоанг Ань, Хоанг Туан Ань. Численное решение циклически симметричной задачи по расчету круговой цилиндрической оболочки // Промышленное и гражданское строительство. 2015. №6. С. 10–14.

Информация об авторах

Ганджунцев Михаил Иоакимович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительной и теоретической механики. E-mail: oppmgsu2014@yandex.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, Ярославское ш., д. 26.

Филатов Владимир Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры строительной и теоретической механики. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, Ярославское ш., д. 26.

Поступила в марте 2018 г.

© Ганджунцев М.И., Филатов В.В., 2018

^{1,*}Gandjountsev M.I., ¹Filatov V.V.

¹Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)

Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26

*E-mail: oppmgsu2014@yandex.ru

DETERMINATION OF THE STRESSED-DEFORMED STATE OF THIN BINDING PLATES UNDER THE SPECIFIED UNEVEN LOADING OF EDGE POINTS

Abstract. The paper proposes a numerical technique for determining the stress-deformed state of thin isotropic plates subjected to kinematic excitation. As a kinematic effect, a predetermined displacement of the points of one of plate's supporting edges is considered. Such a statement of the problem can be claimed when

the sediments of the supporting contour of the structure have already taken place and their values are known. It is necessary to determine the effect of sediments' unevenness on the stressed-deformed state of the plate. The solution of differential equations is obtained using generalized equations of the finite differences method, allowing to take into account the discontinuities of the required function, its first derivative and the right-hand side of the differential equation. The algorithm is constructed without the use of boundary points. On the example of calculating the square hinged plate, the simplicity of the technique and the rapid convergence of the solution are illustrated.

Keywords: thin isotropic plates, generalized equations of finite differences method, sediment of the support contour.

REFERENCES

1. Gubanov V.V., Golikov A.V. Influence of uneven displacements of foundations on the operation of lattice chimney towers. Metal structures, 2015, vol. 21, no. 4, pp. 177–189.
2. Bartolomey M.L. Numerical analysis of the development of cracks in the case of non-uniform sludge of the structure. Computational mechanics of continuous media, 2012, vol. 5, no. 12, pp. 217–224.
3. Galai B.F., Serbin V.V. Accidents of buildings and structures built on pile foundations in subsidence grounds in the south of Russia. Bulletin of the North Caucasus Federal University, 2014, no. 6, pp. 20–26.
4. Gabbasov R.F., Gabbasov A.R., Filatov V.V. Numerical construction of discontinuous solutions to the problems of structural mechanics. M.:ASV, 2008, 280 p.
5. Ignatiev A.V., Ignatiev V.A., Onischenko E.V. Solution of geometrically nonlinear problems of the statics of hinged-rod systems on the basis of the finite element method in the form of a classical mixed method. Bulletin of MGSU, 2016, no. 2. pp. 20–33.
6. Kurguzov V.D. Numerical procedures for solving geometrically nonlinear problems of mechanics of a deformable solid. Computational technologies, 2009, vol. 14, no. 4, pp. 70–80.
7. Timoshenko S.P., Voinovsky-Krieger S. Plates and shells. M.: Nauka, 1966, 635 p.
8. Gabbasov R.F., Uvarova N.B. Application of generalized equations of the method of finite differences to the calculation of plates on an elastic foundation. Bulletin of MGSU, 2012, no. 4, pp. 102–107.
9. Gabbasov R.F., Hoang Tuan An, Shikunov M.A. Generalized equations of the method of finite differences in the problems of calculating thin bent plates for dynamic loads. Bulletin of MGSU, 2014, no. 9, pp. 32–38.
10. Gabbasov R.F., Hoang Tuan Anh. Calculation of bent plates of medium thickness on dynamic loads using generalized equations of the method of finite differences. Bulletin of MGSU, 2014, no. 10. pp. 16–23.
11. Gabbasov R.F., Hoang Tuan An, Nguyen Hoang Anh. Comparison of the results of calculating thin bent plates using generalized equations of finite difference methods and successive approximations. Industrial and civil engineering, 2014. vol 1, pp. 62–64.
12. Zhuravleva E.N., Gabbasov R.F., Nguyen Hoang An, Hoang Tuan Anh. Numerical solution of a cyclically symmetric problem for the calculation of a circular cylindrical shell. Industrial and Civil Engineering, 2015, no. 6, pp. 10–14.

Information about the authors

Gandjountsev, Michail I. PhD, Assistant professor. E-mail: oppmgsu2014@yandex.ru. Moscow State (National Research) University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26.

Filatov, Vladimir V. DSc, Professor. Moscow State (National Research) University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26.

Received in March 2018

Для цитирования:

Ганджунцев М.И., Филатов В.В. Определение напряженно-деформированного состояния тонких изгибаемых пластин при заданной неравномерной осадке точек контура // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №12. С. 52–56. DOI: 10.12737/article_5c1c995a85cd82.12056702

For citation:

Gandjountsev M.I., Filatov V.V. Determination of the stressed-deformed state of thin binding plates under the specified uneven loading of edge points. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 12, pp. 52–56. DOI: 10.12737/article_5c1c995a85cd82.12056702

DOI: 10.12737/article_5c1c995c7f4e35.90271716

^{1,*}Киреев В.М., ¹Минко В.А., ¹Гольцов А.Б., ¹Болгов А.И.¹Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

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

*E-mail: vit31rus@mail.ru; kireev.vm@bstu.ru

РЕЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ АСПИРАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭФФЕКТА КОАНДА

Аннотация. Системы аспирации, позволяющие обеспыливать процессы перегрузки на различных предприятиях, на сегодняшний день весьма энергоёмки. Данные системы определяют требуемую производительность всего комплекса обеспыливания: общеобменной вентиляции, вакуумной пылеуборки. Энергопотребление всего комплекса обеспыливания достигает 20 % всех оборотных средств предприятия что в свою очередь отражается на его конкурентоспособности и себестоимости выпускаемой продукции. Основная причина пылеобразования в процессе перегрузки является возникновение эжекции воздуха падающим материалом. Одним из известных способов снижения требуемой производительности систем аспирации является использование принципа рециркуляции эжектируемого воздуха. В статье предлагается эффективный способ снижения энергоёмкости аспирационных систем за счет рециркуляционной системы с использованием эффекта Коанда. В статье представлены результаты исследования, позволяющие оценить эффективность предлагаемого технического решения, а также данные, необходимые при его проектировании.

Ключевые слова: обеспыливающая вентиляция, энергоэффективность, аспирационная система, рециркуляция, эффект Коанда, перегрузка сыпучих материалов.

Введение. Различные технологические процессы производства и переработки сыпучих материалов во многих отраслях промышленности (строительной, горнорудной, металлургической, угольной и др.) сопровождаются интенсивным выделением пыли в область рабочей зоны [1, 2]. Под влиянием данной пыли возникают различные профзаболевания. Основной причиной распространения пыли является эжекция – увлечение воздуха потоком сыпучего перегружаемого материала [3, 4].

Наиболее эффективным способом борьбы с пылевыведением являются системы комплексного обеспыливания, которые включают в себя системы аспирации, средства борьбы с вторичным пылевыведением и общеобменную вентиляцию. Следует отметить, что именно система аспирации в данном комплексе определяет требуемую производительность остальных систем обеспыливания а, следовательно, и их энергоёмкость.

Актуальность. По результатам ряда исследований известно, что на эксплуатацию систем обеспыливания на ряде предприятий тратится до 20 % всех оборотных средств [5, 6], что влияет на его конкурентоспособность. Причиной этого, в первую очередь, является использование неэффективных технических решений и ошибки, допущенные при их проектировании. К примеру, на подавляющем большинстве предприятий продолжается использование аспирационных укрытий с одинарными стенками, хотя они обладают крайне низкой пылеочистой способностью и требуют значительной требуемой производительности системы [6].

Одним из перспективных направлений снижения энергоёмкости аспирационных систем, наряду с использованием модернизированных аспирационных укрытий [6–8], является использование принципа рециркуляции [9, 10]. Рециркуляция подразумевает подачу части аспирируемого воздуха непосредственно в перегрузочный желоб рис 1, а. Рециркуляционный воздух компенсирует расход воздуха, который эжектируется перегружаемым материалом, существенно снижая тем самым энергозатраты, связанные с очисткой аспирируемого воздуха. При разработке рассматриваемого узла предпочтительно, чтобы рециркуляционный воздух создавал наибольшее аэродинамическое сопротивление эжектируемому воздуху.

Известны некоторые конструкции аспирационных систем, использующие принцип принудительной рециркуляции [10, 11], однако они имеют ряд некоторых недостатков. В связи с этим авторами проведены исследования, на основании которых был усовершенствован узел подачи аспирационного воздуха в перегрузочный желоб принудительной рециркуляции, используя эффект Коанда [12].

Постановка задачи. Методы расчета.

Известно [6], что энергоёмкость аспирационных систем характеризуется их требуемой производительностью по удаляемому воздуху. На минимальные объёмы удаляемого воздуха влияет аэродинамическое сопротивление системы верхнее аспирационное укрытие- перегрузочный желоб- нижнее аспирационное укрытие.

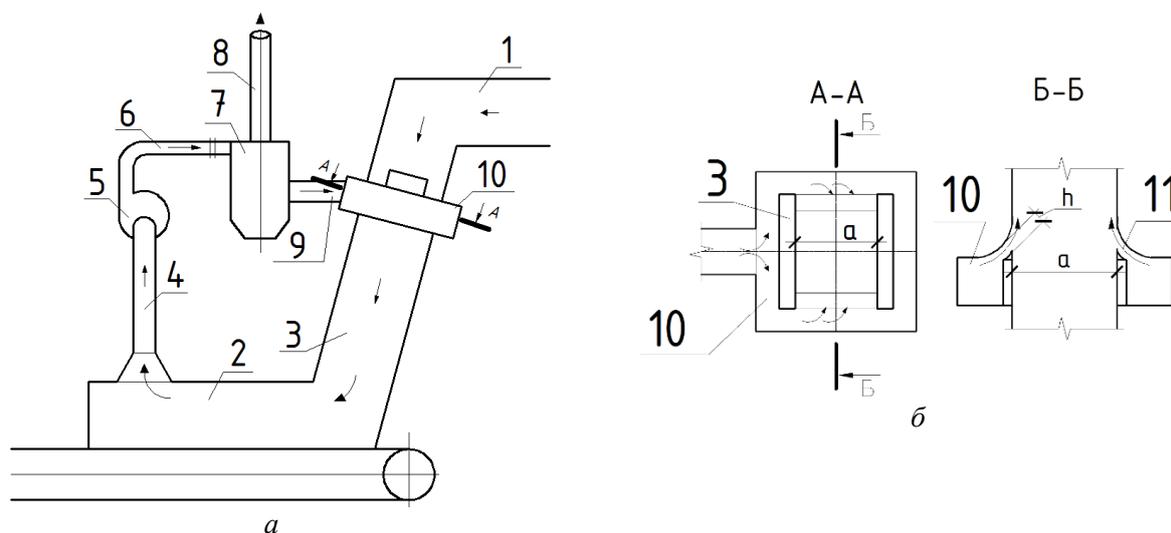


Рис. 1. Принципиальная схема аспирационной системы с принудительной рециркуляцией: 1 – верхнее аспирационное укрытие; 2 – нижнее укрытие; 3 – перегрузочный желоб; 4 – аспирационный патрубок; 5 – вентилятор; 6 – напорный патрубок; 7 – аппарат пылеочистки (циклон-пылеканцентратор); 8 – отвод очищенного воздуха; 9 – обводная труба; 10 – распределитель воздушно- пылевого концентрата; 11 – коандовские воздушные каналы

Низкое сопротивление системы приводит к увеличенной требуемой производительности системы, а, следовательно, к её повышенному энергопотреблению.

В работе [10] установлено, что снижение потерь давления в тракте – «верхнее укрытие – желоб – нижнее укрытие» ведет к росту объема воздуха, перемещающегося по желобу, при любом месте и способе подачи рециркуляционного потока, если он не создает дополнительного гидравлического сопротивления (помех) на пути движения эжектируемого потока воздуха. На основании сделанных выводов был предложен способ подачи рециркуляционного воздуха, обеспечивающий повышение гидравлического сопротивления перегрузочного желоба, продемонстрированного на Рис. 1, б. Повышение аэродинамического сопротивления в предлагаемой конструкции достигается использованием в ней эффекта Коанда [13, 14] при подаче рециркуляционного воздуха в перегрузочный желоб.

Представленная аспирационная система работает следующим образом. Для обеспечения санитарно-гигиенических условий мест перегрузки сыпучего материала, т.е. не выбивания воздушного запыленного потока, из нижнего укрытия 2 вентилятором 5 через аспирационный патрубок 4 отсасывается воздух, который поступает по напорному патрубку 6 на вход пылеочистительного приспособления 7 для выделения воздушно-пылевого концентрата. Очищенный воздух по патрубку 8 поступает в атмосферу или в следующую ступень очистки, а воздушно-пылевой концентрат благодаря обводной трубе 9 отводится в распределитель 10 воздушно-пылевого концентрата. Распределитель 10 воздушно-пылевого

концентрата, выполненный в виде кольцевой камеры, обеспечивает подачу воздушно-пылевого концентрата в желоб 3 через Коандовские воздушные каналы 11. При этом за счет особой формы Коандовских воздушных каналов 11, обеспечивающей возникновение эффекта Коанда, поток воздушно-пылевого концентрата «прилипает» к желобу, что позволяет увеличить угол между направлениями движения воздушно-пылевого концентрата и воздушного запыленного потока, движущегося в течке. Это объясняется тем, что, с одной стороны, струи воздушно-пылевого концентрата поверхность течки 3 препятствует свободному поступлению воздушного запыленного потока, а, с другой стороны, струи увлекается часть воздушного запыленного потока. В результате чего повышается аэродинамическое сопротивление системы, что обеспечивает снижение расхода воздуха.

Исследование эффективности работы предлагаемой конструкции было произведено с использованием программного комплекса COSMOSFloWorks [15]. При работе данного комплекса используются уравнения неразрывности; Навье-Стокса и энергии стационарного пространственного течения в соответствии с $k-\epsilon$ моделью турбулентности.

Целью численного эксперимента являлось определение оптимальных геометрических и аэродинамических параметров разработанного узла при условии минимального энергопотребления.

В процессе исследования работы решалась внутренняя задача движения воздуха в полости вертикального желоба (высота 1000 мм от верх-

ней до нижней кромки). Для решения данной задачи принимались начальные (физические параметры среды, характерные для нормальных условий) и граничные условия исследуемой модели. В качестве граничных условий были приняты (рис. 2): 1 – свободная поверхность, давление 101325 Па, 2 – стенки аспирационного укрытия, 3 – вход рециркуляционного воздуха в аспирационное укрытие, 4 – свободная поверхность, 101305 Па. В качестве критерия эффективности был принят параметр расхода эжектируемого воздуха $Q_{ж}$ через поверхность 4.

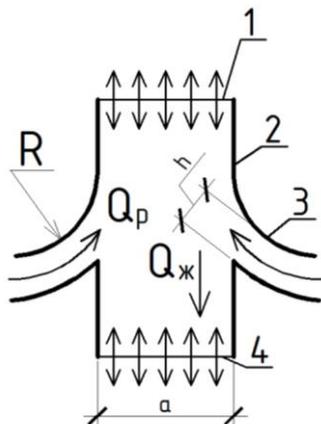


Рис. 2. Граничные условия численного эксперимента: 1 – поверхность входа эжектируемого потока (давление 101325 Па), 2 – стенка аспирационного укрытия, 3 – вход рециркуляционного воздуха в аспирационное укрытие, 4 – поверхность выхода эжектируемого потока (давление 101305 Па)

Результаты исследования и их обсуждение. В ходе проведения эксперимента были выявлены факторы, влияющие на работу рассматриваемой конструкции: радиус закругления Коандовского канала R ; скорость подаваемого воздуха в сечении Коандовского канала V ; высота Коандовского канала h ; ширина перегрузочного желоба a . Исследования проводились при разности давлений (ΔP) между поверхностями 1 и 4 (рис. 2) в 20 Па, что справедливо для большинства случаев перегрузок.

Некоторые графические результаты проведенного исследования представлены на рис. 3. Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что при определенном аэродинамическом режиме работы конструкции (рис. 3, а) возникают устойчивые вихри в поперечном сечении желоба, приводящие к значительному снижению расхода эжектируемого воздуха. Данный режим возникает при скорости воздуха $V=15$ м/с и радиусом закругления внутренней кромки канала 160 мм. При более низкой скорости подаваемого воздуха $V=10$ м/с (рис. 3, б) наблюдается

увлечение потока эжекционным воздухом, что не дает должного эффекта.

В ходе исследования также рассматривались варианты с изменением высоты Коандовского канала h , (рис. 3, г.). Было отмечено, что при увеличении высоты канала h с 15 мм до 40 мм, но при более низкой скорости $V=8$ м/с, несмотря на более высокий расход подаваемого воздуха в 1,4 раза, не возникает интенсивной зоны вихреобразования, как в случае а, а расход воздуха, поступающий в укрытие, увеличивается. Таким образом, можно сделать вывод, что именно режим работы в случае а позволит полностью реализовать возможности предлагаемой конструкции.

На основании дальнейшего проведенного исследования и обработки полученных данных было установлено, что наиболее эффективная устойчивая работа распределителя возникает при следующих геометрических параметрах:

$$\frac{R}{a} = 1,8...2,1 \quad (1)$$

$$\frac{h}{R} = 0,09...0,11 \quad (2)$$

$$V = 13...16 \text{ м/с.}$$

В зависимостях (1, 2) были использованы отношения геометрических параметров для соблюдения геометрического и аэродинамического подобия в конструкциях других размеров.

В результате исследования было установлено, что использование рассматриваемой конструкции позволяет снизить до 80 % объемы эжектируемого воздуха по отношению к системам без рециркуляции и до 50 % по отношению к аналогичным конструкциям [10, 11]. Учитывая, что даже малое предприятие имеет, как правило, в своем составе несколько систем аспирации, то эффект от внедрения предлагаемого способа подачи является весьма внушительным.

Выводы. Предлагаемый способ организации рециркуляционного потока позволяет за счет снижения объемов аспирируемого воздуха снизить потребляемую мощность вентилятора системы и, следовательно, расход электроэнергии.

Наряду с чисто экономической целесообразностью, использование рециркуляционных систем аспирации позволяет снизить и экологический ущерб, наносимый окружающей среде.

Подачу рециркуляционной струи в загрузочный канал следует осуществлять, используя предлагаемую конструкцию, соблюдая все вышеизложенные рекомендации. В этом случае предприятие значительно сократит затраты на содержание систем обеспыливания, повысив энергоэффективность производства.

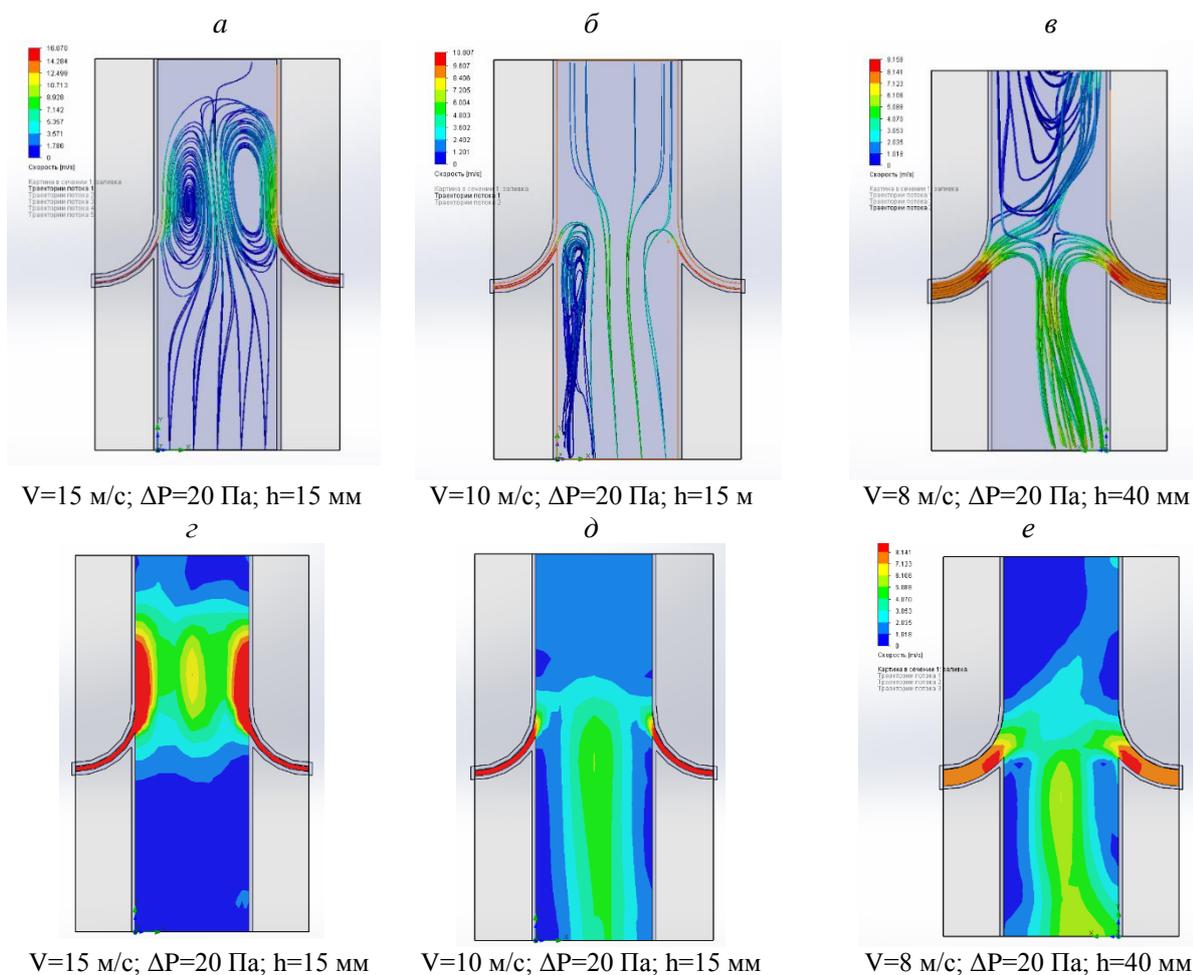


Рис. 3. Частичные графические результаты численного эксперимента разработанной конструкции:
 а, б, в – линии тока, г, д, е – соответствующие поля скоростей

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Минко В.А. Обеспыливание технологических процессов производства строительных материалов. Воронеж: ВГУ, 1981. 176 С.
2. Logachev I.N., Logachev K.I. Industrial air quality and ventilation: controlling dust emissions. Boca Raton: CRC Press, 2014, 417 p.
3. Минко В.А., Логачев И.Н., Логачев И.Н. и др. Обеспыливающая вентиляция. Т.1: монография // под общ. ред. В.А. Минко. Белгород: Изд-во БГТУ, 2006. 460 С.
4. Минко В.А., Кулешов М.И., Плотникова Л.В. и др. Обеспыливание в литейных цехах машиностроительных предприятий. М.: Машиностроение, 1987. 224 С.
5. Киреев В.М., Гольцов А.Б., Минко В.А. Расчет и разработка аспирационных укрытий мест перегрузок // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. №3. С. 114–117.

6. Обеспыливающая вентиляция. Монография (том 2). Монография под общ. ред. В.А. Минко. Белгород: Изд-во БГТУ. 2010. 565 С.
7. Пат. (19) RU11 9743813 U1 Российская Федерация, 51 МПК E21F 5/00 (2006.01). Аспирационное укрытие мест перегрузки сыпучего материала. Киреев В.М. и др.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г.– заявка 2010114489/03 заявл. 12.04.2010; опубл. 10.09.2010, Бюл. №25. 2 с.
8. Киреев В.М., Гольцов А.Б., Киреев В.М., Феоктистов А.Ю. Исследование конструкции аспирационного укрытия для применения в стеснённых условиях // Экология промышленного производства. 2013. №1 (81). С. 2–5.
9. Logachev I.N., Logachev K.I., Averkova O.A. Local Exhaust Ventilation: Aerodynamic Processes and Calculations of Dust Emissions. Boca Raton: CRC Press, 2015.
10. Овсянников Ю.Г., Алифанова А.И. Аспирационные системы с принудительной рециркуляцией: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013, 137 с.

11. Ovsyannikov Y.G., Gol'tsov A.B., Seminenko A.S., Logachev K.I., Uvarov V.A. Reducing the power consumption of ventilation systems through forced recirculation // *Refractories and Industrial Ceramics*. 2017. Т. 57. № 5. Pp. 557–561

12. Патент RU 177236 Российская федерация. Укрытие с рециркуляцией аспирационного воздуха/ Овсянников Ю.Г., Гольцов А.Б., Киреев В.М. и др.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. №: 2017112163, подано. 04.10.2017, опублик. 02/14/2018.

13. Семиненко А.С. Экспериментальные установки для определения условий реализации коандовских течений // *Вестник БГТУ им. В.Г.*

Шухова. 2018. №3. С. 52–59.

14. Logachev I.N., Logachev K.I., Uvarov V.A., Seminenko A.S., Goltsov A.B., Kireev V.M. Velocity field for fan weakly swirled jet of loading spouts for fine materials // *International Journal of Pharmacy and Technology*. 2016. Т. 8. № 4. С. 24880.

15. Киреев В.М., Минко В.А., Логачёв И.Н. Использование программных комплексов при исследовании работы аспирационных укрытий/ Энергосбережение и экология в жилищно-коммунальном хозяйстве и строительстве городов: междунар. науч.-практ. конф. // Белгор. гос. технол. ун-т. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. С. 45–49.

Информация об авторах

Киреев Виталий Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: vit31rus@mail.ru, kireev.vm@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Минко Всеволод Афанасьевич, доктор технических наук, профессор. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Гольцов Александр Борисович, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: abgolcov@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Болгов Андрей Игоревич, магистрант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в сентябре 2018 г.

© Киреев В.М., Минко В.А., Гольцов А.Б., Болгов А.И., 2018

^{1,*}Kireev V.M., ¹Minko V.A., ¹Goltsov A.B., ¹Bolgov A.I.

¹Belgorod State Technological University n. a. V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, St. Kostyukova, 46

*E-mail: vit31rus@mail.ru, kireev.vm@bstu.ru

RECIRCULATION ENERGY EFFICIENT ASPIRATION SYSTEMS WITH THE USE OF THE COANDA EFFECT

Abstract. Today, aspiration systems, that allow dedusting overload processes at various enterprises, are very energy intensive. These systems determine the required performance of the entire dedusting complex: general ventilation, vacuum dust removal. Energy consumption of the entire dedusting complex reaches 20 % of the total working capital of the enterprise, which in turn affects its competitiveness and cost of products. The main cause of dust formation during the overload process is the occurrence of air ejection by the falling material. Using the principle of ejected air recycling is one of the known ways to reduce the required performance of aspiration systems. The article proposes an effective way to reduce the energy intensity of aspiration systems due to the recirculation system using the Coanda effect. The operation of the system is organized in such a way that a part of the exhaust air from the shelter is fed into the transshipment chute, through an opening allowing the use of the Coanda effect. Thus, the supplied air moves in the opposite direction to the ejection one, creates aerodynamic resistance and reduces its volume. It significantly reduces the energy intensity of the system. The article presents the results of the study, allowing to evaluate the effectiveness of the proposed technical solution, as well as the data necessary for its design.

Keywords: dedusting ventilation, energy efficiency, aspiration system, recycling, Coanda effect, bulk material overload.

REFERENCES

1. Minko V.A. Dust removal of technological

processes of production of building materials. Voronezh: VSU. 1981, 176 p.

2. Logachev I.N., Logachev K.I. Industrial air quality and ventilation: controlling dust emissions. Boca Raton: CRC Press. 2014, 417 p.
3. Minko V.A., Logachev I.N., Logachev I.N. and others. Dust-free ventilation. T.1: monograph // under total. ed. V.A. Minko. Belgorod: BGTU publishing house, 2006, 460 p.
4. Minko V.A., Kuleshov M.I., Plotnikova L.V. and others. Dust removal in foundry shops of machine-building enterprises. M.: Mashinostroenie. 1987, 224 p.
5. Kireev V.M., Goltsov A.B., Minko V.A. Calculation and development of aspiration shelters for overload sites. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2010, no. 3, pp. 114–117.
6. Dust removal ventilation. Monograph (Volume 2). Monograph under total. ed. V.A. Minko. Belgorod: BGTU publishing house, 2010, 565 p.
7. Kireev V.M., 2010. Aspiration shelter beds overload of bulk material. Patent RU no. RU11 9743813 U1.
8. Kireev V.M. Investigation of the design of the aspiration shelter for use in cramped conditions / Goltsov A.B., Kireev V.M., Feoktistov A.Yu. Scientific-practical. Ecology of Industrial Production, 2013, no. 1 (81), pp. 2–5.
9. Logachev I.N., Logachev K.I., Averkova O.A. Local Exhaust Ventilation: Aerodynamic Processes and Calculations of Dust Emissions. Boca Raton: CRC Press. 2015.
10. Ovsyannikov Yu.G., Alifanova A.I. Aspiration systems with forced recirculation: monograph. Belgorod: BSTU Publishing House. 2013, 137 p.
11. Ovsyannikov Y.G., Goltsov A.B., Semenenko A.S., Logachev K.I., Uvarov V.A. Reducing the power consumption of ventilation systems through forced recirculation. Refractories and Industrial Ceramics, 2017, vol. 57, no. 5, pp. 557–561.
12. Patent 177236 RF Ovsyannikov Yu.G., Goltsov AB, Semenenko AS, Kireev VM, Burianov IA, Zhilina SS. Shelter with recirculation of aspirated air / No. : 2017112163, filed. 10/04/2017, publ. 02/14/2018.
13. Semenenko A.S. Experimental facilities for determining the conditions for the implementation of the Coanda current. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 3, pp. 52–59.
14. Logachev I.N., Logachev K.I., Uvarov V.A., Semenenko A.S., Goltsov A.B., Kireev V.M. Velocity field for fan weakly swirled jet of loading spouts for fine materials. International Journal of Pharmacy and Technology, 2016, vol. 8, no. 4, p. 24880.
15. Kireev V.M., Minko V.A., Logachev I.N. The use of software systems in the study of the work of aspiration shelters. Energy Saving and Ecology in Housing and Communal Services and City Construction: Int. scientific-practical conf. Belgor. state technol. un-t Belgorod: BGTU publishing house, 2012, pp. 45–49.

Information about the author

Kireev, Vitaly M. PhD, Assistant professor. E-mail: vit31rus@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Minko, Vsevolod A. DSc, Professor. E-mail: kireev.vm@bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Goltsov, Alexander B. PhD, Assistant professor. E-mail abgolcov@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Bolgov, Andrei I. graduate student of the department of Heat and Gas Supply and Ventilation. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in September 2018

Для цитирования:

Киреев В.М., Минко В.А., Гольцов А.Б., Болгов А.И. Рециркуляционные энергоэффективные системы аспирации с использованием эффекта Коанда // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №12. С. 57–62. DOI: 10.12737/article_5c1c995c7f4e35.90271716

For citation:

Kireev V.M., Minko V.A., Goltsov A.B., Bolgov A.I. Recirculation energy efficient aspiration systems with the use of the coanda effect. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 12, pp. 57–62. DOI: 10.12737/article_5c1c995c7f4e35.90271716

DOI: 10.12737/article_5c1c995f0b24c9.85544603

^{1,*}Семиненко А.С., ²Уляшева В.М.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46²Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4

*E-mail: seminenko.as@bstu.ru

ПОВЕДЕНИЕ ЧАСТИЦ ПОРОШКООБРАЗНОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ПНЕВМОТРАНСПОРТНОЙ ЗАГРУЗКЕ

Аннотация. Эффективность и энергоемкость работы систем аспирации зависят от эксплуатационных режимов оборудования, устанавливаемых в соответствии с характеристиками аспирационного потока, количественного и качественного состава пылевых частиц. Поэтому при проектировании энергоэффективных систем обеспыливания необходимо учитывать изменяющиеся траектории в полости технологических емкостей. Прогнозировать поведение частиц, определяя их оседание, либо увлечение аспирационным потоком. В работе приведены расчетные уравнения для построения траекторий пылевых частиц в зависимости от геометрических характеристик бункера и загрузочного устройства, а также физических параметров пневмотранспортного потока. Для точного учета поведения частиц в поле скоростей пневмотранспортного потока учтены, как продольная, окружная составляющие скорости, так и поперечная. В качестве исходных уравнений, приняты классические решения автотельных движений в турбулентных струях, преобразованные в систему дифференциальных уравнений в обычных производных. Показан листинг программы в универсальной математической среде Maple и графический результат расчета для частиц различной крупности: 5, 10 и 15 мкм при движении в условиях не полной веерной струи, формируемой в узле загрузки. Определена рациональность настроек загрузочного устройства, обеспечивающих траектории движения пневмотранспортного потока.

Ключевые слова: обеспыливание, энергоэффективность, траектория пылевых частиц, моделирование, проектирование.

Введение. Для снижения пылевыделения в рабочую зону от мест перегрузки порошкообразных материалов технологические емкости оснащаются системой обеспыливания (аспирации) [1, 2]. Эффективность и энергоемкость работы системы [3, 4] зависит от корректно подобранного, в соответствии с характеристиками аспирационного потока, состава оборудования [5, 6] и его эксплуатационного режима [7]. Пневмотранспортная загрузка материала характеризуется повышенной концентрацией пылевых частиц в емкости [8, 9]. Это объясняется значительным увеличением скорости движения и взаимодействием загружаемого потока и складированного (уложенного) материала [10, 11]. Поэтому при проектировании энергоэффективных систем обеспыливания необходимо учитывать изменяющиеся траектории пылевых частиц в полости технологических емкостей.

Методология. Для точного учета поведения частиц в поле скоростей пневмотранспортного потока необходимо учитывать, как продольную, окружную составляющие скорости, так и поперечную. Несмотря на ее малость, приводит к изменению траектории по горизонтали. Потому для задания поля скоростей, в качестве исходных уравнений, приняты классические решения автотельных движений в турбулентных струях

[12], преобразованные в систему дифференциальных уравнений в обычных производных. С последующим их решением универсальным математическим пакетом Maple [13].

Основная часть. Моделируем поведение частиц пневмотранспортной струе, поступающей в бункер через вертикальный канал диаметром d_0 . Для интегрирования исходных уравнений динамики твердых частиц [14], используем поле скоростей, описываемое системой уравнений [15]. Перейдем к безразмерной форме этих уравнений, используя в качестве характерного геометрического размера диаметр бункера D_1 .

Тогда в соответствии с [12, 13] функции безразмерных составляющих скорости примут вид:

$$\frac{u_x}{u_\infty} = \frac{u_x}{u_0} = \frac{A}{D_1 u_0 x_1} \cdot \frac{F'}{\eta}; \quad (1)$$

$$\frac{u_y}{u_\infty} = \frac{u_y}{u_0} = \frac{A}{D_1 u_0 x_1} \cdot \left(F' - \frac{F}{\eta} \right); \quad (2)$$

$$\frac{u_\varphi}{u_\infty} = \frac{u_\varphi}{u_0} = \frac{C}{D_1^2 u_0 x_1^2} \cdot \Phi; \quad (3)$$

$\eta = \frac{x_2}{a \cdot x_1}$; где x_1 и x_2 – безразмерные координаты траектории пылевой частицы. Сгруппируем коэффициенты:

$$A_1 = \frac{A}{D_1 u_0}; A_2 = \frac{A \bar{a}}{D_1 u_0}; A_3 = \frac{C}{D_1^2 u_0}; \quad (4)$$

где u_0 – начальная скорость потока; А, С – постоянные автомодельности.

С учетом этого систему (1)-(3) перепишем в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} \frac{u_x}{u_0} &= \frac{A_1}{x_1} \cdot \frac{1}{z_1^2}; \\ \frac{u_y}{u_0} &= \frac{A_2}{x_1} \cdot \frac{\eta}{z_1} \left(\frac{1}{z_1} - 0,5 \right); \\ \frac{u_\varphi}{u_0} &= \frac{A_3}{x_1^2} \cdot \frac{\eta}{z_1^2} \end{aligned} \right\}, \quad (5)$$

а система уравнений, характеризующая поведение частиц примет вид:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_4; \quad \dot{x}_2 = x_5; \quad \dot{x}_3 = x_6; \\ \dot{x}_4 &= Fr + \frac{1}{St} \left(\frac{u_x}{u_\infty} - x_4 \right); \\ \dot{x}_5 &= x_2 x_6^2 + \frac{1}{St} \left(\frac{u_y}{u_\infty} - x_5 \right); \\ \dot{x}_6 &= \frac{1}{x_2} \left(-2 x_2 x_6 + \frac{1}{St} \left(\frac{u_\varphi}{u_\infty} - x_2 x_6 \right) \right) \end{aligned} \right\}. \quad (6)$$

где Fr – критерий Фруда, St – критерий Стокса, учитывающие действие силы тяжести и аэродинамических сил соответственно.

Результат. По полученным зависимостям составлена расчетная программа для универсального математического пакета Maple. В качестве исходных данных приняты конструктивные характеристики бункера и узла загрузки, физические характеристики потока (рис. 1. а).

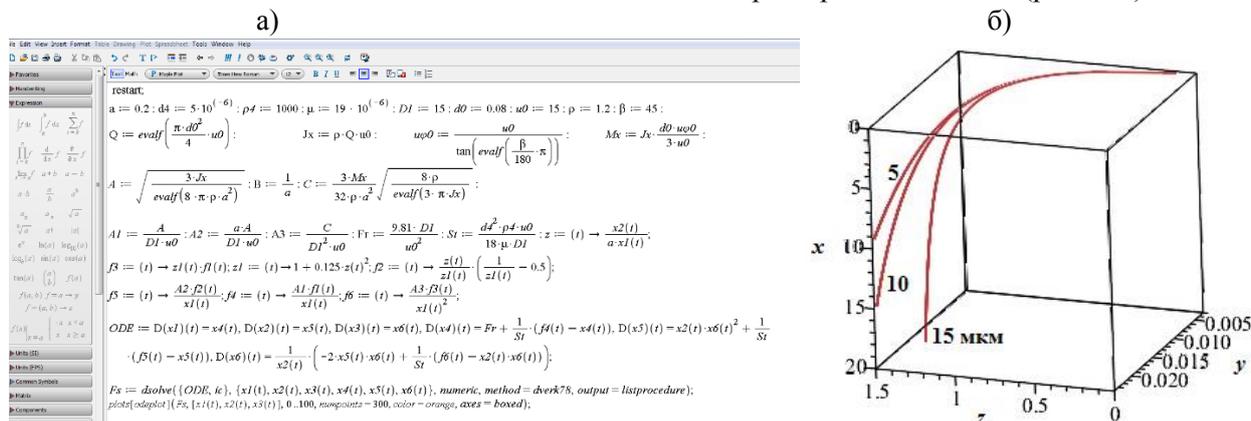


Рис.1. а) листинг расчетной программы; б) графический результат расчета

Выводы. Приведенная методика расчета позволяет определять траекторию расчета пылевых частиц, необходимую для прогнозирования концентрации пылевых частиц в аспирационном потоке. На рисунке 1 б приведен результат графического расчета в среде Maple для твердых частиц различной крупности: 5, 10 и 15 мкм при движении в условиях не полной веерной струи, формируемой в узле загрузки. Траектории соответствуют рациональным настройкам загрузочного устройства, обеспечивающего отклонение потока от строго вертикального падения, при этом направление движения частиц рассматриваемых диаметров на некотором удалении от узла загрузки оседают в полости бункера.

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Обеспыливающая вентиляция. Монография (том 2). Монография под общ. ред.

В.А. Минко. Белгород: Изд-во БГТУ. 2010. 565 С.

2. Азаров В.Н., Горбунова М.Е. Обследование систем аспирации. Волгоград: Волгоградский гос. ун-т, 2005 (Волгоград: Тип. Изд-ва "Станица-2"). 99 с.

3. Логачёв И.Н., Логачёв К.И., Аверкова О.А. Энергосбережение в аспирации: теоретические предпосылки и рекомендации. М.–Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2013. 504 с

4. Logachev I.N., Logachev K.I. Industrial air quality and ventilation: controlling dust emissions. Boca Raton: CRC Press, 2014. 417 с.

5. Посохин В.Н. Аэродинамика вентиляции. М.: АВОК-ПРЕСС, 2008. 205 с.

6. Азаров В.Н., Лупиногин В.В., Милованов А.С. Исследование дисперсного состава и аэродинамических характеристик пыли внутри складских помещений / Материалы Всероссийская междисциплинарная научная конференция.

НАУКА И ПРАКТИКА – 2018 // Изд-во Астраханский государственный технический университет (Астрахань), 2018.

7. Logachev I.N., Logachev K.I., Averkova O.A. An intercomponent heat transfer in a gravitational flow movements of particles in an inclined chute. Coupled problems 2015 - Proceedings of the 6th International Conference on Coupled Problems in Science and Engineering. 2015. Vol. 6. Pp. 1291–1302.

8. Chenchen Fang, Jianliang Xu, Hui Zhao, Weifeng Li, Haifeng Liu. Experimental investigation on particle entrainment behaviors near a nozzle in gas–particle coaxial jets // Powder Technology. 2015. Vol. 286. Pp. 55–63.

9. Семиненко А.С. Снижение пылеобразования при пневмотранспортной загрузке порошкообразных материалов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2018. № 4. С. 56–61.

10. Li Xiaochuan, Wang Qili, Liu Qi, Hu Yafei. Developments in studies of air entrained by falling bulk materials // Powder Technology. 2016. Vol. 291. Pp. 159–169.

11. Семиненко А.С., Логачев И.Н. Снижение пылеобразования при загрузке бункеров сыпучими материалами // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2006. № 14. С. 251–254.

12. Вулис Л.А., Кашкаров В.П. Теория струй вязкой жидкости. М.: Изд-во "Наука", 1965. 432 с.

13. Позин Г.М., Уляшева В.М., Киборт И.Д. К вопросу применения моделей турбулентности при численном моделировании вентиляционных процессов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2013. № 10 (658). С. 48–56.

14. Logachev I.N., Logachev K.I., Uvarov V.A., Seminenko A.S., Goltsov A.B., Kireev V.M. Velocity field for fan weakly swirled jet of loading spouts for fine materials // International Journal of Pharmacy & Technology. 2016. Т. 8. №4. С. 24880–24888.

15. Logachev I.N., Logachev K.I., Seminenko A.S. Basic equations of particle dynamics in silo type hoppers during pneumatic charging // Modern scientific research and their practical application. 2014. Vol. J11404. Pp. 17–24.

Информация об авторах

Семиненко Артем Сергеевич, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail abgolcov@gmail.com, seminenko.as@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Уляшева Вера Михайловна, доктор технических наук, профессора кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4

Поступила в сентябре 2018 г.

© Семиненко А.С., Уляшева В.М., 2018

^{1,*}*Seminenko A.S.*, ²*Uliashova V.M.*

¹*Belgorod State Technological University n. a. V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, St. Kostyukova, 46*

²*Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPSUACE)
Russia, 190005, St. Petersburg, 2-ya Krasnoarmeiskaya St. 4*

* E-mail: seminenko.as@bstu.ru

BEHAVIOR OF PARTICLES OF POWDERED MATERIAL AT PNEUMATIC TRANSPORT LOADING

Abstract. The efficiency and energy intensity of the aspiration systems depend on the operating conditions of the equipment, installed in accordance with characteristics of the aspiration flow, the quantitative and qualitative composition of dust particles. Therefore, when designing energy-efficient dedusting systems, it is necessary to take into account the changing trajectories in the cavity of technological tanks. To predict the behavior of particles, determining its sedimentation, or increase by aspiration flow. The paper presents equations for constructing the trajectories of dust particles depending on the geometric characteristics of the bunker and the loading device, as well as the physical parameters of the pneumatic transport flow. The longitudinal, circumferential and transverse velocity components are considered in order to accurately account the behavior of particles in the velocity field of a pneumatic conveying flow. As the initial equations, classical solutions of self-similar motions in turbulent jets are adopted and transformed into a system of differential equations in ordinary derivatives. The program listing is shown in the universal mathematical environment Maple and the

graphical result of the calculation for particles of various sizes: 5, 10 and 15 μm when moving under conditions of an incomplete fan jet formed in the loading unit. The rationality of the loading device settings is determined, providing the trajectory of the pneumatic transport flow.

Keywords: *dedusting, energy efficiency, the trajectory of dust particles, modeling, design.*

REFERENCES

1. Vacuum ventilation. Monograph (Volume 2). The monograph is a summary. Editor Vice Admiral Minko. Belgorod: BSTU publishing house, 2010, 565 p.
2. Azarov V.N., Gorbunova M.E. Examination of aspiration systems. Volgograd: Volgograd State Technological University, 2005 (Volgograd: type. Publishing House "Stanitsa-2"). 99 p.
3. Logachev I.N., Logachev K.I., Averkova O.A. Energy Saving in Aspiration: Theoretical Foundations and Recommendations. M. - Izhevsk: SIC "Regular and chaotic dynamics", 2013. 504 p.
4. Logachev I.N., Logachev K.I. Industrial air quality and ventilation: control of dust emissions. Boca Raton: CRC Press, 2014, 417 p.
5. Posokhin V.N. Aerodynamics of ventilation. Moscow: AVOK-PRESS, 2008. 205 p.
6. Azarov V.N., Lupinogin V.V., Miloanov A.S. Study of the dispersed composition and aerodynamic characteristics of dust inside warehouses. Materials of the All-Russian Interdisciplinary Scientific Conference. SCIENCE AND PRACTICE-KA – 2018. Publisher: Astrakhan State Technical University (Astrakhan), 2018
7. Logachev I.N., Logachev K.I., Averkova O.A. An intercomponent heat transfer in a gravitational flow movements of particles in an inclined chute. Coupled problems 2015 - Proceedings of the 6th International Conference on Coupled Problems in Science and Engineering, 2015, vol. 6, pp. 1291–1302.
8. Chenchen Fang, Jianliang Xu, Hui Zhao, Weifeng Li, Haifeng Liu. Experimental investigation on particle entrainment behaviors near a nozzle in gas–particle coaxial jets. Powder Technology, 2015, vol. 286, pp. 55–63.
9. Seminenko A.S. Reduction of dust formation during pneumatic transport of powdered materials. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 4, pp. 56–61.
10. Li Xiaochuan, Wang Qili, Liu Qi, Hu Yafei. Developments in studies of air and gas industry. Powder Technology, 2016, vol. 291. pp. 159–169.
11. Seminenko A.S., Logachev I.N. Reduction of dust formation when loading bunkers with loose materials. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2006, no. 14, pp. 251–254.
12. Vulis L.A., Kashkarov V.P. Theory of viscous fluid jets. M.: Nauka Publishing House, 1965, 432 p.
13. Pozin G.M., Ulyasheva V.M., Kibort I.D. On the use of turbulence models in the numerical simulation of ventilation processes. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniyakh. Building. 2013, no. 10 (658), pp. 48–56.
14. Logachev I.N., Logachev K.I., Uvarov V.A., Seminenko A.S., Goltsov A.B., Kireev V.M. Velocity field for fan weakly swirled jet of loading spouts for fine materials. International Journal of Pharmacy & Technology, 2016, vol. 8, no. 4, pp. 24880–24888.
15. Logachev I.N., Logachev K.I., Seminenko A.S. Basic equations of particle dynamics in silo type hoppers during pneumatic charging. Modern scientific research and their practical application, 2014, vol. J11404, pp. 17–24.

Information about the author

Semenenko, Artem S. PhD, Senior lecturer. E-mail semenenko.as@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Uliashova, Vera M. DSc, Professor. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPSUACE). Russia, 190005, St. Petersburg, 2-ya Krasnoarmeiskaya St. 4.

Received in September 2018

Для цитирования:

Семиненко А.С., Уляшева В.М. Поведение частиц порошкообразного материала при пневмотранспортной загрузке // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №12. С. 63–66. DOI: 10.12737/article_5c1c995f0b24c9.85544603

For citation:

Semenenko A.S., Uliashova V.M. Behavior of particles of powdered material at pneumatic transport loading. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 12, pp. 63–66. DOI: 10.12737/article_5c1c995f0b24c9.85544603

DOI: 10.12737/article_5c1c9960a03a84.05293055

¹Статинов В.В., ^{2,*}Серых И.Р., ²Чернышева Е.В., ²Дегтярь А.Н.¹ООО НЦЭ «БелЭкс»

Россия, 308027, Белгород, ул. Пирогова, д. 36

²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

*E-mail: seryh.ir@bstu.ru

РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД В ОБЛАСТИ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Аннотация. Основная цель риск-ориентированного подхода сводится к снижению рисков. В этом случае ресурсы распределяются неравномерно, поскольку в зонах повышенного риска контроль растёт, а в менее опасных зонах снижается или вообще отсутствует. Такой подход даёт возможность в значительной степени экономить ресурсы, так как позволяет вовремя принимать необходимые меры там, где это необходимо. Кроме того, создается возможность оптимального использования ресурсов при проведении государственного контроля, а, следовательно, снижать издержки для подконтрольных организаций. Опасные производственные объекты в зависимости от уровня потенциальной опасности аварии на них подразделяются на четыре класса опасности; каждому классу опасности соответствует своя частота плановых проверок. При этом при риск-ориентированном подходе было бы целесообразно изменять класс опасности по результатам проверки независимо от физических характеристик объекта, что даёт возможность уменьшить число государственных проверок для организаций, добросовестно относящихся к своей работе.

В статье рассмотрено определение категории риска (уровня безопасности) на примере условного склада нефти и нефтепродуктов, расположенного в Белгородской области.

Ключевые слова: промышленная безопасность; опасный производственный объект, оценка риска аварий, риск-ориентированный подход.

Основная цель риск-ориентированного подхода для организаций, связанных со строительством, реконструкцией и капитальным ремонтом, а впрочем, как и любых других, сводится к снижению рисков. В этом случае ресурсы распределяются неравномерно, поскольку в зонах повышенного риска контроль растёт, а в менее опасных зонах снижается или вообще отсутствует. Такой подход даёт возможность в значительной степени экономить ресурсы (трудовые, материальные, финансовые), так как позволяет вовремя принимать необходимые меры там, где это необходимо. Кроме того, создается возможность оптимального использования ресурсов при проведении государственного контроля, а, следовательно, снижать издержки для подконтрольных организаций.

Согласно [1, 2] опасные производственные объекты (ОПО) в зависимости от уровня потенциальной опасности аварии на них подразделяются на четыре класса опасности:

- I класс – объекты чрезвычайно высокой опасности;
- II класс – объекты высокой опасности;
- III класс – объекты средней опасности;
- IV класс – объекты низкой опасности.

При этом каждому классу опасности соответствует своя частота плановых проверок: объекты I и II класса подвергаются проверке раз в

год, III класса – раз в три года, на объектах IV класса опасности допускается не проводить плановые проверки.

По состоянию на 01.01.2018 года в государственном реестре опасных производственных объектов зарегистрировано около 2000 предприятий I класса опасности, 10000 – II класса опасности и более 160000 III и IV классов опасности [3].

Ограниченная модель риск-ориентированного подхода в области промышленной безопасности была введена ещё в 2013 году [3]. К сожалению, она учитывала только последствия аварии, тогда как немаловажную роль при подсчёте рисков играет степень вероятности их наступления. Однако, даже такая «неполноценная» модель позволила всего за пять лет уменьшить количество плановых проверок более чем в четыре раза, что в свою очередь, позволило акцентировать внимание на более опасных объектах, заслуживающих пристального внимания со стороны контролирующих организаций.

Усовершенствованная методика оценки вероятности возникновения потенциальных негативных последствий несоблюдения обязательных требований в области промышленной безопасности была введена в 2016 году [4, 5]. Она позволяет рассчитать риск аварии на конкретном объекте, используя информацию комплексной

системы информатизации и автоматизации, а также данные, полученные экспертом при обследовании. То есть специалист, который будет использовать данный алгоритм, должен обладать достаточными сведениями об объекте обследования, чтобы своевременно выявить факторы, способствующие повышению или понижению категории риска.

Рассмотрим определение категории риска (уровня безопасности) на примере условного склада нефти и нефтепродуктов, расположенного в Белгородской области. Для этого следует, используя упомянутую методику, рассчитать, так называемый, риск-ориентированный интегральный показатель промышленной безопасности [6].

Согласно методике [5], сначала в соответствии с [7] определяем типовое наименование ОПО. В нашем случае склад нефти и нефтепродуктов соответствует типовому наименованию

«Площадка нефтебазы (склада, парка, комплекса) по хранению и перевалке нефти и нефтепродуктов» отраслевой группы «8. Опасные производственные объекты нефтепродуктообеспечения». Затем определяем вид анкеты для данного типового наименования и отраслевой группы. Всего в методике представлено 37 вариантов анкет, каждая из которых состоит из 112 факторов, влияющих на промышленную безопасность и характерных для данного ОПО. Для удобства все факторы разделены на 16 тематических групп. Каждому фактору проставляем балл от 1 до 3 в зависимости от соответствия состоянию фактора с точки зрения промышленной безопасности объекта (1 – неблагоприятное состояние; 2 – промежуточное; 3 – благоприятное). Кроме того, каждый фактор имеет базовый вес, чтобы определить значение группы факторов. Он показывает важность отдельно взятого фактора относительно других в своей группе (табл. 1).

Таблица 1

Фрагмент анкеты с соответствующими баллам и базовым весом факторов

Код	Фактор	Значение фактора в баллах	Базовый вес фактора
01. Внешние факторы (техногенные)			
1-1	Наличие автотранспортных путей перемещения опасных веществ в районе расположения предприятия	2	7
1-2	Наличие взрывопожароопасных и химически опасных объектов в районе расположения предприятия	3	12
1-3	Наличие гидротехнических опасных объектов в районе расположения предприятия	3	3
1-4	Наличие ж/д путей перемещения опасных веществ в районе расположения предприятия	3	12
1-5	Наличие радиационно опасных объектов в районе расположения предприятия	3	3
02. Внешние факторы (антропогенные)			
2-1	Забастовки в регионе расположения предприятия	1	1
2-2	Массовые беспорядки в регионе расположения предприятия	3	5
2-3	Места массовых мероприятий, зрелищ в окрестностях предприятия	3	3
2-4	Наличие жилой застройки в окрестностях предприятия	2	3
2-5	Транспортные пассажирские объекты в окрестностях предприятия	2	3
2-6	Уровень безработицы в регионе расположения предприятия	3	1
2-7	Уровень преступности в регионе расположения предприятия	3	3

Используя данные табл. 1, определяем «значение группы факторов» для «01. Внешние факторы (техногенные)» по формуле:

$$\frac{\sum_{i=1}^n \text{базовый вес фактора} \times \text{значение фактора}}{\sum_{i=1}^n \text{базовый вес фактора}} = \frac{2 \cdot 7 + 3 \cdot 12 + 3 \cdot 3 + 3 \cdot 12 + 3 \cdot 3}{7 + 12 + 3 + 12 + 3} = 2,811$$

Аналогичный расчет делаем для каждой группы факторов. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Значения баллов и базового веса для каждой группы факторов

Группа факторов	Значение группы факторов в баллах	Базовый вес группы факторов	Показатель промышленной безопасности
01. Внешние факторы (техногенные)	2,811	1	отлично
02. Внешние факторы (антропогенные)	2,579	1	хорошо
03. Внешние факторы (природные)	3,000	1	отлично
04. Общие характеристики объекта	1,440	4	плохо
05. Технические и технологические характеристики объекта	2,320	13	хорошо
06. Персонал	1,830	15	удовлетворительно
07. Формирования	2,450	7	хорошо
08. Организация производственного контроля	2,400	8	хорошо
09. Документация в области промышленной безопасности	2,690	3	отлично
10. Проверка Ростехнадзора	2,210	4	хорошо
11. Экспертиза промышленной безопасности	2,000	4	удовлетворительно
12. Материальные и финансовые ресурсы	2,220	6	хорошо
13. Пожарная безопасность	2,670	8	отлично
14. Предупреждение постороннего вмешательства	2,300	3	хорошо
15. Аварийность	2,470	20	хорошо
16. Результаты расчетов риска	1,870	2	удовлетворительно

Поскольку каждая группа факторов тоже имеет базовый вес [3], то требуемый «интегральный показатель промышленной безопасности» определяем по формуле:

$$\frac{\sum_{i=1}^n \text{базовый вес группы факторов} \times \text{значение группы факторов}}{\sum_{i=1}^n \text{базовый вес группы факторов}} = 2,277$$

Полученное числовое значение групп факторов говорит о том, что общее состояние промышленной безопасности на данном предприятии можно охарактеризовать как «хорошее» [5]. Однако стоит обратить внимание на высокий уровень риска аварий, поскольку у этого показателя получилось значение 1,870, что соответствует удовлетворительному состоянию. Также имеет смысл усилить контроль экспертизы промышленной безопасности, так как этот показатель получил значение 2,000, что также соответствует оценке «удовлетворительно». Такую же оценку получила группа факторов «персонал», следовательно, в план мероприятий по устранению недостатков следует внести пункт о повышении уровня знаний обслуживающего персонала, например, за счет курсов повышения квалификации.

В заключении отметим, что оценку технического состояния зданий и сооружений опасных производственных объектов, осуществляемую в рамках проведения экспертизы промышленной безопасности [8–15] следует проводить с учетом риск-ориентированного подхода, что в конечном итоге позволит грамотно распределить ресурсы

предприятия при устранении недочетов, выявленных в процессе обследования. Кроме того, при риск-ориентированном подходе было бы целесообразно изменять класс опасности по результатам проверки независимо от физических характеристик объекта, что давало бы возможность уменьшать число государственных проверок для организаций, добросовестно относящихся к своей работе.

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нормативные правовые и правовые акты, регламентирующие деятельность Ростехнадзора [Электронный ресурс] http://gosnadzor.ru/about_gosnadzor/legal/index.php?sphrase_id=1344005 (дата обращения: 14.08.2018 г.)
2. Федеральный закон от 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

3. Макаrchук М.В. Внедрение риск-ориентированного подхода при осуществлении федерального государственного надзора в области промышленной безопасности // Безопасность труда в промышленности. 2018. № 7. С. 59–66.

4. Приказ Ростехнадзора от 21.12. 2016 г. № 549 «Методика оценки вероятности возникновения потенциальных негативных последствий несоблюдения обязательных требований в области промышленной безопасности».

5. Методика определения риск-ориентированного интегрального показателя промышленной безопасности (РОИП ПБ) [Электронный ресурс]

<https://gpmliftservis.ru/uploads/files/20180409-120157.pdf> (дата обращения: 14.08.2018 г.).

6. Калькулятор интегрального показателя промышленной безопасности [Электронный ресурс] <https://www.safety.ru/danger-analyse/#/> (дата обращения: 14.08.2018 г.).

7. Приказ Ростехнадзора от 07.04.2011 г. № 168 «Об утверждении требований к ведению государственного реестра опасных производственных объектов в части присвоения наименований опасным производственным объектам для целей регистрации в государственном реестре опасных производственных объектов».

8. Чернышева Е.В., Серых И.Р., Стаинов В.В., Чернышева А.С. Актуальные проблемы промышленной безопасности // Zbornik radova: visoka tehnička škola strukovnih studija. Niš. Serbia. 2016. December. P. 164–165.

9. Дегтярь А.Н., Серых И.Р., Панченко Л.А., Чернышева Е.В. Остаточный ресурс конструкций зданий и сооружений // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. 2017. № 10. С. 94–97.

10. Серых И.Р., Чернышева Е.В., Дегтярь А.Н., Черноситова Е.С., Чернышева А.С. Экспертиза промышленной безопасности здания цеха

ВЖС Шебекинского химического завода с целью оценки технического состояния конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 9. С. 55–61.

11. Дегтярь А.Н., Серых И.Р., Чернышева Е.В., Панченко Л.А. Экспертиза промышленной безопасности здания насосной нефтебазы Белгородской области с целью оценки ее остаточного ресурса // Безопасность в строительстве: матер. III Междунар. науч.-практ. конф., (Санкт-Петербург, 23-24 ноября 2017 г.), СПб.: изд-во СПбГАСУ, 2017. С. 41–45.

12. Коточигов Р.В., Епифанов Е.Н., Чирков П.О., Гусев С.И., Саликов Е.А. К вопросу о риск-ориентированном подходе при проведении проверок объектов защиты // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2017. Т. 1. С. 862–864.

13. Файнбург Г.З. Проблемы внедрения риск-ориентированного подхода в практику обеспечения безопасности производства // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования. 2017. Т. 1. С. 151–167.

14. Федосов А.В., Закирова З.А., Абдрахимова И.Р. Перспективы применения риск-ориентированного подхода в области промышленной безопасности // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. 2018. № 1. С. 145–161.

15. Акимова Д.Д., Еделькина А.Г. Внедрение риск-ориентированного подхода на опасных промышленных объектах / Проблемы социально-экономического развития России на современном этапе: сб. материалов IX ежегодной междунар. научн.-техн. конф. В 2-х частях // Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина. 2017. С. 105–111.

Информация об авторах

Стаинов Владислав Владимирович, генеральный директор. E-mail: nce@bel-eksl.ru. ООО Независимый центр экспертизы «БелЭкс». Россия, 308027, Белгород, ул. Пирогова, д. 36.

Серых Инна Робертовна, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов. E-mail: seryh.ir@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Чернышева Елена Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры стандартизации и управления качеством. E-mail: bellena_74@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Дегтярь Андрей Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов. E-mail: andrey-dandr@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в сентябре 2018 г.

© Стаинов В.В., Серых И.Р., Чернышева Е.В., Дегтярь А.Н., 2018

¹Statinov V.V., ^{2,*}Serykh I.R., ²Chernyshova E.V., ²Degtyar A.N.

¹The Limited Liability Company Independent center of expertise «BelEks»
Russia, 308027, Belgorod, st. Pirogova, 36

²Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

*E-mail: seryh.ir@bstu.ru

THE RISK-ORIENTED APPROACH IN THE FIELD OF INDUSTRIAL SAFETY

Abstract. The main objective of the risk-oriented approach is to reduce risks. In this case, resources are unevenly distributed, since control is increased in high-risk areas and decreased or is absent in less dangerous areas. This approach allows to save resources notably, as it provides necessary measures. In addition, it creates the possibility to optimize the use of resources during the state control, and therefore reducing costs for controlled organizations. Hazardous production facilities are divided into four hazard classes, depending on the level of potential accident hazard. Each hazard class has own frequency of scheduled inspections. At the same time, with a risk-oriented approach, it is advisable to change the hazard class according to the results of the inspection regardless the physical characteristics of an object. It makes possible to reduce the number of state inspections for organizations, who conscientiously carry out their work. The article considers the definition of risk category (safety level) on the example of a conventional oil and petroleum products warehouse located in the Belgorod region.

Keywords: industrial safety; hazardous production facility, accident risk assessment, risk-oriented approach.

REFERENCES

1. Regulatory legal acts regulating the activities of Rostekhnadzor [Electronic resource] http://gosnadzor.ru/about_gosnadzor/legal/index.php?sphrase_id=1344005 (date of application: 14.08.2018.)
2. Federal law of 21 July 1997 N 116-FZ «On industrial safety of hazardous production facilities».
3. Makarchuk M.V. Introduction of risk-based approach in the implementation of Federal state supervision in the field of industrial safety. Occupational Safety in industry, 2018, no. 7, pp. 59–66.
4. The order of Rostekhnadzor dated 21.12.2016 № 549 «Methodology for assessing the likelihood of potential negative consequences of non-compliance with mandatory requirements in the field of industrial safety».
5. Method of determination of risk-oriented integral index of industrial safety (ROIP PB) [Electronic resource] <https://gpmliftservis.ru/uploads/files/20180409-120157.pdf> (date of application: 14.08.2018).
6. Calculator integrated indicator for industrial safety [Electronic resource] <https://www.safety.ru/danger-analyse/#/> (date of application: 14.08.2018).
7. The order of Rostekhnadzor dated 07.04.2011 № 168 «On approval of requirements to the maintenance of the state register of hazardous production objects in the part of naming the hazardous production facilities for the purposes of registration in the state register of hazardous production facilities».
8. Chernysheva E.V., Serykh I.R., Statinov V.V., Chernysheva A.S. Actual problems of industrial safety. Zbornik radova: visoka tehnička škola strukovnih studija. Niš. Serbia, 2016. December. pp. 164–165.
9. Degtyar A.N., Serykh I.R., Panchenko L.A., Chernysheva E.V. Residual life of structures of buildings and structures. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2017, no. 10, pp. 94–97.
10. Serykh I.R., Chernysheva E.V., Degtyar A.N., Chernositova E.S., Chernysheva A.S. The industrial safety expert review of the VZGS plant building at the SHEBEKINO chemical plant with the purpose of technical state evaluation of structures. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 9, pp. 55–61.
11. Degtyar A.N., Serykh I.R., Chernysheva E.V., Panchenko L.A. Examination of industrial safety of the pump tank farm building of the Belgorod region in order to assess its residual life // Safety in construction: mater. III Intern. science.-practice. conf. (St. Petersburg, 23-24 November 2017), St. Petersburg.: Izd-vo Spbgasu, 2017, pp. 41–45.
12. Kotochigov R.V., Epifanov E.N., Chirkov P.O., Gusev S.I., Salikov E.A. On the issue of risk-based approach in the course of inspections of objects of protection. Problems of safety in the aftermath of emergencies, 2017, vol. 1, pp. 862–864.
13. Feinburg G.Z. Problems of implementation of risk-based approach in the practice of ensuring the safety of production. Actual problems of improving the efficiency and safety of operation of mining and oilfield equipment, 2017, vol.1, pp. 151–167.
14. Fedosov A.V., Zakirova Z.A., Abdrakhimova I.R. Prospects of application of the

risk-oriented approach in the field of industrial safety. Electronic scientific journal oil and Gas business, 2018, no. 1, pp. 145–161.

15. Akimova D.D., Edelkina A.G. Introduction of risk-based approach to hazardous industrial facilities. Problems of socio-economic development of

Russia at the present stage: collection of materials IX annual international. scientific.-techn. conf. in 2 parts. Tambov state University. G.R. Derzhavin, 2017, pp. 105–111.

Information about the authors

Statinov, Vladislav V. General director. E-mail: nce@bel-eksl.ru. The Limited Liability Company Independent center of expertise «BelEks». Russia, 308027, Belgorod, st. Pirogova, 36.

Serykh, Inna R. PhD, Assistant professor. E-mail: seryh.ir@bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Chernyshova, Elena V. PhD, Assistant professor. E-mail: bellena_74@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Degtyar, Andrey N. PhD, Assistant professor. E-mail: andrey-dandr@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in September 2018

Для цитирования:

Стаинов В.В., Серых И.Р., Чернышева Е.В., Дегтярь А.Н. Риск-ориентированный подход в области промышленной безопасности // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №12. С. 67–72. DOI: 10.12737/article_5c1c9960a03a84.05293055

For citation:

Statinov V.V., Serykh I.R., Chernyshova E.V., Degtyar A.N. The risk-oriented approach in the field of industrial safety. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 12, pp. 67–72. DOI: 10.12737/article_5c1c9960a03a84.05293055

DOI: 10.12737/article_5c1c9962ba70d6.35793184

¹, ***Попова В.Ю.**¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

*E-mail: Bondareva.Viktoria1@gmail.com

ТИПОЛОГИЯ ЖИЛИЩНОГО ФОНДА ГОРОДА БЕЛГОРОДА

Аннотация. В статье рассматриваются особенности типологии жилищного фонда города Белгорода. Для города Белгорода основным типом жилья является квартира. Обеспеченность жильем является одним из главных показателей уровня жизни городского населения. В статье анализируется развитие и формирование структуры жилищного фонда города Белгорода по типам квартир за основные этапы развития массового жилищного строительства и основные типы жилых домов и квартир за период с 1945г. по настоящее время. Рассматриваемый период времени разделен на пять этапов жилищного строительства. Каждый этап отличается увеличением этажности. В первый период рассматривается послевоенная одно- и двухэтажная застройка. Далее, во второй период происходит увеличение этажности до трех этажей. Однако трехэтажная застройка не получила дальнейшего развития. Третий период характеризуется ростом города на Харьковской горе и увеличением этажности до пяти этажей. В четвертый период появляются девятиэтажный жилой фонд, который становится преобладающей застройкой города Белгорода. В пятый период начинается разделение по классам массового жилищного строительства. В статье анализируется площадь и структура квартир в рассматриваемые периоды времени. Эти факторы являются основными, определяющими комфорт проживания в жилище. Так же анализируется динамика роста жилого фонда и численность населения за исследуемый период времени. В ходе исследования выявляется основной тип квартиры и преобладающий тип застройки в городе Белгороде. Приведены примеры планировки различных типов квартир основных типовых серий, применяемых в городе Белгороде.

Ключевые слова: жилая среда, жилищное строительство, комфортность жилого фонда, нормы жилищной обеспеченности, городской жилищный фонд.

Введение.

Жилищная обеспеченность - это важнейший показатель уровня жизни населения. Жилище является местом реализации всех основных бытовых и физиологических потребностей человека. Здоровье человека и его психологическое состояние во многом зависит от качества жилой среды [7].

Анализ города через архитектуру жилых зданий различных периодов строительства, через типы жилых домов, через соотношение квартир по количеству комнат, через плотность заселения квартиры и в соотнесении с демографической структурой населения, проживающего в этих зданиях, выявляет особенности социальных процессов, возникающие проблемы, в развитии города. А также определяет общий уровень и состояние развития городской системы [3].

Выявление параметров и закономерных особенностей процесса формирования и развития структуры жилищного фонда города является важной составляющей оценки комфорта жилища, определения перспектив дальнейшего повышения уровня комфорта жилища и условий жизни населения [4].

Исследование основных типов массового жилья в г. Белгороде позволяет выделить основные черты и особенности формирования структуры жилищного фонда города.

Жилые дома с 1945 по 1953 гг.

В 1939 году в Белгороде насчитывалось 34.359 тысяч жителей. Объем жилого фонда составлял около 140 тыс. кв. метров жилья. В конце 1950 года жилой фонд составлял 140 тыс. кв. метров. Размер жилой площади на одного человека составлял 4,8 кв. м. Ежегодный ввод жилья – до 50 тыс. кв. м / год [9].

В послевоенный период основой жилого фонда стали небольшие одно-полтораэтажные жилые дома. Застройка развивалась к северу от центра небольшими кварталами. Такие дома характеризуются отсутствием благ цивилизации и наличием, в редких случаях водопровода (рис. 1).

Районы с одноэтажной застройкой усадебного типа расположены в центральной части города, а также включают в себя районы Савино, Жилая, Кошары, Супруновку, Гринёвку, Пушкинское, Стрелецкое, Оскочное, Ячнево, Дальние пески, Старый город, Михайловку, Покровку, Красное [8].

Послевоенная одноэтажная застройка, в архитектурном плане, имеет традиционный облик и соответствует канонам индивидуального дома, сформировавшимся в нашей стране и регионе. Первыми послевоенными проектами стали Б-4-45. Это были двухквартирные брусовые дома барачного типа для колхозного строительства. По-

лучили распространение типовые индивидуальные дома. Были приняты некоторые варианты планировок типовых проектов серий: 108-2,1,4; 130-3; 114-2; 105-1,2; 115-2; 121; Б-17,11. Наиболее применяемыми были типовые проекты домов на две комнаты – серии № 114-1;142; 105-1. В этих проектах имелась терраса, кладовая и гостиная (площадью от 14,7 до 19 кв.м.), спальня (от 7 до 9,5 кв.м.) и кухня (от 6 до 7,7 кв.м.) (рис. 2). В проектах часто предусматривалось смежное размещение комнат. Инновацией стало строительство спаренных домов, что позволяло не только компактно размещать здания, но и уменьшить расход на постройку, а также эксплуатацию. В Белгороде среди таких домов наибольшее распространение получили двухквартирные вариации. Для строительства домов применяли шлакоблочные материалы. Так же встречались деревянные дома, обложенные кирпичом. Реже встречались чисто кирпичные.



Рис. 1. Пример одноэтажных жилых домов 1945–1953 гг.

В этот же период в Белгороде велось строительство двухэтажных жилых домов. Основная их масса располагалась на бывших улицах Б.Хмельницкого, Ленина, Фрунзе, Чернышевского, Литвинова (рис.3) [6].

Двухэтажные «сталинки» - это типовой вариант многоквартирного жилого дома, который стал решением жилищного вопроса. Основной

идеей строительства таких домов являлось создание комфортного и привлекательного, с эстетической точки зрения, жилья, но с минимальными затратами.

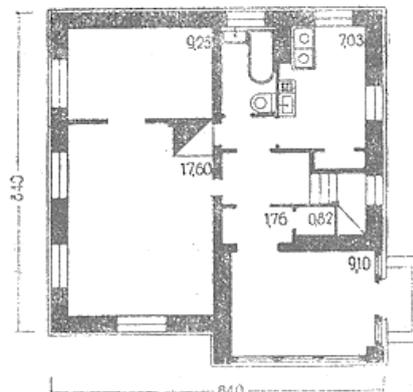


Рис. 2. Жилой дом по типовому проекту 115-1

Главным отличием послевоенных двухэтажек являлась индивидуальная планировка, а также дизайн, который предусматривал наличие на фасадах декоративных элементов (карнизы, фризy, наличники, сложная кровля, руст, балюстрада). Такой прием позволял на основе типовых форм строить кварталы с разнообразными зданиями в одной стилистике. От довоенных зданий сохранилось наличие коллективных сараев и подвалов в каждом дворе. Такое жильё являлось достаточно комфортным, не смотря на свои не большие размеры.



Рис. 3. Пример двухэтажных жилых домов 1945–1953 гг.

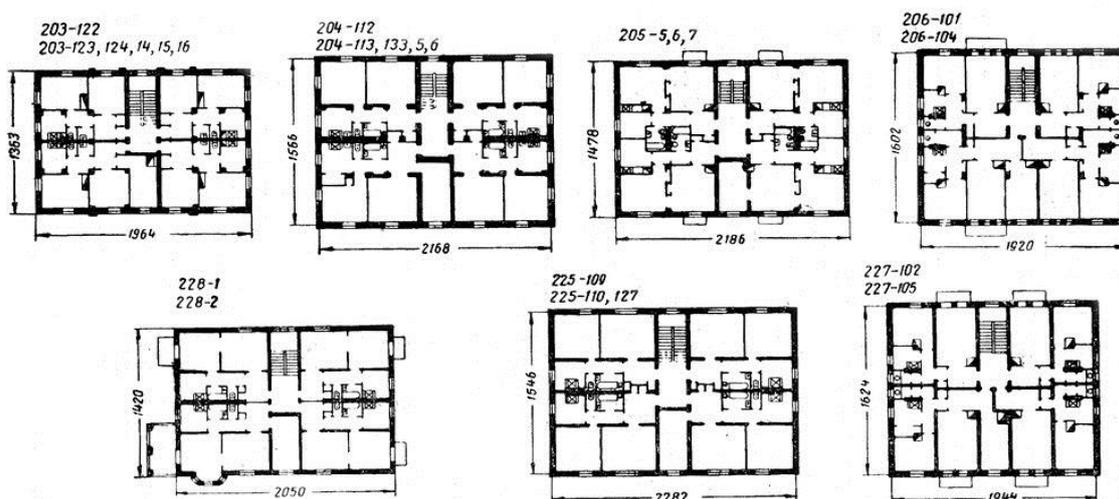


Рис. 4. Планировка типовых односекционных 2-этажных домов 1945–1953 гг.

Серия 228 стала основной серией для нашего города (рис.4, табл.1). Всего было выстроено около 29 зданий 228 серии. Многие из них сохранились и в наши дни. Так же в городе представлены и другие серии двухэтажных жилых домов. Например, серии 201, 211, 218, 221.

Таблица 1

Площади и структура жилых домов 1945–1953 гг.

Количество комнат	Общая площадь, м ²
2-комнатная	28–31
3-комнатная	39–56

Жилые дома 1953-1957гг.

В 1950 году произошло изменение в этажности застройки центральной части Белгорода. Для главных улиц и площадей города была установ-

лена высота застройки в 3 этажа, а для периферийной застройки этажность понижалась до 1-2-х этажей.

Вначале 1950-х в Белгороде начинается строительство трехэтажных жилых домов. В них, по-прежнему отсутствовали канализация и центральное отопление.

В послевоенный период в первую очередь велись работы по восстановлению и реконструкции довоенного фонда. С 1951 г. начинается строительство новых кварталов. В 1953 году на смену двухэтажного города пришла трехэтажная застройка. Однако такая идея не получила дальнейшего развития и была пересмотрена. Однако до 1956 г. возводились трёхэтажные здания. Примером таких зданий являются жилые дома на бывшем пр. Ленина, а также по пр. Б. Хмельницкого и ул. Мичурина. Эти дома отличаются от других своим интересным экстерьером (рис. 5) [2].



Рис. 5. Пример трехэтажных жилых домов 1953–1957 гг.

Жилые дома 1957–1980гг.

В 1959 году в городе насчитывалось 72.278 тыс. жителей. Жилищный фонд составлял 663 тыс. кв. м. Размер жилой площади на одного че-

ловека составлял 8.1 кв. м. К 1980 года численность населения Белгорода достигала 240 тыс. жителей. Жилищный фонд составлял 3108 тыс. кв. м. Размер жилой площади на одного человека составлял 12.3 кв. м. [9].

Период 1968–1981 года характеризуется тем, что город начинает расти на Харьковской горе и продолжает развитие на Меловой. Также в это время благоустраивается и микрорайон строчной застройки Черемушки и примыкающий непосредственно к центру микрорайон («кинотеатр Радуга») с парком им. Ленина. К этому периоду так же относятся микрорайоны на Харьковской горе по ул. Костюкова, Королева и Губкина (рис. 6) [2].

С 1957 года начинается строительство первых пятиэтажных домов. Однако основное строительство таких домов началось в начале 1960-х. Ежегодный ввод с начала 60-х до середины 70-х годов составлял порядка 100 тыс. кв. м. В этот период введено 95 % застройки средней этажности. С 1969 г удельный вес 5-ти этажного строительства несколько снижается, но 5-ти этажная застройка остается преобладающей (80%) [9].

Наибольшее распространение среди пятиэтажной жилой застройки получили серии 1-447 и 1-464.

Преобладающими становятся серии 1-447 и 1-464 (рис. 7, табл. 2). Серия 1-447 отличается не облицованными кирпичными внешними стенами и наличием в торцевых стенах двух рядов окон (чаще всего без балконов). Корпус имеет форму прямоугольника без выступов и угловых секций. Преимуществами таких жилых домов являются высокая тепло- и шумоизоляция (благодаря стенам из кирпича), наличие балконов и возможность перепланировки. Срок эксплуатации домов 1-447 серии – не менее 100 лет, что гораздо выше, чем у панельных домов. Недостатками данной серии являются наличие смежных комнат в квартирах, совмещенный санузел, маленькая прихожая, небольшая площадь кухни и небольшое число трехкомнатных квартир. Большая часть квартир имеет ориентацию на одну сторону света.



Рис. 6. Пример пятиэтажных жилых домов 1957–1980 гг.

Таблица 2

Площади и структура квартир жилых домов 1957–1980 гг.

Количество комнат	Общая площадь, м ²	
	Серия 1-447	Серия 1-464
1-комнатная	28–32	30–31
2-комнатная	41–44	32–46
3-комнатная	40–57	55–58

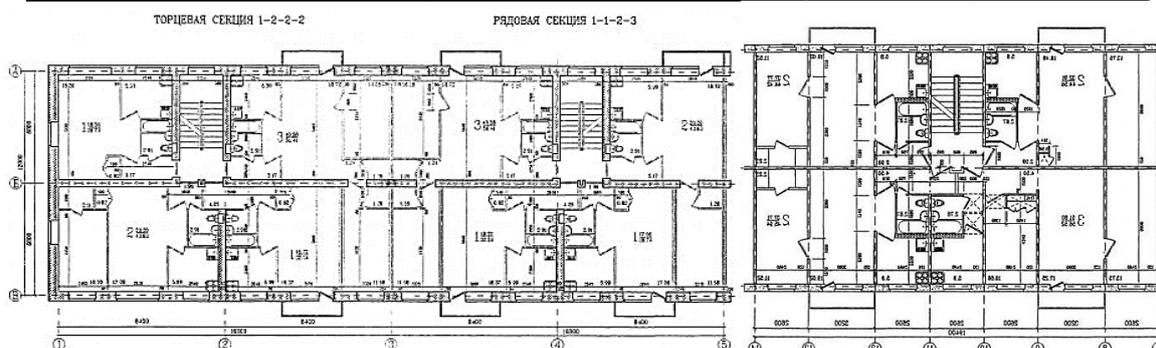


Рис. 7. Планировка типовых секций серии 1-447 и 1-464

Пятиэтажные жилые дома типовой серии 1-464 узнаваемы по межэтажной площадке в подъездах, которая имеет такие же окна как в квартирах. Преимуществами серии 1-464 являются – большое количество трехкомнатных квартир, наличие балконов. Перекрестно-стеновая конструкция здания более прочная и долговечная. К недостаткам можно отнести низкую звуко- и теплоизоляцию, наличие смежных комнат, совмещенный санузел, небольшой размер кухни. В таких квартирках отсутствует возможность перепланировки.

Жилые дома 1970–1990 гг.

К 1990 году в Белгороде насчитывалось 304 тыс. жителей. Объем жилого фонда составлял 47.87 тыс. кв. м. Размер жилой площади на одного человека составлял 15.5 кв. м. Ежегодный ввод до 150 тыс. кв. м. [9]. Данный период характеризуется тем, что город начинает расти на Харьковской горе – микрорайоны, прилегающие

к ул. Костюкова, Королева и замыкающиеся с юга улицей Губкина (рис. 8) [5]. В целом этот период характеризуется наибольшей из перечисленных площадью территориального роста, как на север, так и на юг. Данный период так же ознаменовался ростом этажности до 9 этажей, а затем до 12–14. Такие дома отличались от пятиэтажных немного большей жилой площадью квартир. Дома данной серии имеет улучшенную, по сравнению с предыдущими версиями, планировку. Преобладает 9-ти этажная застройка (до 80 %). Стоит заметить, что 12–14 этажная застройка не получила такого же распространения как 9-ти этажная (до 6 % общего ввода жилья) [10].

Основной серией среди девятиэтажной застройки стала 91 серия жилых домов (рис. 9, табл. 3). В 91 серию включались проекты крупнопанельных жилых домов 9- и 10-этажных. Цены на квартиры в таких домах за счет использования панелей стали более доступными.

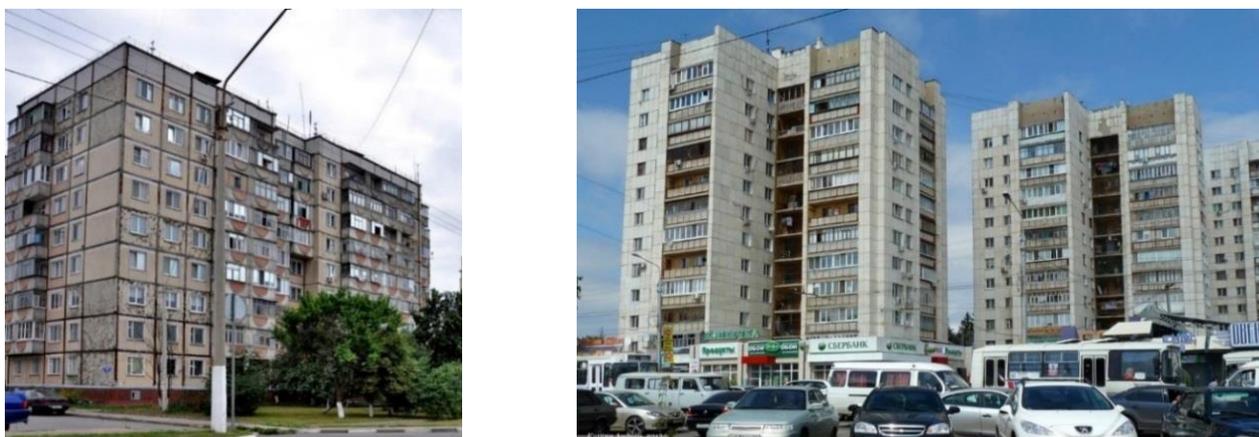


Рис. 8. Пример жилых домов 1970–1990 гг.

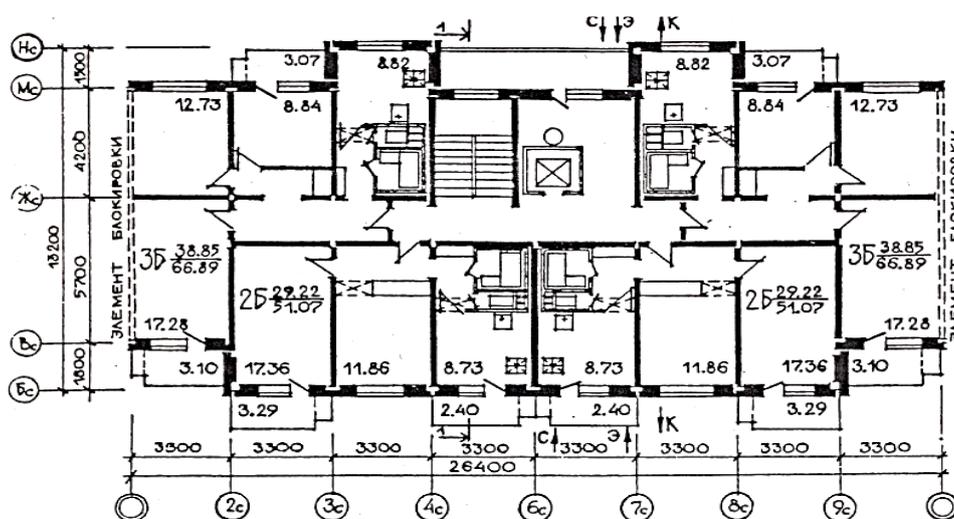


Рис. 9. Планировка типовой секции серии 91

Таблица 3
Площади и структура квартир жилых домов 1970–1990 гг.

Количество комнат	Общая площадь, м ²
1-комнатная	33
2-комнатная	51
3-комнатная	63
4-комнатная	78

Жилые дома с 1990 г. по настоящее время.

К 2000 году в Белгороде насчитывалось 342 тыс. жителей. Объем жилого фонда составлял 6337 тыс. кв. м. В 2002 году размер жилой площади на одного человека составлял 18,8 кв.м. В настоящее время численность населения составляет 391,135 тыс. жителей (рис.11) [9].

С начала 90-х годов ежегодные объемы ввода жилого фонда увеличиваются до 180 тыс. кв. м.

В период с 2000 г по настоящее время происходит расслоение в жилищном строительстве, начинается формирование «элитных» жилых комплексов (рис. 10). Такие комплексы возводятся в центральной части города. На периферии ведется строительство малогабаритного жилья эконом-класса («Новая жизнь», «Брайер-парк»). Основная масса жилищного строительства среднего класса сосредоточилась на Харьковской горе между улицами Губкина и Есенина (рис. 10).

Ежегодные объемы ввода жилого фонда увеличиваются до 180 тыс. кв. м. Преобладающим остается многоэтажное строительство, хотя его удельный вес несколько уменьшается до 70–75 %, прежде всего за счет увеличения жилфонда повышенной этажности (15 %) (табл. 6,8) [9]. Данный период характеризуется попыткой придать индивидуальность жилой застройке, появляются дома переменной этажностью, комбинированные дома, планировки квартир в типовых домах становятся более просторными [2].



Рис. 10. Жилые дома по индивидуальной планировке

Таблица 4
Динамика жилого фонда г. Белгорода в период с 1950 г. по 2016 г.

Жилой фонд, обеспеченность	1950 г.	1960 г.	1970 г.	1980 г.	1990 г.	2002 г.	2010 г.	2016 г.
Жилищный фонд на конец года, тыс. кв.м.	140	663	1618	3108	4787	6337	8701	9749
Жилобеспеченность, кв. м/чел	4,8	8,1	10,2	12,3	15,5	18,8	24,3	24,9

Таблица 5

Средний размер квартиры

Средний размер квартиры, кв.м	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014г.	2015 г.
За счет всех источников финансирования	78,7	95,7	87,1	88,3	76,5	63,8	69,0	80,7
За счет собственных и заемных средств	222,5	208,0	185,8	170,6	158,9	150,1	138,4	119,7

Таблица 6

Распределение жилого фонда по времени ввода в эксплуатацию

Годы ввода	Мало-этажное	Средней этажности	Много-этажное	Повышенной этажности	Высотные	Итого	%%
1-этап до 1960 г	135,8	135,2				271,0	4,5
2-этап 1961-75 г.г.	34,8	1445,3	131,5			1611,6	26,9
3-этап 1976-90 г.г.	4,6	336,0	1737,6	135,6		2214,1	36,9
4-этап 1991-01 г.г.	121,9	78,7	1376,2	277,4	47,7	1901,9	31,7
Итого	297,0	1995,3	3245,3	413,3	47,7	5998,6	100,0
Структура, %%	4,9	33,3	54,1	6,9	0,8	100	

Таблица 7

Распределение жилого фонда по этажности в период 1981–2005 гг.

Застройка по этажности	1981 г.		2000-2005 гг.	
	тыс.кв.м.	%	тыс.кв.м.	%
Итого, в т. ч.	2984	100	8100	100
6 этажей и выше	450	15	5678	70
4-5 этажей	1638	55	2219	27
2-3 этажа	256	8,5	153	2
1 этажная	640	21,5	50	1
Плотн. жилфонда – тыс. кв. м / га	1,41		5,4	

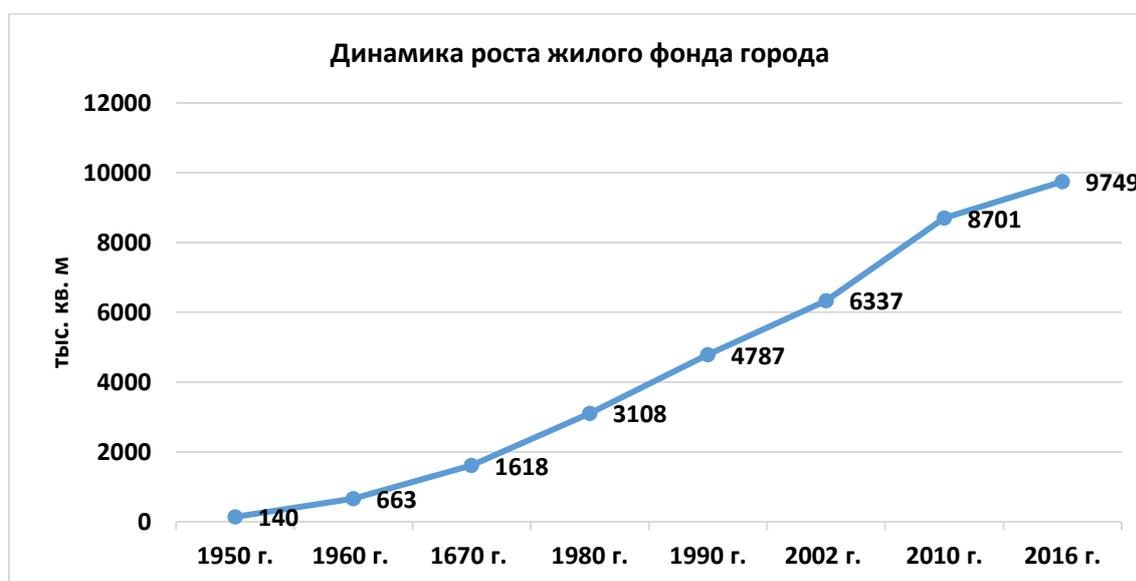


Рис. 11. Динамика роста жилого фонда Белгорода

Таблица 8

Распределение жилого фонда по этажности в период 2015-2016 гг.

Застройка по этажности	2015 г.	2016 г.
	тыс.кв.м.	тыс.кв.м.
Итого, в т. ч.	1539	1551
свыше 9 этажей	365	369
9-этажная	264	264
5-8-этажная	572	577
2-4 этажная	338	341
Общая площадь домов, тыс. кв.м.	11114,10	11327,68

Таблица 9

Наличие квартир

	2008г.	2009г.	2010г.	2011г.	2012г.	2013г.	2014г.	2015г.	2016г/
Всего квартир	134653	138386	1437799	147417	150750	150982	155664	167564	149361
однокомнатных	28099	29740	31622	33137	34983	34043	34895	41181	41486
двухкомнатных	53150	54270	55954	57148	57725	57456	59191	62934	58017
трехкомнатных	43998	44509	45929	46483	46975	48015	49702	51289	41747
4-комнатных	9406	9867	10294	10649	11067	11468	11876	12160	8111

Таблица 10

Возрастная структура населения

Возрастные группы	1959г.	1970г.	1979г.	1989г.	2000г.	2010г.	2015г.
моложе трудоспособного	23,0	24,2	21,1	23,3	17,1	49,1	60,9
трудоспособный возраст	66,6	63,4	66,8	61,7	64,2	239,1	233,3
старше трудоспособного	10,0	12,2	12,1	15,0	18,7	74,6	93,0

Таблица 11

Наличие ветхих и аварийных зданий

	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.
Ветхие дома, единиц	302	300	225	185	161	161	234	122	122
Площадь, тыс. м.	109,0	100,5	90,2	100,2	91,1	91,1	111,6	12,1	12,1
Аварийные дома, единиц	100	151	76	73	56	45	40	36	23
Площадь, тыс. м. кв	42,3	62,4	35,7	38,9	29,5	25,5	22,4	21,2	12,9



Рис. 12. Объем продаж

Выводы. Проанализировав количественные показатели и соотношение объемов жилого фонда по основным типам жилых домов и квартир и по основным этапам жилищного строительства в Белгороде можно выявить следующее (рис. 12, 13, табл. 4, 10). Большую часть жилого фонда города Белгорода составляют дома типовых массовых серий. Основным типом квартиры

во все периоды является 2-х комнатный тип квартиры. Четырехкомнатный тип квартир начал появляться в массовом жилищном строительстве только в 1970 г. в высотных жилых домах. До 1970 г. такой тип квартир в 2-х, 3-х и 5-ти этажных жилых домах отсутствовал.

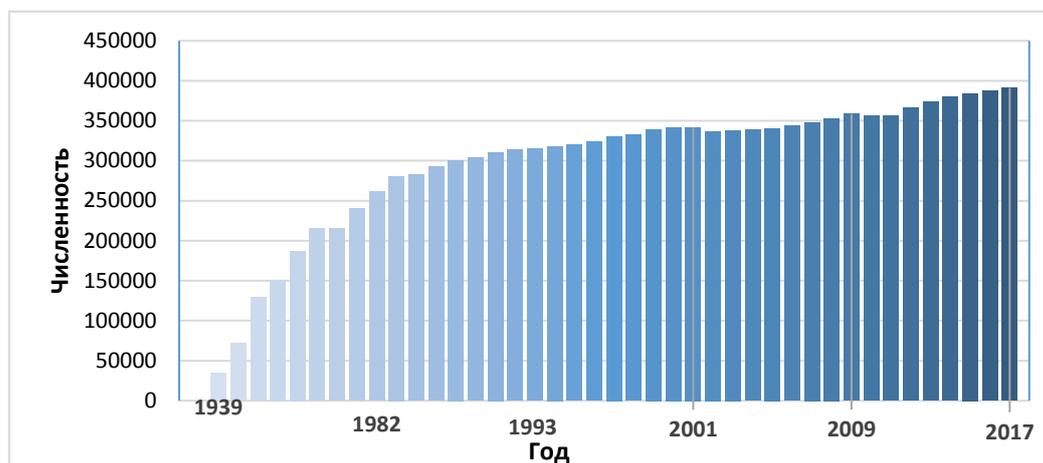


Рис. 13. Численность за период с 1939 по 2017 гг.

В 2000 г. начинается разделение жилого фонда по степени комфорта и благоустройства на социальное жилье, жилье для среднего класса и элитное жилье. Комфортность жилого фонда связана с общей площадью квартир в домах различного типа, расположением в городе, этажностью и др. (табл. 5). В 1980 г. 4–5 этажные жилые дома составляли основу городского жилого фонда. Их объем составлял 55 % от всего жилищного строительства. В период с 2000 г. по 2005 г. преобладающим типом домов является 6-ти и более этажная застройка. Ее объем от общего жилищного строительства составил 70 %. В 2016 г. преобладающим типом застройки становится 5–8 этажные жилые дома. Их объем составляет 37 % (табл. 7). Развитие жилищного строительства в период с 2000 г. выявило тенденцию повышения общей площади квартиры. Согласно статистическим данным происходит сокращение ветхого и аварийного жилого фонда (табл. 11).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Благова М.В. Архитектурное формирование коммерческого жилища на социально-функциональной основе (на примере г. Ростова-на-Дону): автореф. дис. канд. арх. Н.Новгород: ННГАСУ, 2015. 28с.

2. Большаков А.Г., Лоншаков Д.А., Бондарева В.Ю., Щербакова Т.П. Оценка взаимосвязи социальных и пространственных факторов в планировке города Белгорода // Вестник ИрГТУ. 2015. №1(96). С. 88–102.

Информация об авторах

Попова Виктория Юрьевна, аспирант кафедры архитектуры и градостроительства. E-mail: Vondareva.Viktoria1@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в августе 2018 г.

© Попова В.Ю., 2018

3. Карташова К.К. Формирование архитектурно-планировочной структуры городского жилища на социально-демографической основе: автореф. дис... д-ра арх.:18.00.02 Москва, 1985. 42 с.

4. Лыжин С.М. Архитектура и структура жилищного фонда города (на примере городов Урала): дис... д-ра арх. : 18.00.02 Москва, 2007. 258 с.: ил.

5. Перькова М.В., Большаков А.Г. Теоретическая модель развития региональной системы расселения // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. №1. С. 105–112.

6. Полякова Т.А. Состояние и оценка функционально-планировочной структуры крупного города (на примере г. Белгорода): автореф. дис. ... канд. географ. наук: 25.00.24. Краснодар, 2011. 24 с.

7. Яргина З.Н., Хачатрянц К.К. Социальные основы архитектурного проектирования: учебник для вузов. М.: Стройиздат, 1990. 343 с.

8. Сайт Шаги по Белгороду [Электронный ресурс]. URL: <https://sanchess-city31.livejournal.com/42546.html> (дата обращения: 2.07.2017)

9. Сайт органов местного самоуправления. О Белгороде [Электронный ресурс]. URL: <http://www.beladm.ru/o-belgorode/> (дата обращения: 2.07.2017)

10. Сайт Белгород. Градотека [Электронный ресурс]. URL: <http://gradoteka.ru/city/belgorod> (дата обращения: 2.07.2017).

^{1,*}**Popova V.U.**

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46
*E-mail: Bondareva.Viktoria1@gmail.com

TYOLOGY OF HOUSING STOCK IN BELGOROD CITY

Abstract. The article deals with typology of housing stock in Belgorod city. For Belgorod, the main type of housing is an apartment. The ability to own a house is the main indicator of living standard in the city. The article analyzes development and formation of the housing stock structure in Belgorod by type of apartments during main stages of mass housing development and main types of houses and apartments for the period from 1945 to the present. The given period is divided into five stages of housing construction. Each stage is characterized by an increase in the number of floors. In the postwar period, single-storey and double-storey buildings are considered. In the second period, there are three-storey houses. However, the three-story building did not receive further development. The third period includes the growth of the city in the area of Kharkovskaya gora and an increase of floors to five. During the fourth period, the nine-storey buildings appear which becomes dominant in Belgorod. The fifth period presents the division of mass housing construction in classes. An area and a structure of apartments are analyzed in the considered periods. These factors determine the comfort of living in a house. In addition, the growth dynamics of the housing stock and the population size are analyzed for the studied period. The article reveals the main type of apartment and the predominant type of development in Belgorod. Various types of apartments in Belgorod are demonstrated.

Keyword: living environment, housing construction, comfort of housing stock, standards of housing provision, urban housing stock.

REFERENCES

1. Blagova M.V. Architectural formation of a commercial dwelling on a social and functional basis (on the example of the city of Rostov-on-Don): abstract. dis... PhD arch. N. Novgorod: NNSACU, 2015, 28 p.
2. Bolshakov A.G., Lonshakov D.A., Bondareva V.Yu., Shcherbakova T.P. evaluation of the relationship of social and spatial factors in the planning of the city of Belgorod. Vestnik of the Irkutsk STU, 2015, no. 1 (96), pp. 88–102.
3. Kartashova K.K. Formation of the architectural and planning structure of urban housing on a socio-demographic basis: author. Dis ... Dr. Arch.: 18.00.02 Moscow, 1985. 42 p.
4. Lyzhin S.M. Architecture and structure of the housing stock of the city (on the example of Ural cities): dis... Dr. arch. : 18.00.02. Moscow, 2007. 258 p.: ill.
5. Perkova M.V., Bolshakov A.G. Theoretical model of development of the regional settlement system. Bulletin of BSTU named after

V.G. Shukhov, 2017, no. 1, pp. 105–112.

6. Polyakova T.A. State and assessment of the functional planning structure of a large city (on the example of Belgorod): abstract. dis... cand. of geographical sciences: 25.00.24. Krasnodar, 2011, 24 p.
7. Yargina Z.N., Khachatryants K.K. The Social Foundations of Architectural Design: A Textbook for High Schools. M.: stroizdat, 1990. 343 p.
8. Website Steps in Belgorod [Electronic resource]. URL: <https://sanchess-city31.livejournal.com/42546.html> (date accessed: 2.07.2017)
9. Site of local governments. About Belgorod [Electronic resource]. URL: <http://www.beladm.ru/o-belgorode/> (accessed: 2.07.2017)
10. Site Belgorod. Grudoteka [Electronic resource]. URL: <http://gradoteka.ru/city/belgorod> (accessed: 2.07.2017)

Information about the author

Popova, Viktoria U. Postgraduate student. E-mail: Bondareva.Viktoria1@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in August 2018

Для цитирования:

Попова В.Ю. Типология жилищного фонда города Белгорода // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №12. С. 73–82. DOI: 10.12737/article_5c1c9962ba70d6.35793184

For citation:

Popova V.U. Typology of the housing fund of the city of Belgorod. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 12, pp. 73–82. DOI: 10.12737/article_5c1c9962ba70d6.35793184

DOI: 10.12737/article_5c1c99640dff53.24262657

¹*Перькова М.В., ²Вайтенс А.Г., ¹Баклаженко Е.В.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46²Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Россия, 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4

*E-mail: perkova.mv@bstu.ru

КЛАССИФИКАЦИЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОНФЛИКТОВ

Аннотация. В рамках развиваемого конфликтологического подхода разработана классификация градостроительных конфликтов. Сформулированы принципы снятия противоречий развития территории и разрешения конфликтов: принцип целостности или всеобщей связи, принцип системности градостроительного развития, принцип определяющих градостроительных конфликтов и противоречий развития, принцип поиска компромисса между интересами и потребностями участников градостроительной деятельности. Уточнено определения градостроительного конфликта, предложено понятие градостроительного противоречия развития территорий. Разработана классификация основных видов конфликтов между участниками градостроительной деятельности (землепользовательские, социально-функциональные, транспортные, нормативно-правовые, имущественные) и классификация градостроительных конфликтов по группам (по иерархическим уровням, по продолжительности, по способу возникновения, по характеру проявления, по стратегии развития, по видам локации).

Ключевые слова: градостроительные конфликты, классификация градостроительных конфликтов, городской конфликт, градостроительство.

Введение. Стремительный рост городов не мог не вызвать многочисленных социальных, технических и экологических проблем. Высокая концентрация материальных, энергетических, людских ресурсов и отходов жизнедеятельности на ограниченной территории в сочетании с недостатками организации среды обитания породили экологические конфликты и противоречия, которые отразились в ухудшении здоровья населения и снижении экономической эффективности производства. Пространственной группой конфликтов занимается градостроительство. При этом центральным объектом исследования при изучении городского конфликта становится градостроительный конфликт – «вид городского конфликта, который происходит в результате градостроительного процесса и фактического изменения пространства городской среды из-за нарушений одним или несколькими участниками баланса интересов и представлений о будущем места» согласно определению С.М. Кончекова [7]. По мнению исследователя, градостроительный конфликт является индикатором отношений общества, власти и бизнеса. Он способен выявлять внутренние противоречия, пороги порядка и хаоса и является ключевым в ответе на вопрос об актуальности изучения данного явления. Один из типов социально-пространственного конфликта тот, где в центре внимания находится факт изменения среды и пересечение интересов различных групп. Градостроительная ситуация рассматривается как часть городской среды – социально-

пространственной системы. Системный подход в изучении этой системы позволяет раскрыть ее структуру – пространственные объекты, социальные субъекты, связи между ними. Градостроительная ситуация с одной стороны - социально-пространственная система и предмет градостроительной деятельности, с другой - система, которая может быть конфликтной.

Конфликтная тематика в теории градостроительства рассматривалась исследователями второй половины XX века. В зарубежных градостроительных исследованиях пространственный конфликт рассматривался в работах американских градостроителей К. Линча, Дж. Форестера, итальянского архитектора С. Боэри, а также европейских градостроителей Г. Эдельмана, Б. Де Мелдера и других. Однако работы Г. Эдельмана, Дж. Форестера посвящены стратегиям управления градостроительной деятельностью (в частности – организации переговорного процесса при принятии решений), К. Линч [8] концептуально описал систему критериев градостроительной формы, увязывающих ее развитие с конфликтным характером общественной системы.

Основная часть. Большинство градостроительных конфликтов связаны с противоречиями по поводу отношения к пространству, так как взаимодействие идет в первую очередь между социальными субъектами. Важным для рассмотрения начала конфликта является факт изменения среды (градостроительной ситуации) в процессе взаимодействия. Например, военные действия в

качестве результата имеют изменение административного деления территорий между противниками, катастрофы и стихийные бедствия – физические изменения окружающей среды (как положительные, так и негативные), земле-пользовательские – изменения на уровне зонирования и потенциала земельного участка, его истощения, политические, городские конфликты влекут за собой изменение территориального аспекта социальной системы, в том числе в виде строительства границ, городских стен и т.д., средовые в результате приводят к смене режима функционирования территорий [13].

С другой стороны, конфликтность пространства города рассматривается как один из факторов городской жизни, социальной сегрегации, присвоения пространства различными социальными группами. Исследования пространственного аспекта конфликтов проводили также американские социологи Л. Вирт, Э. Берджесс (городские конфликты), М. Кастельс (конфликтная основа развития городского пространства).

Основными факторами градостроительных конфликтов являются ограниченность ресурсов, взаимозависимость задач, неудовлетворительные коммуникации, различия в целях, интересах и ценностях участников градостроительной деятельности. Конфликтная напряженность возникает «из-за несовместимых действий; несогласованных приоритетов; нереализованных запросов; неудовлетворённых потребностей, а также нераскрытых возможностей; невостребованных инноваций; несовместимых ценностей; утраченных надежд; пространственных дисгармоний» (Моисеев Ю.М.). Отсутствие механизмов для их предупреждения отрицательно сказывается на развитии организационной культуры градостроительного планирования и общее качество городской среды (Рудницкий) [9, 10]. Конфликты в природопользовании рассматривал Алексеенко Н.А., Дроздов А.В., Алексеев Ю.В., Самойлова Н.А. [1, 2, 3, 6].

Определение общих принципов функционирования и развития региональных систем расселения в рамках развиваемого конфликтологического подхода является одной из первоочередных задач архитектурно-градостроительной методологии, под которыми «понимается необходимая и существенная взаимосвязь предметов и явлений объективной действительности» (Г.И. Лаврик). Общими принципами снятия противоречий развития территории и разрешения конфликтов автор исследования предлагает считать:

- *Принцип целостности или всеобщей связи*, основанный на междисциплинарных ис-

следованиях рассматриваемой территории предполагает изучение и оценку максимально большое количества существенных связей конфликта с другими явлениями, процессами и своими подсистемами. Методологическое воплощение этого принципа осуществляется через учет действия основных законов диалектики и взаимодействий ее парных категорий: закон единства и борьбы противоположностей освещает внутренние источники развития конфликтов, закон перехода количественных изменений в качественные раскрывает эволюцию и динамику развития конфликтов и помогает выявить закономерности и противоречия развития территории. Парные категории диалектики - материя и движение, время и пространство, количество и качество, единичное и общее, сущность и явление, содержание и форма - позволяют комплексно рассмотреть изучаемый объект.

- *Принцип системности градостроительного развития* предполагает, что рассматриваемый градостроительный объект является элементов иерархической системы, должен рассматриваться как развивающаяся системная целостность и как элемент более высокого процесса культурно-исторического развития которая, в свою очередь, может быть подсистемой более высокого уровня. город Немаловажно выявлять и учитывать все многообразие элементов в структуре конфликта, связи между ними, а также отношения и зависимость конфликта от внешних явлений и факторов.

- *Принцип преемственности*, т.е. сохранению природного и историко-культурного своеобразия требует учета конкретных условий освоения территории: времени, страны, культуры, этноменталитета, институциональных форм, определенных обстоятельств организации среды жизнедеятельности, природных условий.

- *Принцип определяющих градостроительных конфликтов и противоречий развития территории* предполагает минимизацию влияния личностных и групповых интересов, установок, предрассудков и других проявлений субъективизма в отношении существующих и прогнозируемых градостроительных конфликтов и противоречий развития территории.

- *Принцип поиска компромисса между интересами и потребностями участников градостроительной деятельности* реализуется путем гармонизации частных, общественных интересов и интересов природного каркаса с помощью решения конфликтов различных видов и пространственных структур [11, 12].

Понятийный аппарат основывается на представлении, что конфликт функции возникает,

если на одну и ту же территорию претендуют различные социальные группы с противоположными интересами, потребностями и мотивациями. Единого понятия конфликта в литературе нет. Рассмотрим существующие определения конфликтов, имеющие в той или иной степени отношение к пространству. Городской конфликт – столкновение интересов «пользователей города» по поводу городского пространства, получившее внешнее выражение (Т. Бонакер) [16]. Изучением данного явления занимается ряд наук, а большинство научных представлений можно разделить на две группы: социально-экономическую и пространственную [6].

Градостроительный конфликт по Фредину является одним из состояний градостроительной ситуации из-за разницы взглядов на виды использования территории, а именно – состоянием дисбаланса, в котором она не может выполнять своей основной функции. Конфликт функции возникает, если на одну и ту же территорию претендуют различные социальные группы с противоположными мотивациями [13].

В данном исследовании Перьковой М.В. уточнены определения конфликта и предложено понятие градостроительное противоречие развития территории.

Градостроительный конфликт – столкновение противоположных интересов и потребностей между участниками градостроительной деятельности по отношению к территории.

Градостроительное противоречие развития территории – ситуация, при которой в процессе землепользования резко снижается качество искусственно-естественной среды региона. В градостроительстве при одновременной истинности двух взаимоисключающих вариантов землепользования приоритет должен быть отдан сохранению природного каркаса. В градостроительном конфликте действуют несколько групп участников: власти и жители населенных мест, инвесторы, территория. Все имеют свои функции, права и интересы в развитии. Лоббирование интересов, противоречащих сохранению природного каркаса, приводит к возникновению градостроительных противоречий развития территории, которые приводят к деформациям и/или необратимым изменениям исторических ландшафтов. В формальной логике противоречие считается недопустимым согласно закону противоречия.

Градостроительные конфликты, как и конфликты других дисциплин, могут быть скрытые и явные, интенсивные и стертые, кратковременные и затяжные, вертикальные и горизонтальные. По значению для группы и организации кон-

фликты делятся на конструктивные (созидательные, позитивные) и деструктивные (разрушительные, негативные). Первые приносят делу пользу, вторые – вред. От первых уходить нельзя, от вторых – нужно. По характеру причин конфликты можно разделить на объективные и субъективные. Первые порождены объективными причинами, вторые – субъективными, личностными. Объективный конфликт чаще разрешается конструктивно, субъективный, напротив, как правило, разрешается деструктивно.

Ф. Глазл условно подразделяет конфликты по трем категориям: по предмету спора, по формам проявления, по свойствам конфликтующих сторон, их позициям и взаимным отношениям. Кроме того, он составил типологии, ориентированные на действия и рамки конфликта [14]. А.Г. Здравомыслов рассматривает в качестве движущих сил конфликта потребности, интересы, ценности, перекрестно анализируя их в основных сферах жизнедеятельности: экономике, политике и духовной жизни. Н. Ф. Федоренко и В. П. Галицкий в качестве признаков типологизации рассматривают длительность течения, содержание конфликта, его объект, силу воздействия на участников, форму проявления, источник возникновения, последствия и т. д. О.Н. Громова проводит классификацию конфликтов “в зависимости от ряда факторов: способа их разрешения, сферы проявления, направленности воздействия, степени выраженности, количества участников, наличия объекта конфликта, затронутых потребностей”.

А.Я. Анцупов и А.И. Шипилов в “социальные конфликты включают: межличностные, между личностью и группой, между малыми, средними, большими социальными группами, межгосударственные” [4]. Важную роль в анализе конфликтов играет вопрос о мотивации конфликтующих сторон. В зависимости от мотивации исследователи выделяют три блока социальных конфликтов:

- 1) возникающие в связи с распределением властных полномочий и позиций;
- 2) по поводу материальных ресурсов;
- 3) по поводу ценностей важнейших жизненных установок.

С развитием конфликтной ситуации состояние напряженности между сторонами может изменяться как по восходящей, так и нисходящей линии. Между разными социальными группами и участниками градостроительной деятельности возникают различные противоречия, способные стать причиной градостроительных конфликтов. Значительную роль в градостроительных конфликтах играют экономические, которые представляют собой определенную совокупность

конфликтов, основанных на экономических интересах отдельных личностей, групп, организаций. Экономическая деятельность людей, особенно производство благ, удовлетворяющих многочисленные потребности, оказывает воздействие на развитие производственных отношений и определенных социальных структур, в рамках которых сталкиваются различные интересы. В этом взаимодействии интересов можно обнаружить источники многих конфликтов, играющих существенную роль в жизни общества, что наглядно подтверждает исторический материал. Конфликты имеют место, где есть борьба за собственность, различные ресурсы, которые возникают на федеральном, региональном и местном уровнях управления.

Экологические конфликты появляются вследствие расхождения целей и интересов различных групп, слоев, личностей, возникающих в процессе жизнедеятельности, нарушающей природную среду. Природоохранные действия сообществ людей осуществляются в противовес техногенному давлению на окружающую среду. Размещение и организация труда все большего количества людей в районах с искусственно созданной средой (техносфера) повышает конфликтность в сфере отношений человека и природы, что требует не только бережного отношения к природе, но и постоянного воспроизводства природной среды.

Известный в нашей стране конфликтолог Э. А. Уткин подразделяет конфликты по способу их разрешения:

- на антагонистические – могут быть разрешены лишь путем разрушения структур всех конфликтующих сторон;

- компромиссные – допускают несколько вариантов их разрешения за счет взаимного изменения целей участников конфликта, сроков, условий взаимодействия [15].

Антагонистические конфликты характеризуются неустойчивостью и непримиримостью сторон, в то время как компромиссные допускают несколько вариантов их разрешения путем сближения взглядов и интересов сторон.

Авторами разработана классификация основных видов градостроительных конфликтов между участниками градостроительной деятельности:

- 1) земельно-пользовательские (территория, федеральные нормативные документы, региональные нормативные документы, городская власть, население, собственник/арендатор);
- 2) социально-функциональные (территория, городская власть, объекты социальной инфраструктуры, население, инвестор, собственник/арендатор, региональные программы развития);
- 3) транспортные (территория, городская власть, общественный транспорт, личный транспорт, велосипедисты, население, региональные программы развития);
- 4) нормативно-правовые (территория, федеральные нормативные документы, региональные нормативные документы, городская власть, население);
- 5) имущественные (территория, федеральные нормативные документы, региональные нормативные документы, городская власть, собственник/арендатор, инвестор) (рис. 1).

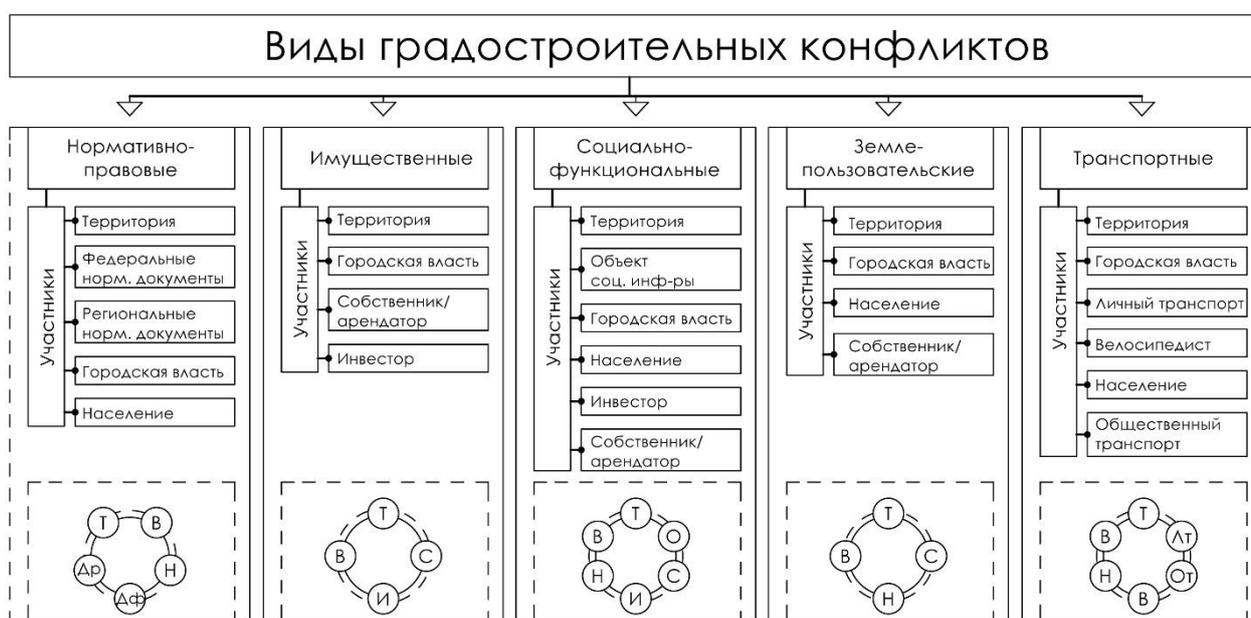


Рис. 1. Виды градостроительных конфликтов

Предложена классификация градостроительных конфликтов по группам:

1) по иерархическим уровням: региональный, районный, местный, локальный;

2) по продолжительности: повседневные, периодические и эпизодические, которые могут временные и постоянные;

3) по способу возникновения: ухудшение уже имеющейся среды, реконструкция городской

среды, новое планирование/строительство, реорганизация, рефункционализация среды;

4) по характеру проявления: дисбаланс и дисфункция;

5) по стратегии развития (урегулирования): антагонистические, регулировочные, синергетические;

6) по видам локации: точечные, площадные, линейные (рис. 2).

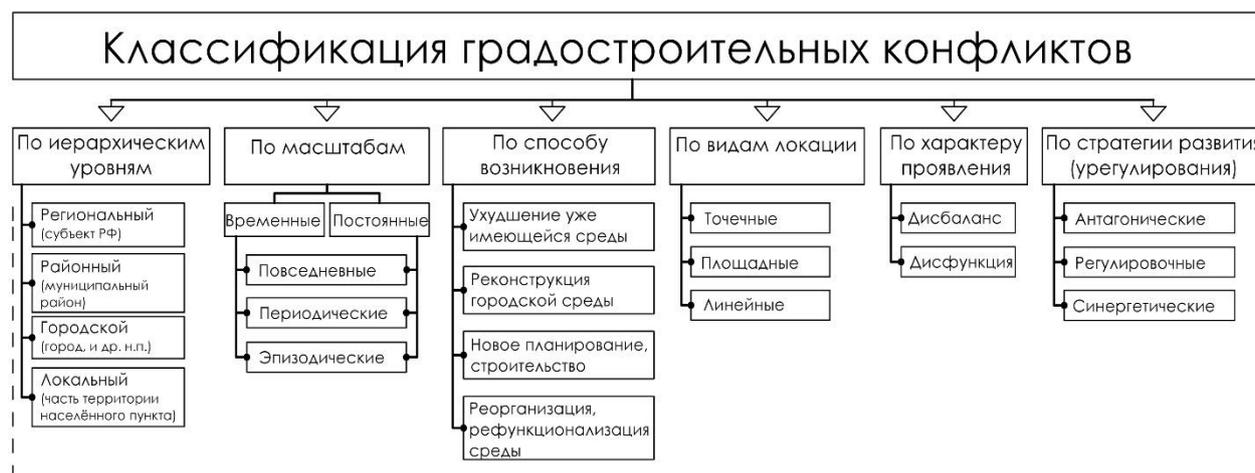


Рис. 2. Классификация градостроительных конфликтов

К площадным конфликтам относятся: сильно эродированные в результате сельскохозяйственного использования земли; загрязнение территории пестицидами и ядохимикатами; перспективные рекреационные территории, выделенные на территории лесов первой группы; сельскохозяйственные земли, попадающие в ареалы перспективного градостроительного освоения.

К линейным – загрязнение от передвижных источников, сброс неочищенных сточных вод в реки, перевод лесов первой группы в нелесные.

Третий тип конфликтов включает только конфликты точечной локализации, к ним, по типу локализации присоединяются крупные месторождения полезных ископаемых на территории лесов I группы и болот, выполняющих водорегулирующие функции; свалки ТБО и производственных отходов; очистные сооружения в критическом состоянии или их отсутствие [6].

В градостроительном конфликте действуют несколько групп участников: власти и жители населенных мест, инвесторы, пространственная среда (территория). Все имеют свои функции, права и интересы в развитии. Власти принимают и реализуют социальные, градостроительные и прочие проекты развития города, а также занимаются контролем и мониторингом за выполнением и законностью тех или иных действий со стороны жителей города и инвесторов. Инвесторы, дей-

ствуя в соответствии с необходимыми нормативно-правовыми актами и проектами развития города, стремятся получить максимальную выгоду при реализации созданных ими объектов недвижимости. Жители города предпочитают качественную среду жизнедеятельности. Конфликты имеют как негативные, так и позитивные последствия. **Границы конфликта** можно определить в пространстве и во времени. Знание территориальных границ конфликта облегчает задачу определения его участников, позволяет принять превентивные меры. Временные границы конфликта характеризуются его началом, концом, продолжительностью.

Основные 4 группы градостроительных конфликтов между компонентными целями при их воплощении в организации территории и названные основными противоречиями устойчивого развития территории были предложены А.Г. Большаковым: экономики и экологии, социального и индивидуального, духовного и материального, эстетики и информатики [5]. Эти четыре укрупненные группы автор предлагает принять как основные градостроительные противоречия развития территорий. На примере изучения конкретной территории предлагается формулировать частные случаи градостроительных противоречий развития территории.

Выводы. Таким образом, предлагаемый к развитию конфликтологический подход позволит

- 1) обеспечить эффективное неистощительное природопользование;
- 2) способствовать восстановлению способности природного каркаса к самовоспроизводству и самовосстановлению;
- 3) обеспечить безопасную среду жизнедеятельности населения;
- 4) создать эффективную систему управления процессами пространственного развития;
- 5) обобщить проводимые до настоящего времени исследования городской конфликтности и противоречивости развития территорий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Алексеев Ю.В., Самойлова Н.А. Подход к организации градостроительного планирования территории угольного бассейна // *Архитектура и строительство России*. 2015. № 8. С. 30–39.
2. Алексеенко Н.А., Дроздов А.В. Конфликты в природопользовании и их картографирование (на примере НП "Угра") // *Изв. РАН сер. геогр.*, 2005. №6. С.77–85.
3. Алексеенко Н.А. Конфликты природопользования и их отображение в системе карт ландшафтного планирования: автореф. канд. дисс., М., 2004.
4. Анцупов А.Я., Шпилов А.И. Конфликтология: Учебник для вузов. М.: ЮНИТИ, 2000. 551 с.
5. Большаков А.Г. Градостроительная организация ландшафта как фактор устойчивого развития территории: (Диссертация на соискание ученой степени доктора архитектуры). Иркутск: ИГТУ, 2003.
6. Дроздов А.В., Алексеенко Н.А. Ландшафтное планирование и конфликты природопользования // *Природопользование и устойчивое развитие. Мировые экосистемы и проблемы России*. М.: КМК, 2006. С. 359–369.
7. Кончеков С.М. Теоретические представления градостроительного конфликта // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2018. №1(42). С. 269–286 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://marhi.ru/AMIT/2018/1kvart18/20_
8. Линч К. Совершенная форма в градостроительстве. Пер. В. Глазычева. М: Стройиздат, 1989.
9. Моисеев Ю.М. Управление градостроительными конфликтами в операционном контексте стратегического планирования // *Научные труды Вольного экономического общества*. М. 2012. Т. 157. С. 167–194.
10. Моисеев Ю.М. Пороги неопределенности в системе градостроительного планирования: дис. ... д-ра арх.: 05.23.22 / Моисеев Юрий Михайлович. Москва, 2017. 345 с.
11. Перькова М.В. Методика выявления и разрешения градостроительных противоречий развития на региональном уровне // *Вестник БГТУ им. Шухова*. 2018. № 4. С. 62–72.
12. Перькова М.В. Конфликтологический подход в градостроительстве* // *Архитектура и строительство России*. 2018. № 2. С. 92–99.
13. Фрейдин Е.О. Конфликтологическая концепция градостроительной деятельности (градостроительная конфликтология) // «Сибирская архитектурно-художественная школа: наука, практика, образование»: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Новосибирск: ООО Издательство «Сибпринт», 2007. 193 с.
14. Шарков Ф.И., Сперанский В.И. Конфликтология. 5-е изд. СПб.: Питер, 2013 г.
15. Уткин Э.А. Конфликтология: теория и практика. М.: Экмос, 1998.
16. Bonacker Thorsten, von Heusinger Judith, Zimmer Kerstin. Localization in Development Aid. How Global Institutions enter Local Lifeworlds. London, New York, 2017.

Информация об авторах

Перькова Маргарита Викторовна, кандидат архитектуры, доцент, профессор кафедры архитектуры и градостроительства. E-mail: perkova.mv@bstu.ru, perkova.margo@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Вайтенс Андрей Георгиевич, доктор архитектуры, доцент кафедры градостроительства. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Баклаженко Екатерина Владимировна, аспирант кафедры архитектуры и градостроительства. E-mail: baklazhenko.ev@bstu.ru. E-mail: mrs.baklazhenko@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в сентябре 2018 г.

© Перькова М.В., Вайтенс А.Г., Баклаженко Е.В., 2018

¹*Perkova M.V., ²Vitens A.G., ¹Baklazhenko E.V.

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

²Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Russia, 190005, St. Petersburg, st. 2-ya Krasnoarmeiskaya 4

*E-mail: perkova.margo@mail.ru

CLASSIFICATION OF URBAN CONFLICTS

Abstract. The article's authors propose the classification of urban conflicts according to conflictological approach. The article consists principles of conflict resolution for land development: principle of universal connection and integrity, systematic urban development, principle defining urban conflicts and contradictions of development, compromise searching in the urban planning participants' relationship. The definition of urban planning conflict is clarified. The concept of urban planning contradiction of the land development is proposed. The classification of the main types of conflicts between the participants of urban development (landowning, social and functional, transport, legal, property) and the classification of urban conflicts into groups (by hierarchical levels, by duration, by method of occurrence, by the nature of manifestation, by development strategy, by types of location) are presented.

Keywords: urban planning conflicts, urban conflicts, classification of urban conflicts, urban planning.

REFERENCES

1. Alekseev Yu.V. Approach to the organization of urban planning of the coal basin. Architecture and construction of Russia, 2015, no. 8, pp. 30–39.
2. Alekseenko N.A., Drozdov A.V. Conflicts in nature management and their mapping (on the example of NP "Ugra"). Izv. RAS ser. geogr., 2005, no. 6, pp. 77–85.
3. Alekseenko N.A. Conflicts of nature management and their display in the system of maps of landscape planning: autoref. kand. Diss., M., 2004.
4. Antsupov A.Ya., Shipilov A.I. Conflictology: the Textbook for high schools. Moscow: UNITY, 2000, 551 p.
5. Bolshakov A.G. Urban landscape organization as a factor of sustainable development of the territory: (Thesis for the degree of doctor of architecture).- Irkutsk: IGTU, 2003.
6. Drozdov A.V., Alekseenko N.A. Landscape planning and conflicts of nature management Nature Management and sustainable development. World ecosystems and problems of Russia. M.: KMK, 2006, pp. 359–369.
7. Konchekov S.M. Theoretical representations of urban conflict. Architecture and Modern Information Technologies, 2018, no. 1 (42), pp. 269–286 [Electronic resource.] – Access mode: http://marhi.ru/AMIT/2018/1kvart18/20_
8. Lynch K. Perfect form in urban planning. per. V. glazycheva. M: Stroyizdat, 1989.
9. Moiseev Yu.M. Management of urban conflict in the operating context, strategic planning. Scientific works of the Free economic society. M, 2012, vol. 157, pp. 167–194.
10. Moiseev Yu.M. Uncertainty thresholds in the urban planning system: dis. ... Dr. arch.: 05.23.22. Moiseev Yuri Mikhailovich. Moscow, 2017, 345 p.
11. Perkova M.V. Methods of identification and resolution of urban development contradictions at the regional level. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 4, pp. 62–72.
12. Perkova M.V. Conflictological approach in urban planning*. Architecture and construction of Russia, 2018, no. 2, pp. 92–99.
13. Freidin E.O. Conflictological concept of urban planning (urban conflictology). "Siberian architectural and art school: science, practice, education": Materials of the all-Russian scientific and practical conference. Novosibirsk: Publishing house "Sibprint", 2007, 193 p.
14. Sharkov F.I., Speransky V.I. Conflict management. 5th ed. SPb.: Peter, 2013.
15. Utkin E.A. Conflictology: theory and practice. Moscow: Ecmos, 1998.
16. Bonacker Thorsten, von Heusinger Judith, Zimmer Kerstin. Localization in Development Aid. How Global Institutions enter Local Lifeworlds. London, New York, 2017.

Information about the authors

Perkova, Margarita V. PhD, Assistant professor. E-mail: perkova.margo@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Vitens, Andrew G. DSc, Assistant professor. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, St. Petersburg, 2-ya Krasnoarmeiskaya St. 4.

Baklazhenko, Ekaterina V. Postgraduate student. E-mail: mrs.baklazhenko@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in September 2018

Для цитирования:

Перькова М.В., Вайтенс А.Г., Баклаженко Е.В. Классификация градостроительных конфликтов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №12. С. 83–90. DOI: [10.12737/article_5c1c99640dff53.24262657](https://doi.org/10.12737/article_5c1c99640dff53.24262657)

For citation:

Perkova M.V., Vitens A.G., Baklazhenko E.V. Classification of urban conflicts. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 12, pp. 83–90. DOI: [10.12737/article_5c1c99640dff53.24262657](https://doi.org/10.12737/article_5c1c99640dff53.24262657)

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.12737/article_5c1c99652f7a31.56915689

^{1,*}Ключникова Н.В., ²Генов И., ¹Мухачева В.Д., ¹Пискарева А.О.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46²Фонд науки и образования
Болгария, г. Бургас, ул. Оборище, 21

*E-mail: 4494.55@mail.ru

ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ КОМПОЗИТОВ

Аннотация. Срок службы большинства конструкций и сооружений во многом зависит от интенсивности эксплуатационных нагрузок. Долговечность конструкций обеспечивается, в свою очередь, применением надежных антикоррозионных покрытий. Основными требованиями, которым должны отвечать защитные покрытия, является обеспечение надежности в течение запланированного межремонтного периода. Для получения изделий из полимерных композиций и защитных покрытий на их основе в настоящее время применяют широкий спектр связующих материалов. Среди полимерных материалов, применяемых в качестве связующих для клеев, компаундов, герметиков, защитных покрытий, одно из ведущих мест принадлежит эпоксидным олигомерам и, в частности, эпоксидным смолам. Однако, покрытиям на основе эпоксидных смол свойственны некоторые недостатки. Основными недостатками не модифицированных эпоксидных смол являются их высокая хрупкость и фактическое отсутствие эластичности, что в условиях знакопеременных нагрузок или значительных колебаний температуры ухудшает их защитные и деформационно-прочностные свойства и снижает срок службы покрытий. Целью работы являлось оптимизация технологии получения эпоксидно-каучуковых композиций, изучение свойств полученных композитов и улучшение физико-механических характеристик защитных покрытий на их основе. Получены композиции на основе эпоксидной смолы, модифицированные эпоксикаучуковым аддуктом, каучуком и шунгитом, диспергированными в эпоксидной матрице. Определено оптимальное содержание модифицирующих компонентов в эпоксидно-каучуковой композиции. Установлено, что полученные покрытия обладают более высокой стойкостью к ударным нагрузкам, в отличие от исходной эпоксидной смолы.

Ключевые слова: защитные покрытия, эпоксидно-каучуковые композиты, шунгит.

Введение. С целью придания эпоксидным полимерам необходимых эксплуатационных свойств в их состав вводят модификаторы. Наиболее эффективно в качестве модификаторов проявляют себя разнообразные каучуки, способные встраиваться в структуру системы в процессе ее формирования [1]. При этом вопрос совместимости добавки с полимером остается столь же важным. В последние годы в качестве модификаторов эпоксидных смол стали использовать бутадиен-нитрильные каучуки с концевыми карбоксильными группами, а также их аддукты с эпоксидной смолой [2]. Для наилучшего эффекта модификации эпоксидной смолы необходимо, чтобы в ходе отверждения каучук выделялся в дисперсную фазу в виде частиц с определенным размером и с узким размерным распределением, был равномерно введен в эпоксидную матрицу, которая должна быть эластифицирована [3]. В литературе есть сведения, что реакция карбоксильных групп каучуков с эпоксидными группами смолы ЭД-20 медленно протекает при 80 °С. Ее можно провести за 2 часа при 160 °С [4], но

при таком режиме проведения процесса возможно образование разветвленных структур за счет дополнительных взаимодействий с гидроксильными группами каучуков [5].

Методология. В данной работе качестве связующего компонента была использована готовая эпоксидная смола (ЭД-20) высшего сорта, которая представляет собой растворимый и плавкий реакционноспособный олигомерный продукт на основе эпихлоргидрина и дифенилолпропана [6]. В качестве отвердителя был выбран полиэтиленполиамин (ПЭПА), который представляет собой смесь этиленовых аминов. Хорошо растворим в полярных растворителях, способен поглощать из воздуха влагу и углекислый газ. ПЭПА, в отличие от других аминных отвердителей, достаточно простой в применении, а также является конкурентоспособным по экономическим показателям [7]. В качестве модификатора был использован БНКС-18 АН (бутадиен-нитрильный каучук синтетический) производства ОАО "Красноярский завод синтетического кау-

чука" (ОАО "КЗСК"). БНКС-18 АН обладает хорошей стойкостью к алифатическим углеводородам, минеральным, растительным и животным маслам и жирам, воде, свету, высокой стойкостью к износу и истиранию, а также малой газопроницаемостью [8]. Для каучуков различных типов содержание АН звеньев разное, и составляет 17–52 %. На данный момент выпускают каучуки с низким (17–20 %), средним (27–30 %), высоким (36–40 %) и очень высоким (50 %) содержанием звеньев АН, которые соответственно обозначаются: БНКС-18, БНКС-26, БНКС-40, БНКС-50. С увеличением содержания акрилонитрила повышаются прочностные свойства, твердость, износостойкость, стойкость к набуханию. Но, в то же время, существенно снижаются эластичность и морозостойкость, повышается теплообразование при многократных деформациях, что может негативно сказаться на свойствах композиций, в состав которых такой каучук входит в состав [9]. По этой причине для исследования был выбран бутадиен-нитрильный каучук с наиболее низким содержанием нитрила акриловой кислоты. В качестве разбавителя был использован дибутилфталат (ДБФ), который представляет собой бесцветную маслянистую жидкость без резких запахов, $t_{кип}$ 340 °С (с разложением, хорошо растворимую в органических растворителях этаноле, бензоле, ацетоне, малорастворим в воде (~0,1 % при 20 °С).

Использование дибутилфталата обусловлено тем, что он увеличивает износостойкость материала, предотвращает появление трещин, увеличивает прочность материала, а также он хорошо совместим с каучуком и эпоксидной смолой, что позволяет его успешно применять для

получения защитных эпоксидно-каучуковых покрытий [10]. В качестве добавки, препятствующей обрастанию водорослями и грибами в морской воде, был выбран шунгит производства ООО НПК «Карбон-Шунгит».

Основная часть. Как известно из литературных данных, эффективная модификация эпоксидных материалов достигается при использовании продуктов, реагирующих со смолой или отвердителем в процессе совмещения или отверждения с образованием привитых сополимеров [11].

Получение эпоксикаучукового аддукта осуществляли при температуре 120 °С в течение 5 часов. Окончание реакции сополимеризации контролировалось по отсутствию исходных функциональных карбоксильных групп каучука методом прямого титрования.

Получение эпоксидно-каучуковых композиций (ЭКК), содержащих как эпоксикаучуковый аддукт, так и жидкий каучук, проводилось путем смешения исходных компонентов друг с другом при нагревании до 50 °С, композиции, содержащие шунгит, подвергались более тщательному диспергированию. в течение 1 часа при помощи мешалки с верхним приводом. В результате были получены пять ЭКК различного содержания аддукта и три ЭКК, в которых частицы каучука находятся диспергированными в эпоксидной матрице композиции.

Составы ЭКК, содержащие эпоксикаучуковый аддукт приведены в таблице 1.

Составы ЭКК, содержащие диспергированные частицы каучука в смоле приведены в таблице 2.

Таблица 1

Составы ЭКК с эпоксикаучуковым аддуктом

№ ЭКК	Состав ЭКК, масс. %			
	Аддукт	Смола ЭД-20	ДБФ	Шунгит
1	8,8	86,8	4,4	0
2	13,6	79,6	6,8	0
3	22,8	65,8	11,4	0
4	22,1	63,9	11,1	5
5	20,8	58,8	10,4	10

Таблица 2

Составы ЭКК с диспергированными частицами каучука

№ ЭКК	Состав ЭКК			
	БНКС-18 АН	ЭД-20	ДБФ	Шунгит
6	22,8	65,8	11,4	0
7	22,1	63,9	11,1	5
8	20,8	58,8	10,4	10

Затем полученные композиции смешивались с отвердителем в массовом отношении отвердителя и эпоксидной смолы – 1:10, после чего эпоксидно-каучуковые композиции наносили на металлические пластины марки «Сталь 3», которая относится к классу конструкционных сталей обыкновенного качества. Нанесение покрытия производили с помощью малярной кисти.

Время отверждения эпоксидно-каучуковых композиций – 24 часа при 25 °С, 1 час при 80 °С.

Вязкость не отвержденных эпоксидно-каучуковых покрытий является одной из самых важных технологических характеристик, от которой зависит выбор технологического оборудования (приводов, мешалок), интенсификация процессов перемешивания, а также метод нанесения покрытия.

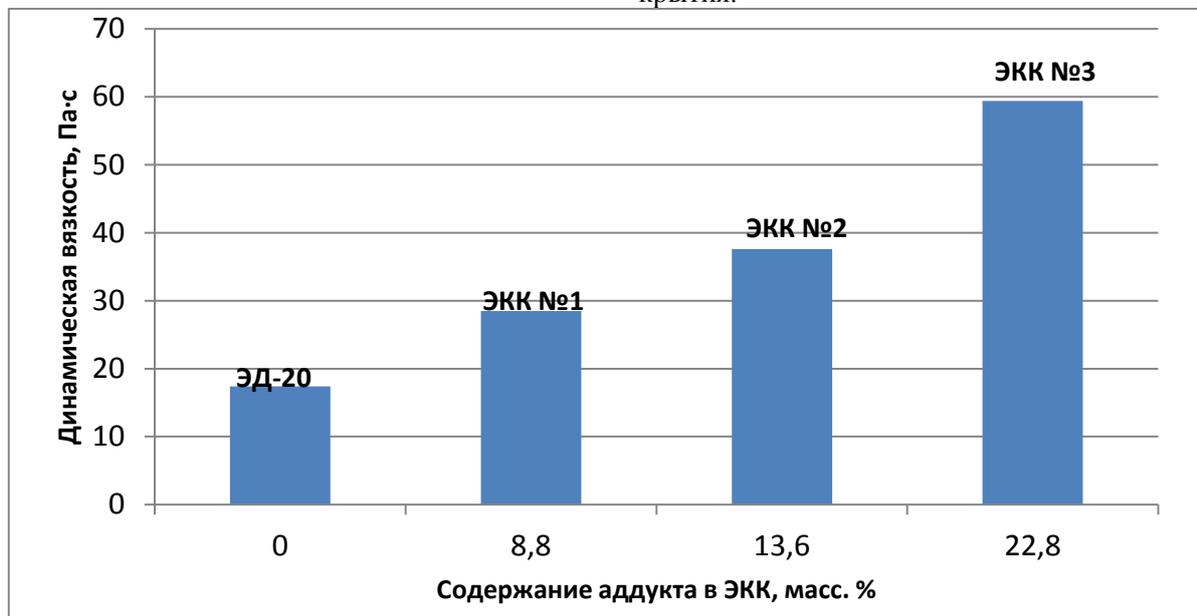


Рис. 1. Зависимость динамической вязкости от содержания аддукта в ЭКК

Как видно, с увеличением содержания аддуктов в образцах (рис. 1) их вязкость увеличивается, что связано с увеличением высоковязкого компонента в композициях. С повышением содержания шунгита (рис. 2) также происходит увеличение вязкости композиций. Видно, что

для ЭКК без добавки шунгита и эпоксидно-каучуковой композиции с добавкой шунгита (10 масс. %) увеличение вязкости в случае модификации как аддуктом, так и диспергированными частицами каучука составило не более 15 %.

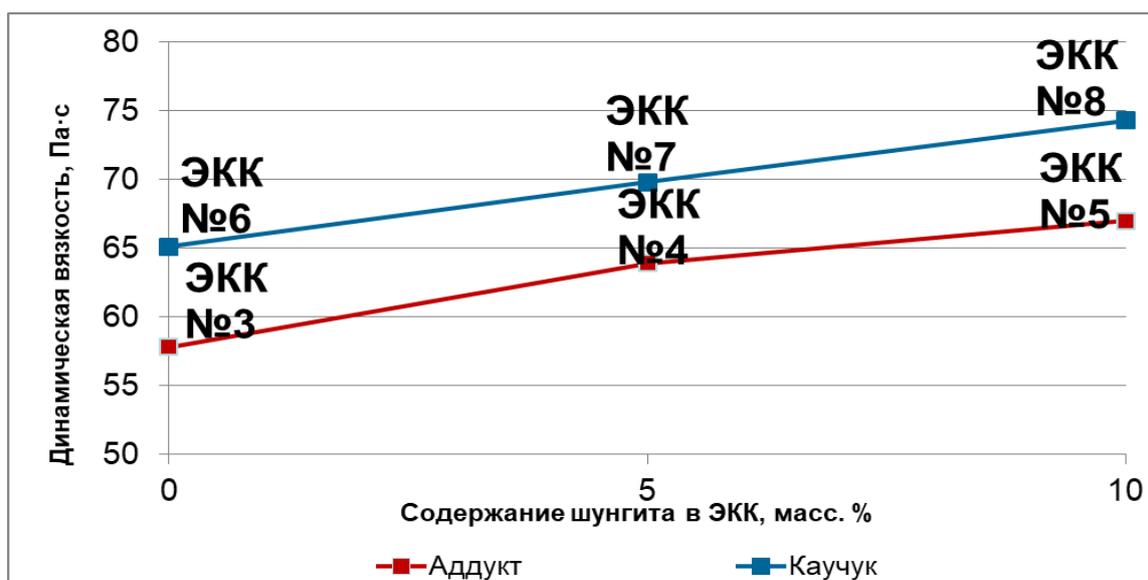


Рис. 2. Зависимость динамической вязкости не отвержденных ЭКК от содержания шунгита

Таким образом, можно предположить, что возрастание вязкости обусловлено уменьшением объема полимерной фазы в смеси.

Для определения верхнего предела температурного диапазона испытания материала необходимо было изучить термическую стабильность отвержденных эпоксида-каучуковых образцов (рис. 3).

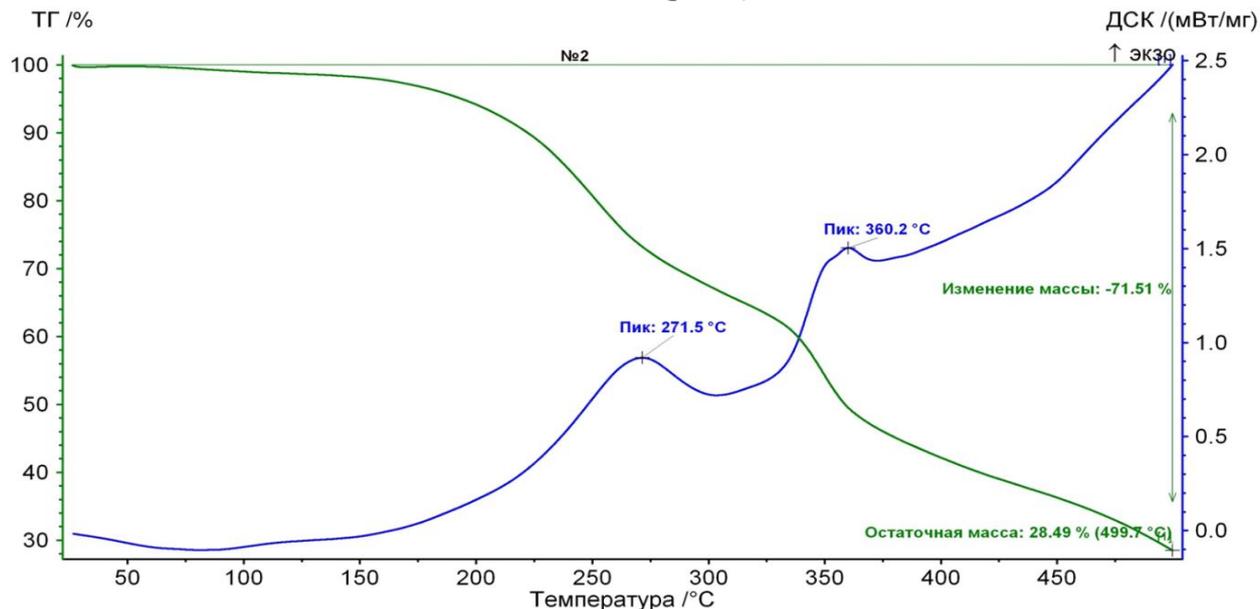


Рис. 3. Дифференциально-термический анализ ЭКК, содержащей эпоксида-каучуковый аддукт

Для отвержденных ЭКК (рис. 3), содержащих эпоксида-каучуковый аддукт, получены две температуры, при которых скорость разложения максимальна, что может свидетельствовать о том, что в них образуются две отдельные фазы. На термограммах ЭКК с 5 и 10 масс. % шунгита были также зафиксированы эндотермические пики, которые соответствуют как термическому разрушению аддукта, так и термодеструкции эпоксидной матрицы.

Испытания покрытий на прочность при ударе проводили по ГОСТ 4765-73 на приборе «Константа У-1А». Показатели ударной вязкости для композиционного материала и значения прочности покрытий при ударе представлены в таблице 3. Ударная вязкость эпоксидного материала, изготовленного без применения модификаторов – 17,4 кДж/м², а прочность покрытия при ударе составила 10 см.

Таблица 3

Значения ударной вязкости ЭКК и прочности покрытий на их основе

№ ЭКК	Ударная вязкость композиционного материала, кДж/м ²	Прочность покрытий при ударе, см
1	28,3	25
2	38,0	35
3	49,4	45
4	55,7	45
5	50,4	30
6	42,4	35
7	41,5	35
8	39,6	25

С увеличением содержания аддукта в составе покрытия наблюдается значительное увеличение ударной вязкости и прочности при ударе, из чего можно сделать вывод, что данные покрытия можно использовать в условиях повышенной ударной нагрузки. Содержание 5 масс. % шунгита не приводит к изменению прочности при ударе, однако содержание 10 масс. % ведёт к ухудшению прочности покрытия. Ударная вязкость композиций, модифицированных каучуком

ниже, чем у композиций, модифицированных аддуктом. При этом добавление минеральной добавки к таким композициям приводит к уменьшению ударной вязкости. Для систем, модифицированных эпоксида-каучуковым аддуктом, добавление 5 масс. % шунгита ведет к повышению ударной вязкости композиционного материала и, следовательно, к увеличению прочности материала. Таким образом, содержание шунгита 5 масс. % является оптимальным.

Выводы. Покрyтия, в состав которых входит эпоксикаучуковый аддукт как без шунгита (№1-3), так и с добавлением его в количестве 5 и 10 масс. % (№4 и №5) обладают большей адгезией, в отличие от покрытий, содержащих в составе диспергированный бутадиен-нитрильный каучук в сочетании с шунгитом (№7 и №8). Покрытие №6, в котором частицы каучука распределены в эпоксидной матрице, также имеет хорошую адгезию после испытания, что позволяет применять его для защиты конструкций, эксплуатирующихся в морской воде. Следовательно, антикоррозионные покрытия на основе эпоксидной смолы, в состав которой входит аддукт бутадиен-нитрильного каучука со смолой, будут лучше защищать металлические конструкции от агрессивного воздействия морской воды, поскольку введение в них добавки-ингибитора биологических факторов коррозии не будет ухудшать адгезию к металлу.

Определено оптимальное содержание модифицирующих компонентов в эпоксидно-каучуковой композиции (эпоксикаучуковый аддукт - до 23 масс. %, шунгит – до 10 масс. %), установлено, что полученные покрытия на основе ЭКК обладают более высокой стойкостью к ударным нагрузкам, в отличие от исходной эпоксидной смолы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kishi H., Nagao A., Kobayashi Y. Carboxyl-terminated butadiene acrylonitrile rubber/epoxy polymer alloys as damping adhesives and energy absorbable resins // *Journal of Applied Polymer Science*. 2007. Vol. 105. Pp. 1817–1824.
2. Jingcheng L., Xiuli J., Shengwen Z. Preparation and characterization of carboxyl-terminated poly(butadiene-co-acrylonitrile)-epoxy resin prepolymers for fusion-bonded-epoxy powder coating I L. // *Journal of Wuhan University of technology-Mater. Sci. Ed.* 2012. Vol. 27, № 4. Pp. 694–701.
3. Лобанов В.Н., Гуляев А.И., Бабин А.Н. Повышение ударо- и трещиностойкости эпоксидных реактопластов и композитов на их основе с помощью добавок термопластов как модификаторов. // *Высокомолекулярные соединения. Серия Б*. 2016. Т. 58, № 1. С. 3–15.
4. Pearson R.A., Yee A.F. Toughening mechanisms in elastomer-modified epoxies // *Journal of material science*. 1986. Vol. 21. № 7. Pp. 2462–2474.
5. Патент 2228346 Российская Федерация, МДЖ С 09 D 163/02, С 09 D 5/28 Полимерная композиция для защитно-декоративных покрытий / А.В. Черняков, О.В. Богомолова, В.Н. Варыгин, В.А. Демин, Н.А. Сидоренко ; заявитель и патентообладатель – № 2003106160/042003106160/04; заявл. 05.03.2003; опубл. 10.05.2004.
6. Barcia F.L., Amaral T.P., Soares B.G. Synthesis and properties of epoxy resin modified with epoxy-terminated liquid polybutadiene // *Polymer*. 2003. Vol. 44. Pp. 5811–5819.
7. Dinesh Kumar K., Kothandaram B. Modification of (DGEBA) epoxy resin with maleated depolymerised natural rubber // *eXPRESS Polymer Letters*. 2008. Vol. 2, № 4. Pp. 302–311.
8. Ratna D. Rubber toughened epoxy // *Macromolecular Research*. 2004. Vol. 12, №1. Pp. 11–21.
9. Еселев А.Д., Гаричева О.Н., Бобылев В.А. Эпоксидные пленкообразователи для полимерных покрытий полов // *Лакокрасочная промышленность*. 2015. № 10. С. 12–15.
10. Чалых А.Е., Жаворонок Е.С., Кочнова З.А. Взаимодействие карбоксилсодержащего нитрильного каучука и эпоксидного олигомера // *Высокомолекулярные соединения. Серия Б*. 2014. Т. 52. № 5. С. 880–887.
11. Емельянов Ю.В., Каневский Л.С. Электрическое исследование защитных свойств модифицированных эпоксидных покрытий. // *Защита металлов*. 1986. Т. 22. № 2. С. 299–301.

Информация об авторах

Ключникова Наталья Валентиновна, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии. E-mail: 4494.55@vail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Генов Иван, директор. E-mail office@sciencebg.net. Фонд науки и образования. Болгария, г. Бургас, ул. Оборище, 21.

Мухачева Валентина Дмитриевна, доцент кафедры теоретической и прикладной химии. E-mail mukhachevavd@mail.ru Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Пискарева Анастасия Олеговна, студент кафедры теоретической и прикладной химии. E-mail: a.burdasova@inbox.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в сентябре 2018 г.

© Ключникова Н.В., Генев И., Мухачева В.Д., Пискарева А.О., 2018

^{1,*}*Klyuchnikova N.V.*, ²*Genov I.*, ¹*Mukhacheva V.D.*, ¹*Piskareva A.O.*

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

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

²*Foundation for Science and Education*

Bulgaria, Bourgas, Str. Oborishche, 21

**E-mail: 4494.55@vail.ru*

PROTECTIVE COATINGS BASED ON MODIFIED PHENOLFORMALDEHYDE COMPOSITES

Abstract. *The lifespan of most structures depends on the intensity of operational loads. The durability of structures is provided by the use of reliable anti-corrosion coatings. The main requirement for a protective coating is to ensure reliability during the scheduled overhaul period. Currently, a wide range of binder materials is used to produce protective coatings based on polymer compositions. One of the leading places belongs to epoxy oligomers, in particular, epoxy resins among polymeric materials used as binders for adhesives, compounds, sealants, protective coatings. However, coatings based on epoxy resins have several disadvantages. The main disadvantages of unmodified epoxy resins are high brittleness and the lack of elasticity, which impair protective and deformation-strength properties and reduce the lifespan of coatings under alternating loads or significant temperature fluctuations. The work's aim is to optimize the technology for producing epoxy-rubber compositions, to study the properties of the obtained composites and to improve the physico-mechanical characteristics of protective coatings. Compositions based on epoxy resins, modified with epoxy rubber adduct, rubber and shungite dispersed in an epoxy matrix are obtained. The optimum content of modifying components in an epoxy rubber composition is determined. It is found that obtained coatings have a higher resistance to shock loads, in contrast to the original epoxy resin.*

Keywords: *protective coatings, epoxy rubber adduct, shungite.*

REFERENCES

1. Kishi H., Nagao A., Kobayashi Y. Carboxyl-terminated butadiene acrylonitrile rubber/epoxy polymer alloys as damping adhesives and energy absorbable resins. *Journal of Applied Polymer Science*, 2007, vol. 105, pp. 1817–1824.

2. Jingcheng L., Xiuli J., Shengwen Z. Preparation and characterization of carboxyl-terminated poly(butadiene-co-acrylonitrile)-epoxy resin prepolymers for fusion-bonded-epoxy powder coating I L. *Journal of Wuhan University of technology-Mater. Sci. Ed.*, 2012, vol. 27, no. 4, pp. 694–701.

3. Lobanov V.N., Gulyaev A.I., Babin A.N. Increased impact and crack resistance of epoxy thermosetting plastics and composites based on them with the help of thermoplastic additives as modifiers. *High Molecular Compounds. Series B*, 2016, vol. 58, no. 1, pp. 3–15.

4. Pearson R.A., Yee A.F. Toughening mechanisms in elastomer-modified epoxies. *Journal of material science*, 1986, vol. 21, no. 7. pp. 2462–2474.

5. Patent 2228346 Russian Federation, MIZH C 09 D 163/02, C 09 D 5/28 Polymer composition for protective and decorative coatings. A.V.

Chernyakov, O.V. Bogomolov, V.N. Varygin, V.A. Demin, N.A. Sidorenko; applicant and patent holder - No. 2003106160/042003106160/04; declare 03/05/2003; publ. 05/10/2004.

6. Barcia F.L., Amaral. T.P., Soares B.G. Synthesis and properties of epoxy resin modified with epoxy-terminated liquid polybutadiene. *Polymer*, 2003, vol. 44, pp. 5811–5819.

7. Dinesh Kumar K., Kothandaram B. Modification of (DGEBA) epoxy resin with maleated depolymerised natural rubber. *eXPRESS Polymer Letters*, 2008, vol. 2, no. 4, pp. 302–311.

8. Ratna D. Rubber toughened epoxy. *Macromolecular Research*, 2004, vol. 12, no. 1, pp. 11–21.

9. Eselev A.D., Garicheva O.N., Bobylev V.A. Epoxy film formers for polymer flooring. *Paint and varnish industry*, 2015, no. 10, pp. 12–15.

10. Chalykh A.E., Zhavoronok E.S., Kochnova Z.A. Interaction of carboxyl-containing nitrile rubber and epoxy oligomer. *High-molecular compounds. Series B*, 2014, vol. 52, no. 5, pp. 880–887.

11. Yemelyanov Yu.V., Kanevsky L.S. Electrical study of the protective properties of modified epoxy coatings. *Protection of metals*, 1986, vol. 22, no. 2, pp. 299–301.

Information about the authors

Klyuchnikova, Natalya V. PhD. E-mail: 4494.55@vail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Genov, Ivan. Director of the Foundation for Science and Education. Bulgaria, Bourgas, Str. Oborishche, 21. E-mail office@sciencebg.net.

Piskareva, Anastasia O. Student. E-mail: a.burdasova@inbox.ru. Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in September 2018

Для цитирования:

Ключникова Н.В., Генов И., Мухачева В.Д., Пискарева А.О. Защитные покрытия на основе модифицированных фенолформальдегидных композитов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №12. С. 91–97. DOI: 10.12737/article_5c1c99652f7a31.56915689

For citation:

Klyuchnikova N.V., Genov I., Mukhacheva V.D., Piskareva A.O. Protective coatings based on modified phenolformaldehyde composites. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 12, pp. 91–97. DOI: 10.12737/article_5c1c99652f7a31.56915689

DOI: 10.12737/article_5c1c99666664a6.34309543

^{1,*}Ерыгина А.О., ¹Мишин Д.А., ¹Классен В.К.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

*E-mail: erygalyona@yandex.ru

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ Na₂O С КЛИНКЕРНЫМИ МИНЕРАЛАМИ ПРИ ИХ РАЗЛИЧНЫХ СОЧЕТАНИЯХ

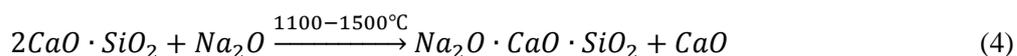
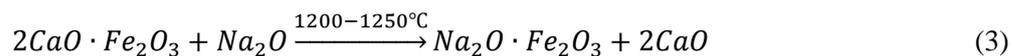
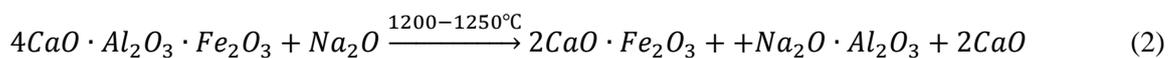
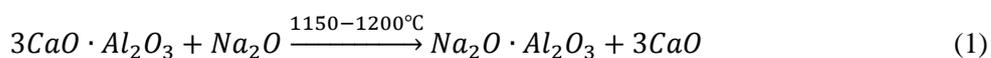
Аннотация. В сырьевой смеси цементного производства всегда присутствуют примеси щелочных соединений, такие как: хлориды, сульфаты, карбонаты натрия и калия, а также двойные соли щелочных металлов, которые, в свою очередь, могут накапливаться во вращающейся печи и негативно оказывать влияние на весь технологический процесс производства клинкера. Чтобы найти способы нейтрализации данных соединений во всем тепловом агрегате, сначала необходимо изучить возможные химические взаимодействия данных соединений с компонентами сырьевой шихты и основными клинкерными минералами во всех технологических зонах печи. Если температурные интервалы до 1100 °С и выше 1300 °С на данный момент полностью изучены, то промежуток температур от 1100 до 1300 °С – нет. Данная научно-исследовательская работа посвящена изучению последовательности химических взаимодействий между оксидом натрия и основными клинкерными минералами (трехкальциевым алюминатом, четырехкальциевым алюмоферритом и двухкальциевым силикатом) при температурах обжига от 1100 до 1300 °С. В ходе исследований установлены продукты обжига оксида натрия со смесями портландцементных клинкерных минералов (C₃A, C₄AF и C₂S) в температурном интервале, соответствующем температурам зоны экзотермических реакций во вращающейся печи цементного производства.

Ключевые слова: портландцементные клинкерные минералы, оксид щелочного металла, алюминат натрия, феррит натрия, натриево-кальциевый силикат, алюмоферрит натрия, портландцементный клинкер, циркуляция щелочных соединений.

Введение. Одной из распространенных проблем цементной промышленности является использование сырья [1–10], содержащего в химическом составе некоторого количества щелочных примесей, которые, в свою очередь, оказывают существенное влияние на весь технологический процесс производства клинкера [5–8]. Данные соединения по-разному влияют на процессы минералообразования, протекающие в различных технологических зонах вращающейся печи. Из исследования материалов работ глиноземистого производства [12] известно, что в их печах, ввиду нали-

чия в составе сырьевой смеси большого количества Na₂O, образуются химические соединения состава: Na₂O·Al₂O₃ и Na₂O·Fe₂O₃.

Сотрудниками кафедры технологии цемента и композиционных материалов БГТУ им. В.Г. Шухова было доказано протекание химических реакций в интервале температур обжига от 1100 до 1300 °С между Na₂O и C₃A, C₄AF, C₂S [13–15]. Из работ [13, 15] установлено, что портландцементные клинкерные минералы способны взаимодействовать с оксидом натрия в зоне экзотермических реакций вращающейся печи цементного производства по следующим химическим реакциям:



Таким образом, при температурах обжига от 1100 до 1250 °С во вращающейся печи цементного производства, в зоне экзотермических реакций, возможно образование таких же соединений, что и в печах глиноземистого производства: алюминатов и ферритов натрия, натриево-кальциевого силиката. Но вопрос о первоочередности протекания химических взаимодействий (1–4)

при одновременном присутствии в смеси нескольких минералов остается не изученным.

Целью данной работы является исследование последовательности взаимодействий между оксидом щелочного металла и смесью двух различных портландцементных клинкерных минералов в интервале температур обжига от 1100 до 1300 °С.

Методология. Для достижения цели научного исследования при синтезировании клинкерных минералов (табл. 1) в работе использовались химические реактивы: CaCO_3 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 ,

а для моделирования процессов взаимодействий оксида натрия с C_3A , C_4AF и C_2S использовался Na_2CO_3 . Все химические реактивы имели категорию чистоты «хч».

Таблица 1

Состав смесей портландцементных клинкерных минералов

Соотношение клинкерных минералов, мас.%	$\text{C}_4\text{AF} + \text{C}_3\text{A}$	$\text{C}_2\text{S} + \text{C}_3\text{A}$	$\text{C}_2\text{S} + \text{C}_4\text{AF}$
		13:7	20:7

Для определения последовательности взаимодействий между Na_2O и портландцементными клинкерными минералами готовились смеси, содержащие такое количество оксида щелочного металла, сколько его требовалось из расчета полного связывания соответствующего оксида из клинкерных минералов (табл. 2).

Измельченный карбонат натрия вводили в смесь клинкерных минералов, усредняли и формовали таблетки ручным способом, достаточным для сохранения формы, диаметром 15 мм. После заформованные образцы ставились в холодную печь с карбид-кремниевыми нагревателями и об-

жигались на подложках с подсыпкой из периклазового огнеупора. Скорость набора температуры составляла 8–10 °С/мин. Охлаждение всех обожженных образцов было резким, протекающим на воздухе.

Для определения последовательности протекания химических взаимодействий между Na_2O и портландцементными клинкерными минералами в качестве методов исследования использовали рентгенофазовый анализ состава обожженных образцов, выполненный на дифрактометре ARLX'TRA и этилово-глицератный метод определения свободного оксида кальция.

Таблица 2

Характеристики исследуемых смесей портландцементных клинкерных минералов и Na_2O

№ смеси	Количество Na_2O , вводимое в смесь клинкерных минералов, из условия связывания		
	$\text{C}_4\text{AF} + \text{C}_3\text{A}$	$\text{C}_2\text{S} + \text{C}_3\text{A}$	$\text{C}_2\text{S} + \text{C}_4\text{AF}$
1	Al_2O_3 из C_4AF	$\frac{1}{2} \text{SiO}_2$ из C_2S	Al_2O_3 из C_4AF
2	Al_2O_3 из C_4AF и Al_2O_3 из C_3A	SiO_2 из C_2S	Al_2O_3 и Fe_2O_3 из C_4AF
3	Al_2O_3 из C_4AF , Al_2O_3 из C_3A и Fe_2O_3 из C_4AF	SiO_2 из C_2S и Al_2O_3 из C_3A	Al_2O_3 и Fe_2O_3 из C_4AF и $\frac{1}{2} \text{SiO}_2$ из C_2S
4	–	–	Al_2O_3 и Fe_2O_3 из C_4AF и SiO_2 из C_2S
Параметры обжига			
Температура обжига, °С	1100	1200	1300
Время изотермической выдержки, мин	10	10	10

Основная часть. По полученным результатам ряда обжигов установлено, что в смеси клинкерных минералов C_4AF и C_3A оксид натрия дает преимущество для химического взаимодействия C_3A , а не C_4AF . С Al_2O_3 , связанным в трехкальциевый алюминат, Na_2O начинает взаимодействовать в первую очередь по реакции (1). Однако следует учитывать то, что оксид щелочного металла вводился в состав смеси минералов, наоборот, из предположения первоочередного связывания Al_2O_3 из C_4AF . Продуктами химических взаимодействий Na_2O со смесью C_4AF и C_3A выступают $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ и $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (рис.1). Следует учитывать и тот факт, что образование феррита натрия по реакции (3) будет начинаться только после того, как весь Al_2O_3 , связанный и в

C_3A , и в C_4AF , прореагирует с Na_2O , до этих пор образование $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ невозможно (рис. 1).

Достоверность данных химических взаимодействий подтверждается совпадением теоретических и экспериментальных значений количества свободного оксида кальция в обожженных смесях состава C_4AF , C_3A и Na_2O (табл. 3).

В смеси клинкерных минералов из C_2S и C_3A оксид натрия, как и предполагалось, начинает взаимодействовать с SiO_2 , связанным в C_2S , по реакции (4) и продуктом обжига является $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (рис. 2а). После завершения полного протекания химической реакции образования натриево-кальциевого силиката, Na_2O будет принимать участие в образовании уже другого продукта обжига: $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. Последнее взаимодействие, по реакции (1), возможно с Al_2O_3 ,

связанным в C_3A , только после того, как весь SiO_2 из C_2S прореагирует с оксидом щелочного

металла (рис. 2б) при обжиге смеси, где исходными компонентами были C_2S , C_3A и Na_2O .

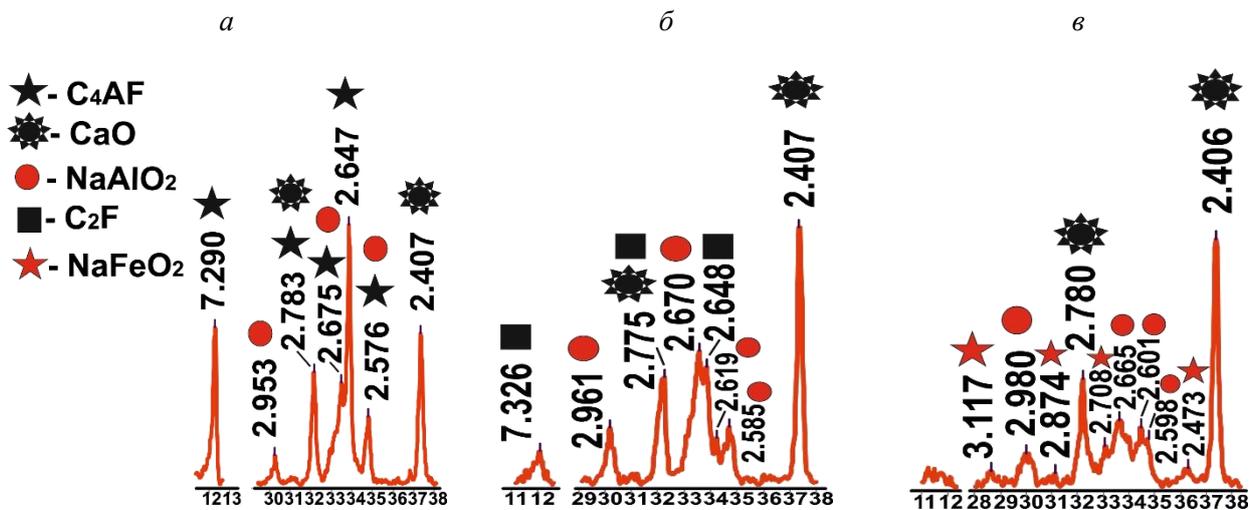


Рис. 1. Взаимодействие Na_2O с C_4AF и C_3A при $1100\text{ }^\circ\text{C}$ и изотермической выдержке 10 минут, где а – Na_2O вводился в смесь из условия полного связывания Al_2O_3 из C_4AF ($C_4AF:C_3A:Na_2O=1:1:1$); б – Na_2O вводился в смесь из условия полного связывания Al_2O_3 из C_4AF и C_3A ($C_4AF:C_3A:Na_2O=1:1:2$); в – Na_2O вводился в смесь из условия полного связывания Al_2O_3 из C_4AF и C_3A и Fe_2O_3 из C_4AF ($C_4AF:C_3A:Na_2O=1:1:3$)

Таблица 3
Количество $CaO_{св}$ в смесях, содержащих C_4AF , C_3A и Na_2O

№	Соотношение $C_4AF:C_3A:Na_2O$	Количество $CaO_{св}$, %	
		Теоретическое	Экспериментальное
1	1:1:1	20,9	21,3
2	1:1:2	32,1	29,0
3	1:1:3	42,0	37,7

Схождение результатов теоретического и экспериментального количества свободного $CaO_{св}$ также подтверждает данные химические взаимодействия (табл. 4).

При изучении взаимодействий Na_2O со смесью клинкерных минералов C_2S и C_4AF при $1300\text{ }^\circ\text{C}$ предполагалось, что оксид натрия в первую очередь начнет взаимодействовать с SiO_2 , связанным в C_2S . Однако рентгенофазовый анализ продуктов обжига Na_2O и C_2S с C_4AF (рис. 3а), а также экспериментально установленное количество несвязанного CaO (табл. 5) опровергли данное предположение. В действительности

Na_2O отдает преимущество во взаимодействии C_4AF , точнее Al_2O_3 , связанным в C_4AF . Причем 2,4 % оксида натрия, введенного в исходную смесь в количестве, необходимом для протекания реакции (2), внедряется в кристаллическую решетку белита. Следовательно, теоретически свободного оксида кальция не должно превышать 4,72 % при протекании реакции между Na_2O и Al_2O_3 из C_4AF , что сходится с экспериментальным значением (табл. 5).

Следующее химическое взаимодействие Na_2O будет протекать с Fe_2O_3 , связанным в кальцево-ферритную фазу, по реакции (3) с образованием $Na_2O \cdot Fe_2O_3$ (рис. 3б), и только потом начнется взаимодействие Na_2O с SiO_2 , связанным в C_2S по реакции (4) (рис. 3в). Но в отличие от обжигов предыдущих комбинаций клинкерных минералов с оксидом щелочного металла, Na_2O в смеси с C_2S и C_4AF , где оксид натрия вводился из условия полного связывания Al_2O_3 и Fe_2O_3 из C_4AF , а также SiO_2 из C_2S , образует фазу состава $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ (рис. 3г) при температуре обжига $1300\text{ }^\circ\text{C}$.

Таблица 4
Количество $CaO_{св}$ в смесях, содержащих C_2S , C_3A и Na_2O

№	Соотношение $C_2S : C_3A : Na_2O$	Количество $CaO_{св}$, %	
		Теоретическое	Экспериментальное
1	4:1:2	10,62	10,96
2	4:1:4	25,37	22,86
3	4:1:5	30,31	25,29

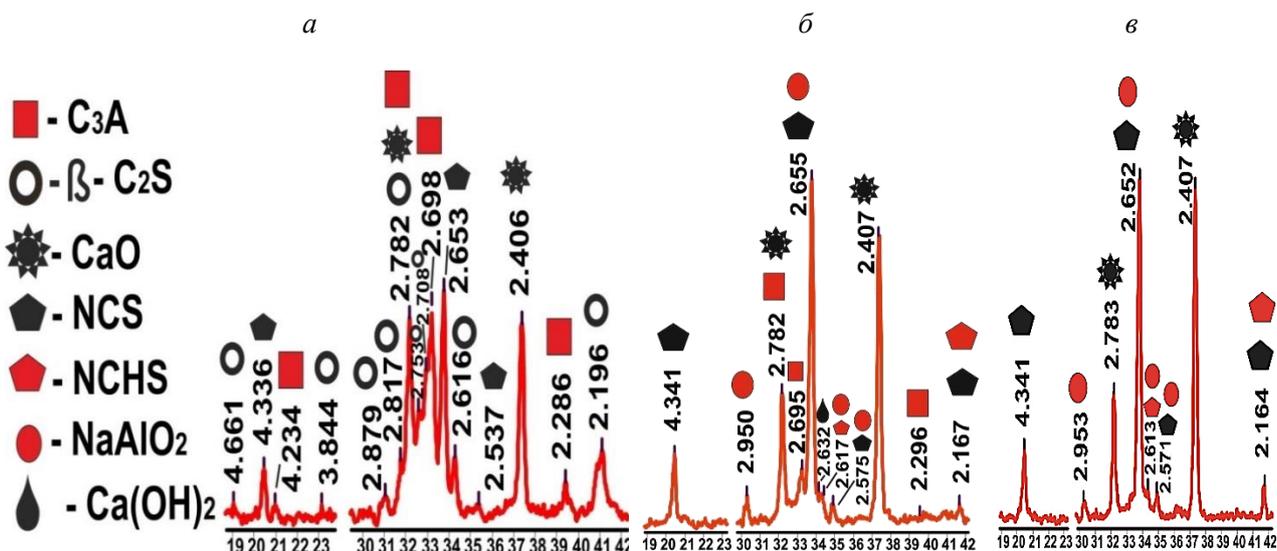


Рис. 2. Взаимодействие Na_2O с C_2S и C_3A при $1200\text{ }^\circ\text{C}$ и изотермической выдержке 10 минут, где *а* – Na_2O вводился в смесь из условия полного связывания $\frac{1}{2}\text{SiO}_2$ из C_2S ($\text{C}_2\text{S}:\text{C}_3\text{A}:\text{Na}_2\text{O}=4:1:2$); *б* – Na_2O вводился в смесь из условия полного связывания SiO_2 из C_2S ($\text{C}_2\text{S}:\text{C}_3\text{A}:\text{Na}_2\text{O}=4:1:4$); *в* – Na_2O вводился в смесь из условия полного связывания SiO_2 из C_2S и Al_2O_3 из C_3A ($\text{C}_2\text{S}:\text{C}_3\text{A}:\text{Na}_2\text{O}=4:1:5$)

Таблица 5

Количество $\text{CaO}_{\text{св}}$ в смесях, содержащих C_2S , C_4AF и Na_2O

№	Соотношение $\text{C}_2\text{S} : \text{C}_4\text{AF} : \text{Na}_2\text{O}$	Количество $\text{CaO}_{\text{св}}$, %	
		Теоретическое	Экспериментальное
1	4:1:1	4,72	9,4*
2	4:1:2	12,37	17,94**
3	4:1:4	19,41	23,82***
4	4:1:6	28,72	27,14****

* – предположение: Na_2O связывает $\frac{1}{2}\text{SiO}_2$ из C_2S ;
 ** – предположение: Na_2O связывает SiO_2 из C_2S ;
 *** – предположение: Na_2O связывает SiO_2 из C_2S и Al_2O_3 из C_4AF ;
 **** – предположение: Na_2O связывает SiO_2 из C_2S , Al_2O_3 и Fe_2O_3 из C_4AF

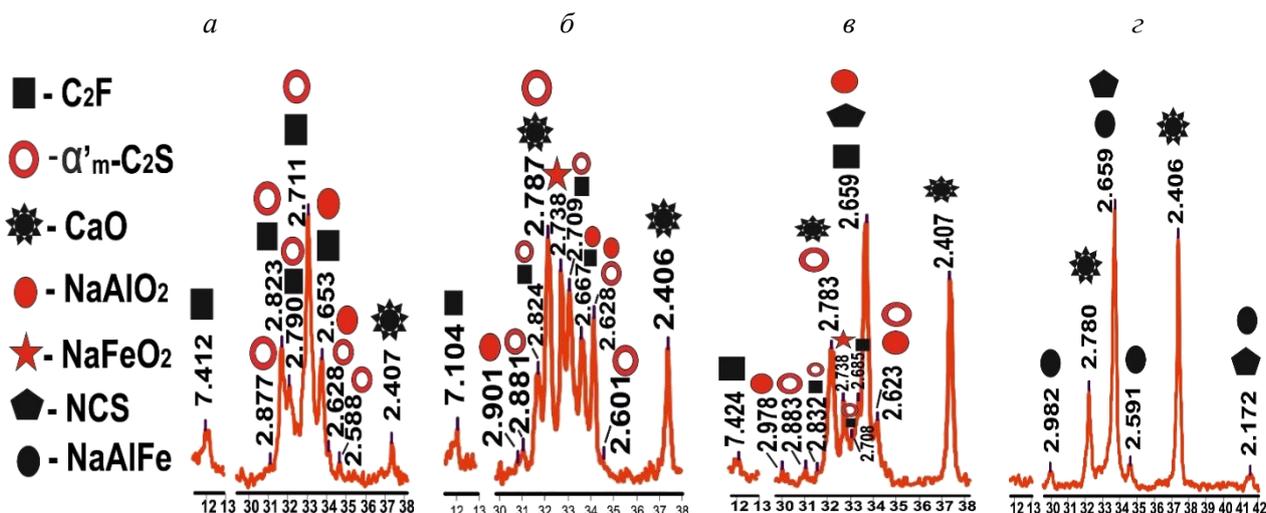
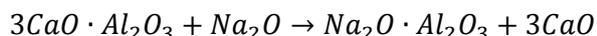


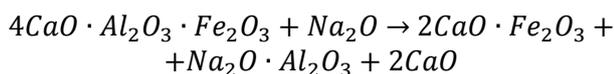
Рис. 3. Взаимодействие Na_2O с C_2S и C_4AF при $1300\text{ }^\circ\text{C}$ и изотермической выдержке 10 минут, где *а* – Na_2O вводился в смесь из условия полного связывания Al_2O_3 из C_4AF ($\text{C}_2\text{S}:\text{C}_4\text{AF}:\text{Na}_2\text{O}=4:1:1$); *б* – Na_2O вводился в смесь из условия полного связывания Al_2O_3 и Fe_2O_3 из C_4AF ($\text{C}_2\text{S}:\text{C}_4\text{AF}:\text{Na}_2\text{O}=4:1:2$); *в* – Na_2O вводился в смесь из условия полного связывания Al_2O_3 и Fe_2O_3 из C_4AF и $\frac{1}{2}\text{SiO}_2$ из C_2S ($\text{C}_2\text{S}:\text{C}_4\text{AF}:\text{Na}_2\text{O}=4:1:4$); *г* – Na_2O вводился в смесь из условия полного связывания Al_2O_3 и Fe_2O_3 из C_4AF и SiO_2 из C_2S ($\text{C}_2\text{S}:\text{C}_4\text{AF}:\text{Na}_2\text{O}=4:1:6$)

Выводы. Обобщая полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

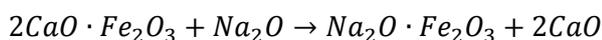
1. В смеси клинкерных минералов C_4AF и C_3A при температуре $1100\text{ }^\circ\text{C}$ Na_2O сначала взаимодействует с Al_2O_3 , связанным в C_3A :



После того, как весь трехкальциевый алюминат вступит в химическую реакцию, Na_2O начнет взаимодействовать с Al_2O_3 , связанным в C_4AF по следующей химической реакции:

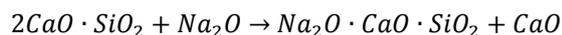


Далее оставшаяся часть Na_2O будет взаимодействовать с Fe_2O_3 , связанным в C_2F :

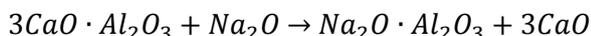


Таким образом, оксид натрия в смеси клинкерных минералов C_4AF и C_3A при температуре обжига от $1100\text{ }^\circ\text{C}$ первоочередное взаимодействие отдает трехкальциевому алюминату.

2. В смеси клинкерных минералов C_2S и C_3A при $1200\text{ }^\circ\text{C}$ Na_2O сначала взаимодействует с SiO_2 , связанным в C_2S по реакции:

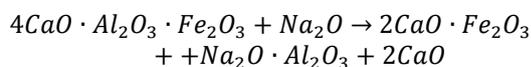


После того, как весь двухкальциевый силикат вступит в химическую реакцию, Na_2O начнет взаимодействовать с Al_2O_3 , связанным в C_3A :

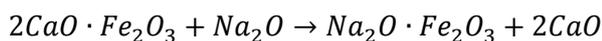


Таким образом, оксид натрия в смеси клинкерных минералов C_2S и C_3A при температурах обжига от $1200\text{ }^\circ\text{C}$ первоочередное взаимодействие отдает двухкальциевому силикату.

3. В смеси клинкерных минералов C_2S и C_4AF при температуре обжига $1300\text{ }^\circ\text{C}$ Na_2O сначала взаимодействует с Al_2O_3 , связанным в C_4AF по реакции:



Далее будет происходить взаимодействие Na_2O с Fe_2O_3 по следующей химической реакции:

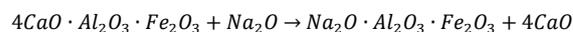


После образования алюмината и феррита натрия Na_2O будет взаимодействовать с SiO_2 , связанным в C_2S , с образованием фазы $Na_2O \cdot CaO \cdot SiO_2$:



Таким образом, оксид натрия в смеси клинкерных минералов C_2S и C_4AF при температуре обжига $1300\text{ }^\circ\text{C}$ первоочередное взаимодействие отдает четырехкальциевому алюмоферриту.

4. В смеси, состоящей из C_4AF и Na_2O , при наличии достаточно большого количества оксида щелочного металла в результате обжига при $1300\text{ }^\circ\text{C}$ возможно образование алюмоферрита натрия вместо $Na_2O \cdot Al_2O_3$ и $Na_2O \cdot Fe_2O_3$ по следующей химической реакции:



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Классен В.К. Обжиг цементного клинкера. Красноярск.: Стройиздат, 1994. 323 с.
2. Классен В.К. Технология и оптимизация производства цемента: краткий курс лекций: учеб. пособие. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 308 с.
3. Классен В.К., Долгова Е.П. Хлориды щелочных металлов в производстве цемента: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. 182 с.
4. Лугинина И.Г. Химия и химическая технология неорганических вяжущих материалов: В 2 ч. Белгород: Изд-во БГТУ, 2004. Ч. I. 240 с.
5. Таймасов Б.Т., Классен В.К. Химическая технология вяжущих материалов: учебник. 2-е изд., доп. Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. 448 с.
6. Классен В.К. Технология портландцемента: избранные труды. Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. 530 с.
7. Лугинина И.Г. Механизм действия минерализаторов и клинкерообразование в цементной сырьевой смеси: курс лекций. Белгород: Ротапринт БТИСМ, 1978. 74 с.
8. Тейлор Х. Химия цемента; пер. с англ. М.: Мир, 1996. 560 с.
9. Викторенков В.И., Волконский Б.В. Циркуляция щелочей в печах с циклонными теплообменниками // Цемент. 1965. №6. С. 12–14.
10. Ходоров Е.И., Корольков А.В. Циркуляция летучих соединений во вращающихся печах с теплообменниками и декарбонизатором // Цемент, 1984. №1. С. 13–15.
11. Klassen V.K., Ermolenko E.P., Michin D.A., Novosyolov A.G. Problem of impurity of salts of alkali metals in cement raw materials. // Middle East Journal of Scientific Research. 2013. Vol. 17. No. 8. Pp. 1130–1137.
12. Лисиенко В.Г., Щеглов Я.М., Ладыгичев М.Г. Вращающиеся печи: теплотехника, управление и экология: Справочное издание: В 2-х книгах. Книга 1. Под ред. В.Г. Лисиенко. М.: Теплотехник, 2004. 688 с.
13. Ерыгина А.О., Мишин Д.А. Взаимодействие алюмоферрита кальция с Na_2CO_3 и Na_2SO_4 . [Электронный ресурс] // Наукоемкие технологии и инновации: Междунар. науч.-практ. конф. Белгород, 2016. Ч. 1. С. 125–130.

14. Ерыгина А.О., Мишин Д.А. Особенности взаимодействия оксида натрия с трехкальциевым алюминатом и четырехкальциевым алюмоферритом [Электронный ресурс] // Международная научно-техническая конференция молодых ученых. Белгород, 2017.

Информация об авторах

Ерыгина Алена Олеговна, аспирант кафедры технологии цемента и композиционных материалов. E-mail: erygalyona@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Мишин Дмитрий Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии цемента и композиционных материалов. E-mail: mishin.da@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Классен Виктор Корнеевич, доктор технических наук, профессор кафедры технологии цемента и композиционных материалов. E-mail: klassen.vk@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в октябре 2018 г.

© Ерыгина А.О., Мишин Д.А., Классен В.К., 2018

^{1,*}*Erygina A.O., ¹Mishin D.A., ¹Klassen V.K.*

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

Russia, 308012, Belgorod, str. Kostyukova, 46

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

THE SEQUENCE OF Na₂O INTERACTIONS WITH CLINKER MINERALS IN THEIR VARIOUS COMBINATIONS

Abstract. *The following impurities of alkaline compounds are always present in the raw mix of cement production: chlorides, sulfates, sodium and potassium carbonates, double salts of alkali metals. They are able to accumulate in the rotary kiln and have a negative impact on the entire technological process of clinker production. It is necessary to study the possible chemical interactions of these compounds with the components of the raw material mixture and the main clinker minerals in all technological zones of the kiln in order to find ways of neutralization compounds in the thermal unit. The temperature ranges up to 1100 and above 1300 °C are fully studied, but the interval of temperatures from 1100 to 1300 °C is not. This research paper is devoted to the study of the sequence of chemical interactions between Na₂O and the main clinker minerals (tricalcium aluminate, four-calcium aluminoferrite and two-calcium silicate) at roasting temperatures from 1100 to 1300 °C. In the course of the research, products of burning sodium oxide with mixtures of portland cement clinker minerals (C₃A, C₄AF and C₂S) in the temperature range corresponding to the temperatures of the exothermic reaction zone in a rotary kiln of cement production are established.*

Keywords: *clinker minerals, alkali metal oxide, sodium aluminate, sodium ferrite, sodium calcium silicate, sodium aluminoferrite, portland cement clinker, alkaline circulation.*

REFERENCES

1. Klassen V.K. Roasting cement clinker. Krasnoyarsk: Stroyizdat, 1994, 323 p.

2. Klassen V.K. Technology and optimization of cement production: a short course of lectures: studies. allowance. Belgorod: BGTU, 2012, 308 p.

3. Klassen V.K., Dolgova E.P. Alkali metal chlorides in cement production: monograph. Belgorod: BGTU, 2015, 182 p.

4. Luginina I.G. Chemistry and chemical technology of inorganic binders: vol. 2, Belgorod: BSTU, 2004, vol. I, 240 p.

5. Taymasov B.T., Klassen V.K. Chemical technology of binding materials: a textbook. Belgorod: BGTU, 2017, 448 p.

6. Klassen V.K. Portland cement technology: selected works. Belgorod: BGTU, 2017, 530 p.

7. Luginina I.G. The mechanism of action of mineralizers and clinker formation in cement raw mix: a course of lectures. Belgorod: BTISM, 1978, 74 p.

8. Taylor H. Cement Chemistry; translation from English M.: Mir. 1996, 560 p.

9. Victorenkov V.I., Volkonsky B.V. Circulation of alkalis in furnaces with cyclone heat exchangers. Bulletin of Cement, 1965, no. 6, pp. 12–14.

10. Khodorov E.I., Korolkov A.V. Circulation of volatile compounds in rotary kilns with heat exchangers and calciner. *Bulletin of Cement*, 1984, no. 1, pp. 13–15.

11. Klassen V.K., Ermolenko E.P., Michin D.A., Novosyolov A.G. Problem of impurity of salts of alkali metals in cement raw materials. *Middle East Journal of Scientific Research*, 2013, vol. 17, no. 8, pp. 1130–1137.

12. Lisienko V.G., Scheglov Ya.M., Ladygichev M.G. Rotary kilns: heat engineering, control and ecology: Reference edition: In 2 books. М.: Heat engineer, 2004, 688 p.

13. Erygina A.O., Mishin D.A. Interaction of calcium aluminoferrite with Na_2CO_3 and Na_2SO_4 . High technologies and innovations: Intern. scientific-practical conf. Belgorod, 2016. vol I, pp. 125–130.

14. Erygina A.O., Mishin D.A. Features of the interaction of sodium oxide with tricalcium aluminate and tetracalcium aluminoferrite. *International Scientific and Technical Conference of Young Scientists*. Belgorod, 2017.

15. Erygina A.O. The influence of Na_2O on the processes of mineral formation of portland cement raw mix: dissertation. ... bachelor. Belgorod: BSTU, 2012, 242 p.

Information about the author

Erygina, Alena O. Postgraduate student. E-mail: erygalyona@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Mishin, Dmitriy A. PhD, Assistant professor. E-mail: mishin.da@bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Klassen, Victor K. DSc, Professor. E-mail: klassen.vk@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in October 2018

Для цитирования:

Ерыгина А.О., Мишин Д.А., Классен В.К. Последовательность взаимодействий Na_2O с клинкерными минералами при их различных сочетаниях // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №12. С. 98–104. DOI: 10.12737/article_5c1c99666664a6.34309543

For citation:

Erygina A.O., Mishin D.A., Klassen V.K. The sequence of Na_2O interactions with clinker minerals in their various combinations. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2018, no. 12, pp. 98–104. DOI: 10.12737/article_5c1c99666664a6.34309543

DOI: 10.12737/article_5c1c996833c2a4.78589509

^{1,*}Загороднюк Л.Х., ¹Сумской Д.А., ¹Чепенко А.С.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

*E-mail: zagorodnyk.lh@bstu.ru

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ГИДРАТАЦИИ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ВЯЖУЩИХ

Аннотация. В статье приведены результаты исследований особенностей процессов гидратации высокодисперсных вяжущих. Процессы гидратации минералов портландцементного клинкера, сопровождаются схватыванием вяжущего и продолжаются в течение длительного времени. Тепловыделение различных цементов при гидратации колеблется в больших пределах в зависимости от их минерального состава и тонкости измельчения. Тепловыделение – это результат комплекса физико-химических процессов взаимодействия дисперсного порошка вяжущего с дисперсной жидкой фазой и скорость тепловыделения отражает суммарную скорость и интенсивность процессов гидратации, определяемую изменением количества теплоты, выделяющейся в процессе реакции в единицу времени. Анализ кривой тепловыделения высокодисперсного вяжущего показывает, что если для портландцемента интенсивное тепловыделение в цементном тесте на I стадии наблюдается в возрасте 20 мин, с тепловыделением в первый час гидратации 13 Дж/г·ч, для вяжущей композиции наибольшее тепловыделения к этому времени составляет 17 Дж/г·ч, превышение тепловыделения составляет 30 %, то для высокодисперсного вяжущего величина тепловыделения составляет 10 Дж/г·ч, что ниже тепловыделения портландцемента на 29 % и вяжущей композиции на 68 % соответственно. Полученные результаты свидетельствуют о существенных особенностях протекания процессов гидратации в изученных системах. Установлено, что суперпластификатор Melment F10 активно сорбируется на частицах минеральной добавки-отходов вспученного перлитового производства вследствие их высокой гидравлической активности и близких гранулометрических составов портландцемента и минеральной добавки высокодисперсного вяжущего, что позволяет управлять процессами структурообразования и создавать композиты с требуемыми свойствами.

Ключевые слова: высокодисперсные вяжущие, тепловыделение, отходы производства перлитового песка, процессы гидратации клинкерных минералов, активная минеральная добавка.

Введение. В России принят закон об энергоэффективности, согласно которому к 2020 г. необходимо выйти на высокий уровень энергосбережения. Введение более жестких требований привело к пересмотру принципов проектирования и строительства. Одним из наиболее действенных путей решения проблемы энергосбережения является создание новых теплоизоляционных материалов, что в свою очередь требует разработки эффективных высокодисперсных вяжущих с требуемыми технологическими и физико-механическими свойствами [1–8]. Получение эффективных вяжущих веществ на сегодняшний день сопровождается применением сложных составов компонентов с целью получения высококачественных бетонов различного многофункционального назначения с усовершенствованными, а в некоторых случаях и с принципиально новыми свойствами и заранее установленной структурой. В основу синтеза подобных вяжущих положен принцип целенаправленного управления технологией на абсолютно всех её стадиях: применение активных компонентов, создание наилучших составов, использование химических модификаторов, применение механохимической

активации компонентов и некоторых иных способов [8–16]. К настоящему времени накоплен определенный опыт получения строительных композитов различного функционального назначения с учетом разработки композиционных вяжущих с требуемыми свойствами [17–22].

Методология. Для исследований применяли следующие материалы:

Портландцемент ЗАО «Белгородский цемент» ЦЕМ I 42,5Н ГОСТ 31108-2003 следующего химического состава: SiO₂=21,77 %; Al₂O₃=4,88 %; Fe₂O₃=4,02 %; CaO=65,53 %; MgO=1,22 %; SO₃=3,52 %; R₂O=0,64 %. Отходы производства вспученного перлитового песка следующего химического состава: SiO₂=75 %; Al₂O₃=12,5 %; Fe₂O₃=0,7 %; CaO=1,6 %; MgO=0,6 %; K₂O+Na₂O=4,6 %; ппп=5,3 %. Суперпластификатор MELMENT F 10. Производитель: BASFConstructionSolutions (Trostberg, Германия). Химический состав: MELMENT F10 – сульфонируемый порошковый продукт поликонденсации на основе меламин, полученный методом распылительной сушки. Для изучения кинетики тепловыделения вяжущего с момента его смешения с водой затворения был применен дифференциальный квазиизотермический калориметр

ТопiCAL. Изучение микроструктуры образцов гидратированных цементов и гидратированных вяжущих композиций в возрасте 28 суток проводили на сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения TESCAN MIRA 3 LMU.

Основная часть. Для изучения процессов гидратации вяжущих была исследована кинетика тепловыделения вяжущего с момента его смешения с водой затворения с помощью дифференциального квазиизотермического калориметра ТопiCAL с компьютерной обработкой и записью результатов.

Реакции гидратации клинкерных минералов характеризуются количеством тепла, которое выделяется мгновенно, сопровождается схватыва-

нием вяжущего и длится в течение первых 72 часов. Тепловыделение разных портландцементов изменяется в широких интервалах в зависимости от их минерального состава и тонкости помола. Присутствие в их составе высокого содержания алита и в особенности трехкальциевого алюмината определяет активное выделение тепла при твердении цементов, главным образом в первые сроки, из-за мгновенного взаимодействия указанных минералов с H_2O .

На графиках (рис.1) представлены кривые изменения тепловыделения рядового портландцемента (ПЦ) с удельной поверхностью $3457 \text{ см}^2/\text{г}$, вяжущей композиции (ВК) и высокодисперсного вяжущего (ВВ) с удельной поверхностью $6349 \text{ см}^2/\text{г}$.

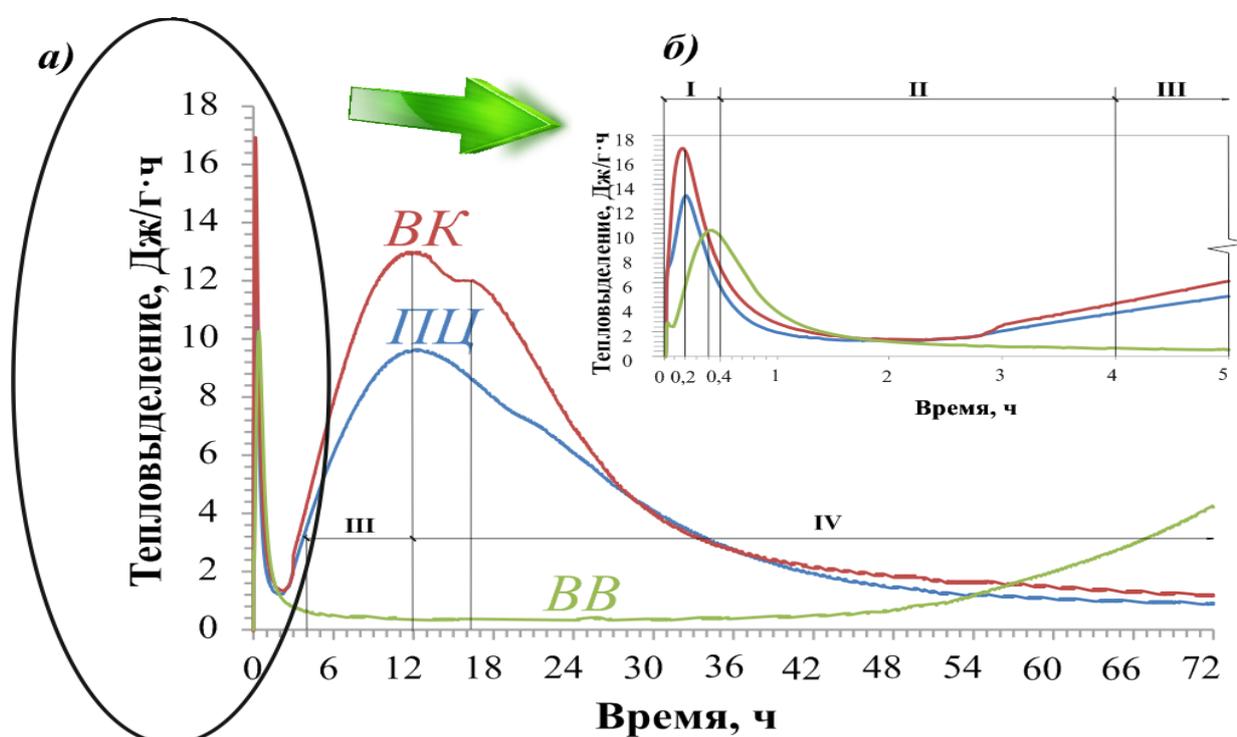


Рис. 1. Кинетика тепловыделения рядового портландцемента (ПЦ), вяжущей композиции (ВК) и высокодисперсного вяжущего (ВВ)

Частицы портландцемента сразу же после затворения вступают во взаимодействие с водой и реагируют весьма энергично (рис. 1,а), о чем свидетельствует первый пик на кривой тепловыделения (I стадия). На этой стадии – быстрой гидратации поверхностных частиц минералов последние покрываются тонкой пленкой из гелей гидратированных соединений, которая затрудняют доступ молекул воды с негидратированной поверхности частиц и выход продуктов гидратации в межзерновое пространство. Тепловыделение цемента в первый час гидратации имеет максимальное значение $13 \text{ Дж/г}\cdot\text{ч}$, что объясняется растворением гидросиликатов и гидроалюминатов кальция, а также распадом портландита на ионы Ca^{+2} и OH^- , которые переходят в раствор.

Тонкость помола цемента влияет на скорость тепловыделения при гидратации: увеличение тонкости помола ускоряет реакции гидратации и выделение тепла, однако общее количество выделенного тепла не зависит от тонкости помола цемента. Подсчитав площадь под графиками, можно получить количество теплоты, выделенное за определенный период.

На втором этапе реакции гидратации затормаживаются и начинается индукционный период. Изменяется механизм гидратации: моментальная поверхностная реакция, лимитируемая только лишь быстротой химического взаимодействия H_2O с минералами портландцемента заменяется гетерогенно-диффузионным ходом массообмена путем сформировавшихся на частичках

оболочек из гидратов. В течение индукционного этапа происходит зарождение и медленный рост кристаллов CSH, гидроалюминатов кальция и $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

По достижению данными кристаллами некоторых размеров энергия поверхностного натяжения малого слоя оболочки спускается вплоть до минимума, она разрушается и открывает подход H_2O к негидратированной поверхности частиц. С этого момента начинается III условный этап процесса – ускоренный этап гидратации, быстрота взаимодействий лимитируется исключительно скоростью химического взаимодействия H_2O и минералов.

Продукты гидратации, возникающие на данном этапе поглощаются быстрорастущими кристаллами и не успевают создавать новые оболочки, что формирует подходящие условия для протекания интенсивного взаимодействия в системе и формирования монолитного каркаса. В результате при массовом образовании кристаллогидратов на поверхности негидратированных ядер создается и со временем уплотняется такая оболочка и вследствие этого со временем снижаются скорости реакций.

Анализ кривой кинетики тепловыделения вяжущей композиции (ВК), состоящей из портландцемента (95 %) и минеральной добавки - отхода перлитового производства (5 %) имеет свои отличия. Если для портландцемента интенсивное тепловыделение в цементном тесте на 1 стадии наблюдается в возрасте 20 мин, с тепловыделением в первый час гидратации 13 Дж/г·ч, то для вяжущей композиции наибольшее тепловыделение к этому времени составляет 17 Дж/г·ч, превышение тепловыделения составляет 30 %, это можно объяснить суммарными процессами гидратации, проходящими в обычном портландцементе, а также дополнительным выделением кристаллизационной воды из внесенной перлитовой добавки.

Вторая стадия гидратации вяжущей композиции аналогична этой стадии гидратации рядового портландцемента, но отмечается, что индукционный период для вяжущей композиции протекает при повышенном тепловыделении в течение всего периода в среднем на 20–22 %, что объясняется активным протеканием химических взаимодействий в системе с содержанием перлитовой добавки. В этот период на перлитовых частицах, как на подложках, равномерно распределенных по всему объему материала в результате встречной диффузии ионов в объеме пленок-оболочек происходят процессы зарождения и медленного устойчивого роста кристаллов гидросиликатов кальция и $\text{Ca}(\text{OH})_2$, создавая пористую

объемную структуру за счет вспученных зерен перлита.

Вследствие высокой дисперсности системы, энергия поверхностного натяжения тонкого слоя пленок падает до минимума и создает лучший доступ воды к негидратированной поверхности частиц минералов. С этого момента наступает 3-й условный ускоренный период процесса гидратации, при этом отмечается максимальное тепловыделение. Находясь на частицах минерального наполнителя минералы клинкера покрываются тонкой пленкой этtringита, которая препятствует проникновению воды, но наличие насыщенного раствора $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и других соединений в образовавшемся геле создают условия для диффузионного притока воды из межзернового пространства с пониженной концентрацией раствора. Из-за этого происходит разрыв защитных слоев и возникает стремительная реакция гидратации клинкерных фаз, первоначально C_3A , что и является фактором внезапного выделения тепла после 3 часов гидратации.

На следующем этапе, как только концентрация ионов Ca^{2+} и OH^- становится максимальной, реакции гидратации проходят с высокой скоростью по всему объему. Далее, вопреки уменьшению скорости тепловыделения гидратация клинкерных минералов продолжается. На последней стадии формируется малое количество продуктов гидратации C_3S и C_3A . Отличительной особенностью гидратации вяжущей композиции на 3 этапе в возрасте 12 часов является повышенная величина тепловыделения, на 36 % превосходящая тепловыделение портландцемента, кроме того, отмечается в возрасте 16 часов эффект тепловыделения, по-видимому, связанный с гидратацией глинистых минералов, внесенных перлитом.

В последующем 4 этапе происходит дальнейшее активизирование гидратации, увеличение полноты гидратации основных клинкерных минералов, благодаря проявлению пуццолановой реакции и активному связыванию блокирующего портландита, а также большей концентрации накопленных новообразований – гидросиликатов кальция. При этом отмечается, что процессы тепловыделения в вяжущей композиции протекают стабильно с повышенным тепловыделением, превосходящим портландцемент на 20–22 %, что свидетельствует об активизации процессов гидратации в системе, что подтверждается результатами рентгенофазового анализа и физико-механических испытаний образцов.

Анализ кривой тепловыделения высокодисперсного вяжущего показывает, что если для портландцемента интенсивное тепловыделение в

цементном тесте на 1 стадии наблюдается в возрасте 20 мин, с тепловыделением в первый час гидратации 13 Дж/г·ч, для вяжущей композиции наибольшее тепловыделения к этому времени составляет 17 Дж/г·ч, превышение тепловыделения составляет 30 %, то для высокодисперсного вяжущего величина тепловыделения составляет 10 Дж/г·ч, что ниже тепловыделения портландцемента на 29 % и вяжущей композиции на 68 % соответственно.

Смещение первого пика тепловыделения и снижение тепловыделения у высокодисперсного вяжущего объясняется высокой удельной поверхностью вяжущего, наличием минерального компонента в виде зерен пластинчатой формы, их высокой дисперсностью, которые, определенным образом блокируют и термоизолируют систему, кроме того, введенная суперпластифицирующая добавка Melment F10, покрывая частицы минералов цемента, тормозит физико-химические процессы разложения и взаимодействия в системе, тем самым замедляя последующую гидратацию. Полученные результаты согласовываются с исследованиями, проведенными проф. А.В. Ушеровым-Маршаком [23], установившем, что пластификатор за счет торможения и блокирования ранних стадий гидратации обуславливает значительное снижение интенсивности и полноты тепловыделения. Однако, вопрос влияния суперпластификаторов на вяжущие композиции, состоящие из цемента и различных минеральных наполнителей требует глубокого и детального изучения.

В случае если минеральные добавки сравнительно малоактивны и их гранулометрический состав аналогичен к таковому для портландцемента, в таком случае как правило результат от введения ПАВ выше, нежели при их введении в составы на рядовом портландцементе [24]. Это говорит о том, что минеральные компоненты смешанного цемента отнюдь не так сильно взаимодействуют с H_2O , как клинкер, и как бы «разбавляют» цемент, уменьшая, особенно в ранние сроки, число гидратных новообразований, на которых адсорбируются ПАВ.

Наиболее отчетливо подобная зависимость наблюдается при использовании высокоалюминатных цементов, так как гидроалюминаты кальция, сорбируя либо хемосорбируя ПАВ, значительно сокращают их «действующую» концентрацию, остающуюся для адсорбции на CSH – фазе.

Иногда такая взаимозависимость оказывается менее отчетливой, но чаще даже в неблагоприятных условиях малоактивные минеральные добавки не оказывают большого влияния на эффективность поверхностно-активной добавки. В

отличие от этого при введении поверхностно-активных добавок в цементные системы с высокодисперсными минеральными компонентами, обладающими существенной гидравлической активностью, к примеру, с микрокремнеземом, либо некоторыми разновидностями золы-уноса необходимо иметь в виду то, что часть поверхностно-активной добавки может адсорбироваться на данных активных минеральных компонентах [24].

В результате проведенных нами исследований установлено, что суперпластифицирующая добавка Melment F10 активно сорбируется на частицах минеральной добавки-отходов вспученного перлитового производства вследствие их высокой гидравлической активности и близких гранулометрических составов портландцемента и минеральной добавки высокодисперсного вяжущего, что подтверждено результатами ИК-спектрокопии. Эта особенность пластифицирующей добавки позволяет управлять процессами структурообразования и создавать композиты с требуемыми свойствами.

Изучение микроструктур поверхностей сколов цементных камней в возрасте 28 суток, полученных на основе: рядового портландцемента ПЦ (рис. 2), вяжущей композиции ВК (рис. 3) и высокодисперсного вяжущего ВВ (рис. 4) показало, что кристаллизация новообразований изученных камней весьма отлична.

Микроструктура затвердевшего цементного камня на основе рядового портландцемента ПЦ (рис. 2) характеризуется созданием объемно-однородной, высокоплотной структуры, отмечается достаточно плотное зарастание пространственного объема и формирование слитной структуры композита, обеспечивающего высокие физико-механические свойства.

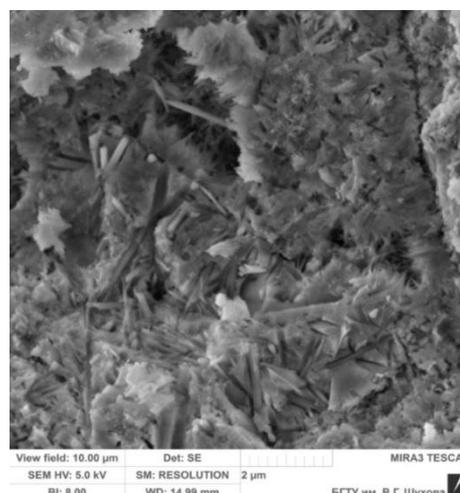


Рис. 2. Микроструктура поверхности скола цементного камня рядового портландцемента ПЦ в возрасте 28 суток

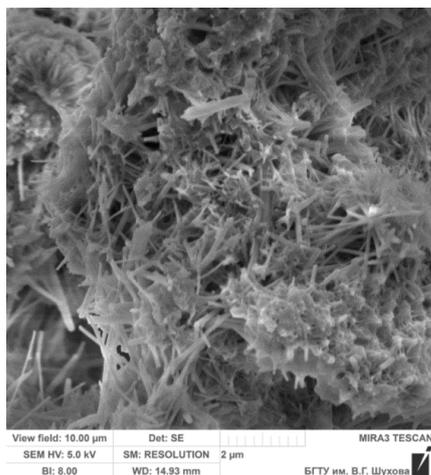


Рис. 3. Микроструктура поверхности скола цементного камня вяжущей композиции ВК в возрасте 28 суток

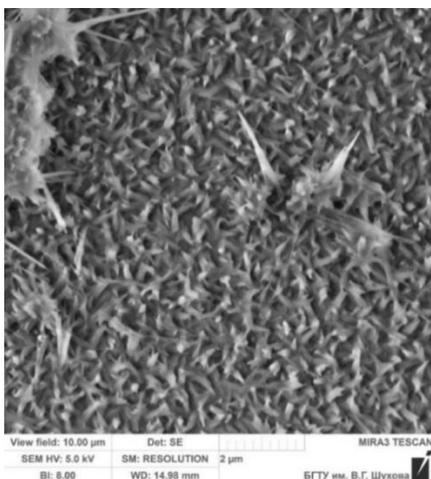


Рис. 4. Микроструктура поверхности скола цементного камня высокодисперсного вяжущего в возрасте 28 суток

Особенностью микроструктуры затвердевшего цементного камня на основе вяжущей композиции ВК (рис. 3) является наличие объемно-однородной сросшейся структуры, отмечается отчетливое формирование пористого пространственного каркаса, формирующегося на минеральных подложках и создающих равномерный объем прорастающих структур во всех направлениях, которые обеспечивают высокие прочностные показатели композита.

Выявлены закономерности формирования микроструктуры высокодисперсных вяжущих, полученных при совместном помоле цемента и отходов перлитового производства в вихревой струйной мельнице, заключающиеся в создании объемно-кристаллических гидросиликатных и гидросульфатоалюминатных каркасов на поверхности частиц перлита, где за счет механоактивации компонентов смеси открываются новые поверхности, способствующие увеличению реакционной способности вяжущей системы за счет повышения содержания групп Si-O-Si – ключевых носителей прочности цементного камня в силу

увеличения дефектов по поверхности, что подтверждается микрофотографиями поверхности скола высокодисперсных вяжущих. Система самоорганизуется, формируется гомогенная мелкопористая матрица и обеспечиваются благоприятные условия, с целью последующего формирования оптимальной структуры теплоизоляционного композита, который обеспечивает высокие теплозащитные свойства строительным растворам.

Образование дополнительных гидратных минеральных фаз с участием отходов перлитового производства подтверждается уменьшением содержания портландита в высокодисперсных вяжущих, совокупностью выявленных изменений в области колебаний ключевых структурных фрагментов соединений, а кроме того изменением пропорций интенсивности пиков установленных рефлексов. Выявлено, что механическая прочность высокодисперсных вяжущих обусловлена удельной поверхностью и содержанием отходов, которые участвуют в образовании структуры цементного камня и содействуют формированию структуры теплоизоляционного материала. При использовании портландцемента и минеральной перлитовой добавки разработаны составы вяжущих композиций с пределом прочности при сжатии 69,1 МПа и плотностью 2,0 г/см³ и на их основе разработаны высокодисперсные вяжущие с пределом прочности при сжатии 84,2 МПа и плотностью 2,1 г/см³.

Предлагаемые высокодисперсные вяжущие позволяют получать теплоизоляционные растворы со следующими характеристиками: плотностью 240-260 кг/м³, коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,051-0,059$ Вт/(м·°С), морозостойкостью в 1,6 раза превышающую морозостойкость теплоизоляционных растворов (с 50 до 80 циклов).

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют о существенных отличиях процессов гидратации изученных вяжущих систем. Выявлены особенности формирования микроструктуры высокодисперсных вяжущих, полученных при совместном помолу цемента и отходов перлитового производства в вихревой струйной мельнице, заключающиеся в создании объемно-кристаллических гидросиликатных и гидросульфатоалюминатных структур на поверхности частиц перлита, где за счет механоактивации компонентов смеси открываются новые поверхности, способствующие увеличению реакционной способности вяжущей системы за счет повышения содержания групп Si-O-Si – ключевых носителей прочности цементного камня, что подтверждается микрофотографиями поверхности скола вы-

сокодисперсных вяжущих. Сформированная гомогенная мелкопористая структура матрицы цементного камня, обладая определенной прочностью и плотностью позволяет создавать оптимальную структуру теплоизоляционного композита, который обеспечивает высокие теплозащитные свойства строительным растворам.

Источник финансирования. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-03-00352.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сумской Д.А. Теплоизоляционный раствор на основе композиционного вяжущего // Вестник ВГУИТ. 2018. Т.2. №2. С. 283–289.
2. Лесовик В.С., Алфимова Н.И., Вишневецкая Я.Ю. Высокоэффективные композиционные вяжущие с использованием наномодификатора // Вестник центрального регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. 2010. С. 90.
3. Zagorodnjuk L.H., Shkarin A.V., Belikov D.A., Kuprina A.A. Creating Effective Insulation Solutions, Taking into Account the Law of Affinity Structures in Construction Materials // World Applied Sciences Journal. 2013. Т. 24. № 11. С. 1496–1502.
4. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Чулкова И.Л. // Закон сродства структур в материаловедении // Фундаментальные исследования. 2014. № 3. Ч. 2. С. 267–271.
5. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Беликов Д.А., Щекина А.Ю., Куприна А.А. Эффективные сухие смеси для ремонтных и восстановительных работ // Строительные материалы. 2014. №7. С. 82–85.
6. Загороднюк Л.Х., Лесовик В.С., Шамшуров А.В., Беликов Д.А. Композиционные вяжущие на основе органо-минерального модификатора для сухих ремонтных смесей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 5. С. 25–31.
7. Загороднюк Л.Х., Лесовик В.С., Беликов Д.А. К проблеме проектирования сухих ремонтных смесей с учетом сродства структур // Вестник Центрального регионального отделения РААСН, Выпуск 18. Москва. 2014. С. 112–119.
8. Загороднюк Л.Х., Лесовик В.С., Гайнутдинов Р. Специфика твердения строительных растворов на основе сухих смесей // Вестник Центрального регионального отделения РААСН. 2014. С. 93–98.
9. Lesovik V.S., Zagorodnjuk L.H., Tolmacheva M.M., Smolnikov A.A., Shekina A.Y., Shakarna M.H.I. Structure-formation of contact layers of composite materials // Life Science Journal. 2014. Т. 11. № 12. С. 948–953.
10. Kuprina A.A., Lesovik V.S., Zagorodnjuk L.H., Elistratkin M.Y. Anisotropy of Materials Properties of Natural and Man-Triggered Origin // Research Journal of Applied Sciences. 2014. №9. С. 816–819.
11. Lesovik V.S., Chulkova I.L., Zagorodnjuk L.H., Volodchenko A.A., Popov D.Y. The Role of the Law of Affinity Structures in the Construction Material Science by Performance of the Restoration Works // Research journal of applied sciences. 2014. Т. 9. № 12. С.1100–1105.
12. Volodchenko A.A., Lesovik V.S., Zagorodnjuk L.H., Volodchenko A.N., Kuprina A.A. The control of building composite structure formation through the use of multifunctional modifiers // Research journal of applied sciences. 2015. Т. 10. № 12. С. 931–936.
13. Volodchenko A.A., Lesovik V.S., Zagorodnjuk L.H., Volodchenko A.N., Prasolova E.O. Influence Of The Inorganic Modifier Structure On Structural Composite Properties // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10. № 19. С. 40617–40622.
14. Bazhenov Y.M., Zagorodnjuk L.H., Lesovik V.S., Yerofeyeva I.V., Chernysheva N.V., Sumskey D.A. Concerning the role of mineral additives in composite binder content // International Journal of Pharmacy and Technology. 2016. Т. 8. №4. С. 22649–22661.
15. Lesovik V.S., Zagorodnjuk L.H., Volodchenko A.A., Glagolev E.S., Sumskey D.A., Kaneva E.V. Modern views on the creation of effective composites // International Journal of Pharmacy and Technology. 2016. Т. 8. №4. С. 24868–24879.
16. Шкарин А.В., Загороднюк Л.Х., Щекина А.Ю., Лугинина И.Г. Получение композиционных вяжущих в различных помольных агрегатах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова: материалы Междунар. Науч.-практ. Конф. 2012. № 4. С. 53–57.
17. Загороднюк Л.Х., Сумской Д.А. Системно-структурный подход к анализу композиционного материала // Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства: сб. докл. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию заслуженного деятеля науки РФ, члена-корреспондента РААСН, доктора технических наук, профессора Валерия Станиславовича Лесовика, Белгород, 15-16 марта 2016 г. Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. Ч. 1. С. 320–327.
18. Сумской Д.А., Павленко О.А., Дмитриев Ю.А. К вопросу создания эффективных теплоизоляционных строительных материалов // Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства: сб. докл. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию заслуженного

деятели науки РФ, члена–корреспондента РААСН, доктора технических наук, профессора Валерия Станиславовича Лесовика, Белгород, 15-16 марта 2016 г. Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. Ч. 3. С. 125–133.

19. Загороднюк Л.Х., Лесовик В.С. Повышение эффективности производства сухих строительных смесей: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. 548 с.

20. Шкарин А.В., Загороднюк Л.Х., Щекина А.Ю., Лугинина И.Г. Получение композиционных вяжущих в различных помольных агрегатах // БГТУ им. В.Г. Шухова: материалы Междунар. Науч.-практ. конф, 2012. №9. С. 89–92.

21. Zagorodnyuk L.H., Lesovik V.S., Shkarin A.V., Belikov D.A., Kuprina A.A. Creating

Effective Insulation Solutions, Taking into Account the Law of Affinity Structures in Construction Materials // World Applied Sciences Journal. 2013. Т. 11. № 24. С. 1496–1502.

22. Zagorodnyuk L.Kh., Lesovik V.S., Sumskey D.A. Thermal insulation solutions of the reduced density // Construction Materials and Products. 2018. Т. 1. № 1. С. 40–50.

23. Ущеров-Маршак А.В. Калориметрия цемента и бетона: Избранные труды. Харьков: Факт, 2002. 180 с.

24. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Добавки в бетон. 2-е изд., перераб. и доп.-М. Стройиздат, 1989. 188 с.

Информация об авторах

Загороднюк Лилия Хасановна, доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: zagorodnyk.lh@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Сумской Дмитрий Алексеевич, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: pr9nik2011@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Чепенко Ангелина Сергеевна, бакалавр кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: pr9nik2011@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в сентябре 2018 г.

© Загороднюк Л.Х., Сумской Д.А., Чепенко А.С., 2018

^{1,*}Zagorodnyuk L.Kh., ¹Sumskey D.A., ¹Chepencko A.S.
¹Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov
 Russia, 308012, Belgorod, ul. Kostyukova 46
 *E-mail: zagorodnyk.lh@bstu.ru

FEATURES OF THE HYDRATATION PROCESSES OF HIGHLY DISPERSED BINDERS

Abstract. The outcomes of studies the features of hydration of highly dispersed binders are presented in the article. The processes of hydration of clinker minerals are accompanied by the seizure of the binder and continue for a long period. The heat release of various portland cements changes greatly depending on mineral composition and fineness of grinding. The heat release is the result of complex physical and chemical processes of interaction between the dispersed binder powder and the dispersed liquid phase. The rate of heat release reflects the total speed and intensity of hydration processes, determined by the change of heat released during the reaction per unit of time. The analysis of the heat release curve of highly dispersed binder shows, for portland cement intense heat release in cement paste at stage 1 is observed at the age of 20 minutes with heat release in the first hour of hydration 13 J/g · h; the greatest heat release by this time for a binder composition is 17 J/g · h, the excess heat is 30 %. For the highly dispersed binder, the heat release value is 10 J/g · h, which is lower by 29 % than of portland cement and by 68% of the binder composition. The results indicate significant features of the hydration processes in the studied systems. It is found that Melment F10 superplasticizer is actively sorbed on particles of mineral additive-waste of expanded perlite production due to their high hydraulic activity and close granulometric compositions of portland cement and highly dispersed binder mineral additive. This allows to manage the structure formation processes and to create composites with the required properties.

Keywords: highly dispersed binders, heat release, waste of perlite sand production, processes of hydration of clinker minerals, active mineral additive.

REFERENCES

1. Sumskey D.A. Thermal insulation solution based on a composite binder. *Vestnik VGUIT*, 2018, vol. 2., no. 2., C. 283–289.
2. Lesovik V.S., Alfimova N.I., Vishnevskaya Ya.Yu. Highly effective composite binders using a nano-modifier. *Bulletin of the Central Regional Branch of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences*, 2010, 90 p.
3. Zagorodnyuk L.H., Shkarin A.V., Belikov D.A., Kuprina A.A. Creating Effective Insulation Solutions, Taking into account the Law of Affinity Structures Construction Materials. *World Applied Sciences Journal*, vol. 24, no. 11, pp. 1496–1502.
4. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Chulkova I.L. The law of affinity of structures in materials science. *Fundamental research*, 2014, no. 3, part 2, pp. 267–271.
5. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Belikov D.A., Shchekina A.Yu., Kuprina A.A. Effective dry mixes for repair and refurbishment. *Construction materials*, 2014, no. 7, pp. 82–85.
6. Zagorodnyuk L.Kh., Lesovik V.S., Shamsurov A.V., Belikov D.A. Composite binders based on organo-mineral modifier for dry repair. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2014, no. 5, pp. 25–31.
7. Zagorodnyuk L.Kh. Lesovik V.S., Belikov D.A. To the problem of designing dry repair mixtures with regard to the affinity of structures. *Bulletin of the Central Regional Branch of the RAACS*, Issue 18. Moscow, 2014, p. 112–119.
8. Zagorodnyuk L.Kh., Lesovik V.S., Gainutdinov R. Specificity of hardening of building solutions based on dry mixes. *Bulletin of the Central regional branch of RAASN*, 2014, pp. 93–98.
9. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Tolmacheva M.M., Smolikov A.A., Shekina A.Y., Shakarna M.H.I. Composite materials. *Life Science Journal*, 2014, vol. 11, no. 12, pp. 948–953.
10. Kuprina A.A., Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Elistratkin M.Y. Anisotropy of Materials Properties of Natural and Man-Triggered Origin. *Research Journal of Applied Sciences*, 2014, no. 9, pp. 816–819.
11. Lesovik V.S., Chulkova I.L., Zagorodnyuk L.H., Volodchenko A.A., Popov D.Y. The Restoration Works. *Research journal of applied sciences*, 2014, vol. 9, no. 12, pp. 1100–1105.
12. Volodchenko A.A., Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Volodchenko A.N., Kuprina A.A. The use of multifunctional modifiers. *Research journal of applied sciences*, 2015, vol. 10, no. 12, pp. 931–936.
13. Volodchenko A.A., Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Volodchenko A.N., Prasolova E.O. Influence Of The Inorganic Modifier Structure On Composite Properties. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2015, vol. 10, no. 19, pp. 40617–40622.
14. Bazhenov Y.M., Zagorodnyuk L.H., Lesovik V.S., Yerofeyeva I.V., Chernysheva N.V., Sumskey D.A. Concerning the role of mineral additives in composite binder content. *International Journal of Pharmacy and Technology*, 2016, vol. 8, no. 4, pp. 22649–22661.
15. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Volodchenko A.A., Glagolev E.S., Sumskey D.A., Kaneva E.V. Modern views on the creation of effective composites. *International Journal of Pharmacy and Technology*, 2016, vol. 8, no. 4, pp. 24868–24879.
16. Shkarin A.V., Zagorodnyuk L.H., Shekina A.Yu., Luginina I.G. Preparation of composite binders in various grinding aggregates. *Bulletin of BSTU. V.G. Shukhov: materials of the Intern. Scientific Practical Conf*, 2012, no. 4, pp. 53–57.
17. Zagorodnyuk L.Kh., Sumy D.A. System – structural approach to the analysis of composite material. *Intellectual construction composites for green building: Sat. report international scientific-practical conf., dedicated. The 70th anniversary of the Honored Scientist of the Russian Federation, Corresponding Member of the RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor Valery Stanislavovich Lesovik, Belgorod, March 15-16, 2016. Belgorod: BSTU Publishing House*, 2016, Part 1, pp. 320–327.
18. Sumskey D.A., Sumy D.A., Pavlenko O.A., Dmitriev Yu.A. On the issue of creating effective thermal insulation building materials. *Intellectual building composites for green building: Sat. report international scientific-practical conf., dedicated. The 70th anniversary of the Honored Scientist of the Russian Federation, Corresponding Member of the RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor Valery Stanislavovich Lesovik, Belgorod, March 15-16, 2016. Belgorod: BSTU Publishing House*, 2016, Part 3, pp. 125–133.
19. Zagorodnyuk L.Kh., Woodman V.S. Improving the efficiency of production of dry building mixtures: monograph. *Belgorod: Publishing house of BSTU*. 2014, 548 p.
20. Shkarin A.V., Zagorodnyuk L.H., Shchekina A.Yu., Luginina I.G. Preparation of composite binders in various grinding aggregates. *BSTU. V.G. Shukhov: materials of the Intern. Scientific Practical conf*, 2012, no. 9, pp. 89–92.
21. Zagorodnyuk L.H., Lesovik V.S., Shkarin A.V., Belikov D.A., Kuprina A.A. Creating the Effective Insulation Solutions, Taking into account the Law of the Affinity Structures in Construction Materials. *World Applied Sciences Journal*, 2013, vol. 11, Number 24, pp. 1496–1502.

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.12737/article_5c1c9968dd21b8.61565433

¹Уральский А.В., ¹Уральский В.И., ¹Севостьянов В.С., ¹Загороднюк Л.Х., ²Юрченко В.В.,
^{1,*}Синица Е.В.

¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

²Карагандинский государственный технический университет
Республика Казахстан, 100027, Бульвар Мира 56

*E-mail: sinica.ev@bstu.ru

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ПОМОЛЬНОГО АГРЕГАТА ПРИ МОКРОМ СПОСОБЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Аннотация. В настоящее время в связи с быстро развивающимися темпами строительства остро встала проблема недостатка природного сырья для производства строительных материалов. Исходя из этого, актуальной задачей строительной индустрии является сохранение естественных сырьевых ресурсов, энергосбережение и защита окружающей среды, переработка отходов производств с целью изготовления из них высококачественных продуктов и создание безотходных производств.

Анализ сырьевых ресурсов Российской Федерации показал, что наиболее крупнотоннажным сырьем является отходы мокрой магнитной сепарации (ММС), образующиеся при обогащении руд.

Выполненный комплекс исследований применения отходов ММС показал, что самое эффективное их использование заключается в механоактивации смеси отходов и цемента и приготовлении нового класса вяжущих – тонкомолотых многокомпонентных цементов (ТМЦ) и вяжущих низкой водопотребности (ВНВ).

Для проведения комплексных экспериментальных исследований, с учетом существующих требований, был выбран опытно-экспериментальный центробежный помольный агрегат (ЦПА) с заданными траекториями движения помольных камер. Разработанный измельчитель предназначен для механоактивации хрупких материалов с различными физико-механическими свойствами по комбинированному способу помола (сухому и мокрому), как в периодическом, так и в непрерывном режимах.

Анализ результатов экспериментальных исследований свидетельствуют об эффективности использования центробежного помольного агрегата при мокром способе измельчения, а также позволяют сделать вывод о существенном превосходстве мокрого измельчения для получения тонкомолотого сырья.

Ключевые слова: отходы горнорудного производства, переработка, строительные материалы, механоактивация, центробежный помольный агрегат, сухой способ, мокрый способ, удельная поверхность.

В настоящее время в связи с быстро развивающимися темпами строительства остро встала проблема недостатка природного сырья для производства строительных материалов. Исходя из этого, актуальной задачей строительной индустрии является сохранение естественных сырьевых ресурсов, энергосбережение и защита окружающей среды, переработка отходов производств с целью изготовления из них высококачественных продуктов и создание безотходных производств [1].

Рудное сырьё в России добывается различными методами. Более дешёвая добыча открытым способом позволяет уменьшить потери сырья, однако активное использование этого спо-

соба приводит к исключению из природопользования больших земельных площадей и образованию огромного объёма отходов пустой породы. Только в России накоплены свыше 45 млрд. т отходов различного класса опасности.

Что касается железной руды, при её добыче открытым способом извлекается почти 100 % руды, а подземным способом – 87 %. В то же время большую проблему представляют огромные объёмы отходов горнорудного производства. В процессе добычи железных руд, как и руд других металлов – это, как правило, вскрышные и попутно-добываемые породы.

Анализ выявленных сырьевых ресурсов Российской Федерации показал, что наибольшие объёмы приходятся на отходы мокрой магнитной

сепарации (ММС), образующиеся при обогащении руд.

Безусловно, возможность вторичного использования отходов горнорудного производства будет оказывать благоприятное воздействие не только на экологическую обстановку окружающей среды, но и позволит производить широкий спектр строительных материалов с высокими эксплуатационными свойствами. При этом обеспечивается существенный экономический эффект в связи с использованием дешевых сырьевых материалов.

Таким образом, наиболее перспективным направлением утилизации отходов обогащения горнорудного производства является их использование в строительном комплексе. Особенно актуальным этот вопрос становится сегодня, в условиях развития и роста числа горнорудных предприятий [2].

Существуют различные методы динамического воздействия на структуру твердого тела для активизации химических и физико-химических процессов.

При дроблении и помоле обеспечивается интенсивное воздействие на железистые кварциты, в результате чего изменяется структура поро-

образующих минералов. Теоретически возможность инициирования и ускорения химических реакций при механическом воздействии на кварц и другие минералы объясняется поглощением ими определенной доли механической энергии. При дальнейшем деформировании минералов (за пределом текучести) их структура разрушается и энергия расходуется на образование различных дефектов структуры.

Запасенная в хвостах в результате механоактивации энергия влияет на процессы структурообразования в системе «отходы ММС – портландцемент» [3].

Вышеизложенное свидетельствует о том, что обогащение железистых кварцитов представляет собой систему механического воздействия на исходную полиминеральную породу, в результате которого происходит дезинтеграция материала и разделение на магнетитовый концентрат и нерудную составляющую - хвосты ММС.

Выполненный комплекс исследований применения отходов ММС показал, что самое эффективное их использование заключается в механоактивации смеси отходов и цемента и приготовлении нового класса вяжущих – тонкомолотых многокомпонентных цементов (ТМЦ) и вяжущих низкой водопотребности (ВНВ) (рис. 1).



Рис. 1. Области использования ВНВ и ТМЦ

Для получения применяемых вяжущих необходим тонкий совместный помол отходов ММС и цемента. Так как имеющиеся сырье зачастую не соответствует требованиям, а исходные материалы имеют различную гранулометрию, то необходимо использовать различные технологии его обработки.

Тонкий помол осуществляет достаточно интенсивное воздействие на железистые кварциты, в результате чего происходят химические реакции и изменение структуры породообразующих минералов. При использовании тонкого цемента, рост твердой кристаллической части происходит быстрее.

В результате многочисленных исследований установлено, что вторичное использование хвостов обогащения железных руд позволяет получить силикатные бетоны марок 400–700, обладающие следующими свойствами:

- высокая морозостойкость;
- стойкость к воздействию агрессивных сред;
- повышенное сопротивление истиранию (выше аналогичного показателя для бетонов на традиционных заполнителях в 1,5 раза);
- повышенная прочность на изгиб.

Повышенное сопротивление истиранию и повышенная прочность на изгиб обуславливают широкие возможности использования подобных бетонов в дорожном строительстве [4].

Известны положительные результаты лабораторно-технологических и промышленных испытаний отходов обогащения ММС железистых кварцитов КМА в составе шихты при производстве керамического кирпича [5].

Для проведения комплексных экспериментальных исследований, с учетом существующих требования, был выбран опытно-экспериментальный центробежный помольный агрегат (ЦПА) с заданными траекториями движения помольных камер (рис. 2) [6–12]. Разработанный центробежный помольный агрегат предназначен для измельчения материалов с различными физико-механическими свойствами по комбинированному способу помола (сухому и мокрому), как в периодическом, так и в непрерывном режимах.

При исследовании процессов измельчения в ЦПА использовались доступные сырьевые материалы с необходимыми технологическими и экономическими параметрами, благоприятно влияющими на качество и себестоимость готовой продукции. В работе использовались:

- портландцемент марки ЦЕМ I 42,5 Н (ГОСТ 31108-2003), ОАО «Белгородский цементный завод»;
- отходы мокрой магнитной сепарации Михайловского горно-обогатительного комбината (МГОК).

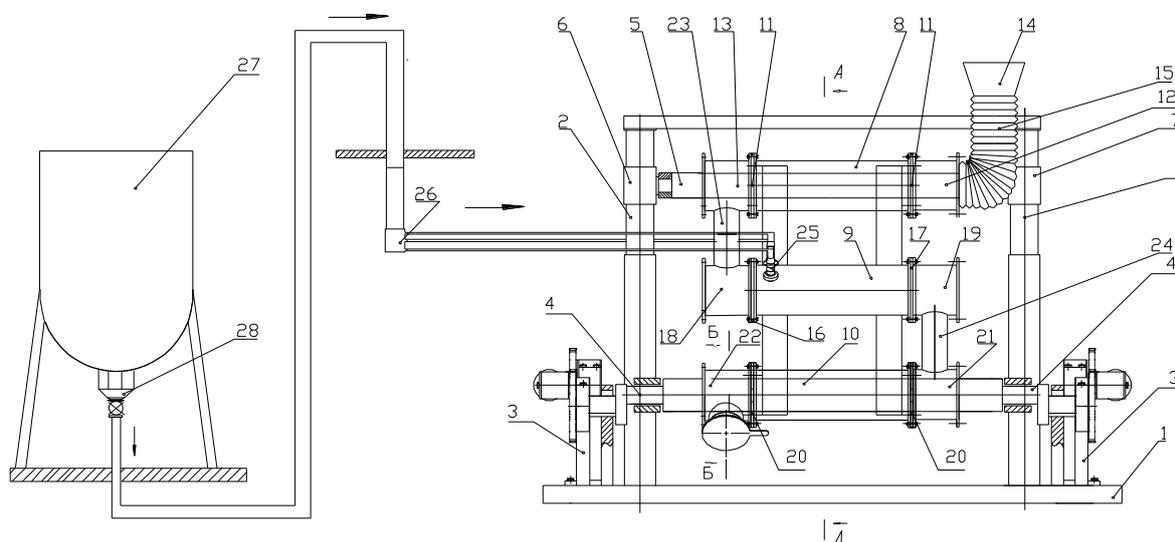


Рис. 2. Центробежный помольный агрегат комбинированного способа измельчения
 1 – станина; 2 – вертикальная направляющая; 3 – опорная стойка; 4 – эксцентриковый вал; 5 – рама; 6 – ползун; 7 – ползун; 8 – верхняя помольная камера (сухого измельчения); 9 – средняя помольная камера; 10 – нижняя помольная камера (мокрого измельчения); 11 – классификационная решетка; 12 – загрузочная переходная камера; 13 – разгрузочная переходная камера; 14 – бункер; 15 – гибкий патрубок; 16 – ограничительная решетка; 17 – ограничительная решетка; 18 – загрузочная переходная камера; 19 – разгрузочная переходная камера; 20 – ограничительная решетка; 21 – загрузочная переходная камера; 22 – разгрузочная переходная камера; 23 – жесткий вертикальный патрубок; 24 – жесткий вертикальный патрубок; 25 – штуцер; 26 – трубопровод; 27 – резервуар; 28 – объемным дозатор

Вода для исследований бралась питьевая с $pH = 7,12$, показатели которой удовлетворяют требования ГОСТ 23732-85.

В работе использовалась представительная проба отходов ММС МГОКа. Проба отходов была отобрана по методике согласно ГОСТ 15054-80.

Минералогический состав усредненной пробы отходов мокрой магнитной сепарации характеризуется наличием следующих соединений: минералов кварца, гематита, силикатов железа, рудных карбонатов железа, гидроксидов железа, магнетита, нерудных карбонатов. Преобладающая фракция железа – гематитовая.

Отходы ММС представляют собой сыпучий достаточно дисперстный материал. Показатели удельной поверхности и плотности были определены экспериментально. Удельная поверхность

отходов составляет $250 \text{ м}^2/\text{кг}$, насыпная плотность – $1460 \text{ кг}/\text{м}^3$, истинная плотность – $2530 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Анализ химического состава материала показал, что содержание оксида кремния в средних пробах составляет свыше 60 %, что предопределяет возможность их использования в вяжущих композициях в качестве минерального наполнителя.

Исследование гранулометрического состава отходов ММС и применяемого портландцемента методом лазерной гранулометрии с помощью установки MicroSizer 201 показало, что области распределения частиц отходов ММС и портландцемента достаточно сближаются, при этом отмечается, что дисперсность отходов ММС достаточно высока. Результаты исследований представлены на рис. 3.

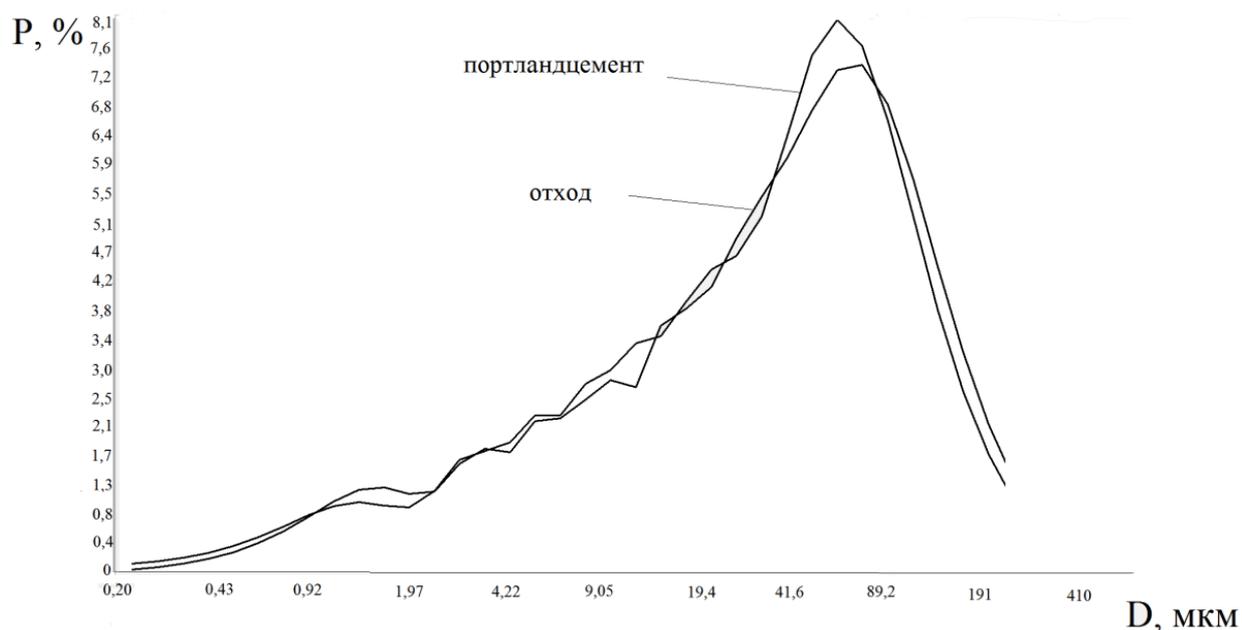
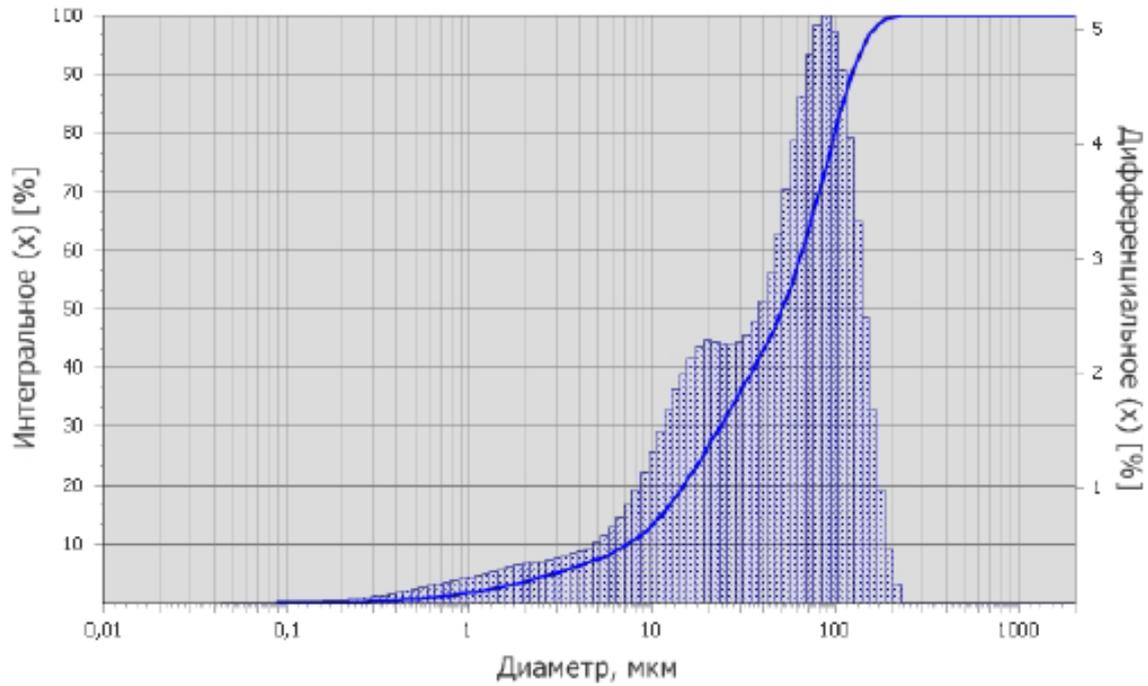


Рис. 3. График распределения частиц отходов ММС и портландцемента по размерам

Для оценки возможностей по измельчению отходов ММС были проведены предварительные исследования по их помолу в ЦПА сухим и мокрым способом. Эксперимент был проведен следующим образом: помольные камеры были загружены на 30 % соответствующими мелющими телами. Помол проходил при частоте вращения эксцентрикового вала агрегата – 480 об/мин. При мокром способе во вторую помольную камеру при каждом эксперименте подавалась вода (50 % от общего объема материала). После каждых 15 мин работы снимали пробы и делали выводы по результатам процесса измельчения.

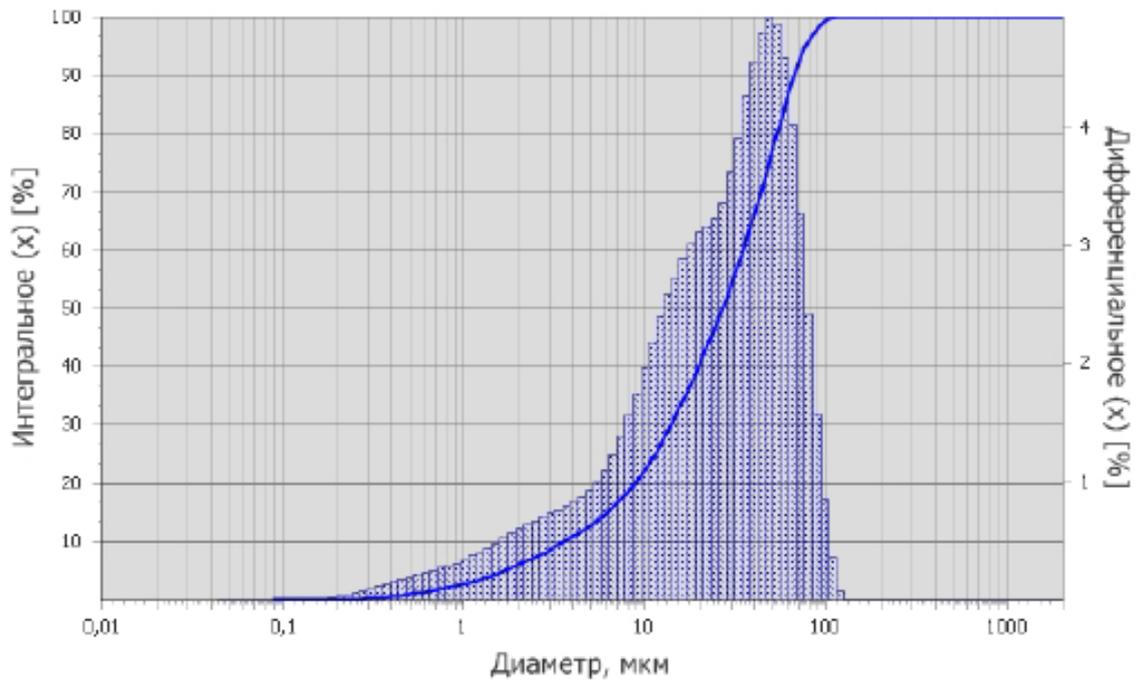
Результаты анализа изменения характеристик материала, измельченного сухим способом, приведены на рисунках 4–6, мокрым способом – на рисунках 7–9.

Анализ величины удельной поверхности ($\text{см}^2/\text{см}^3$) показывает, что интенсивность ее увеличения при сухом способе измельчения выше, чем при мокром. Через 45 минут помола удельная поверхность при сухом способе увеличилась в 2,1 раза по сравнению с величиной, определенной через 15 минут. При мокром способе удельная поверхность увеличилась в 1,05 раза. В то же время абсолютная величина удельной поверхности при измельчении мокрым способом существенно выше, полученной при сухом способе. Уже через 15 минут помола ее величина возросла в 2,7 раза. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности использования центробежного помольного агрегата при мокром способе измельчения.



Модальный диам. 87,93 μm **Размах (d90-d10)/d50** 2,26 **D[4,3]** 58,2 μm
Уд. поверхность 5472 см²/см³ **Плотность** 0 **Уд. пов. по массе** 0 см²/г

Рис. 4. Гистограмма помола отходов ММС по сухому способу через 15 мин



Модальный диам. 49,00 μm **Размах (d90-d10)/d50** 2,35 **D[4,3]** 31,6 μm
Уд. поверхность 8280 см²/см³ **Плотность** 0 **Уд. пов. по массе** 0 см²/г

Рис. 5. Гистограмма помола отходов ММС по сухому способу через 30 мин

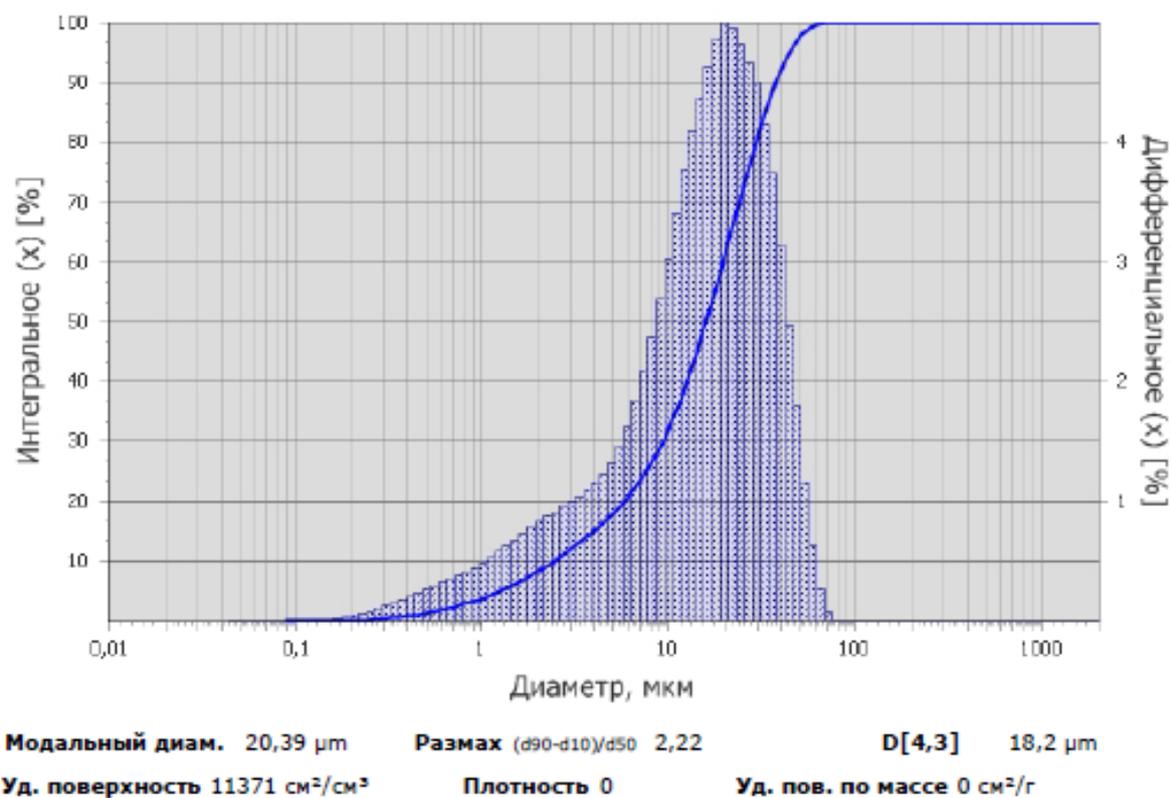


Рис. 6. Гистограмма помола отходов ММС по сухому способу через 45 мин

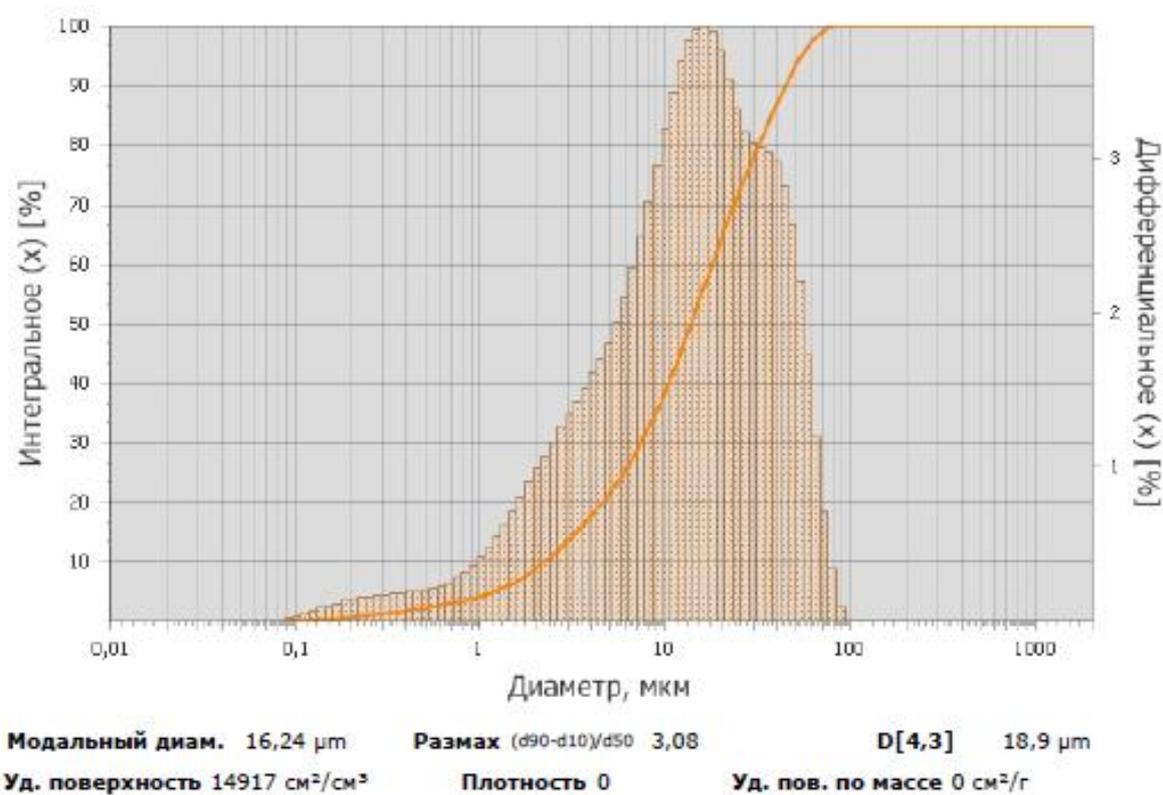


Рис. 7. Гистограмма помола отходов ММС по мокрому способу через 15 мин

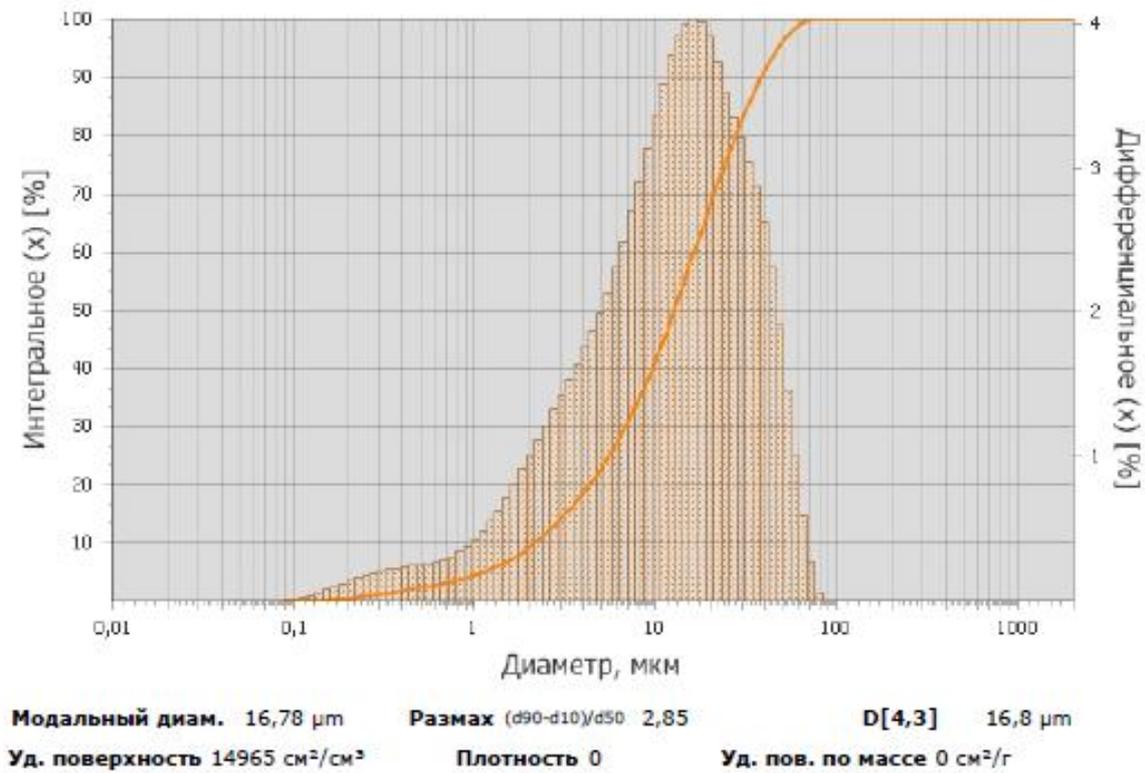


Рис. 8. Гистограмма помола отходов ММС по мокрому способу через 30 мин

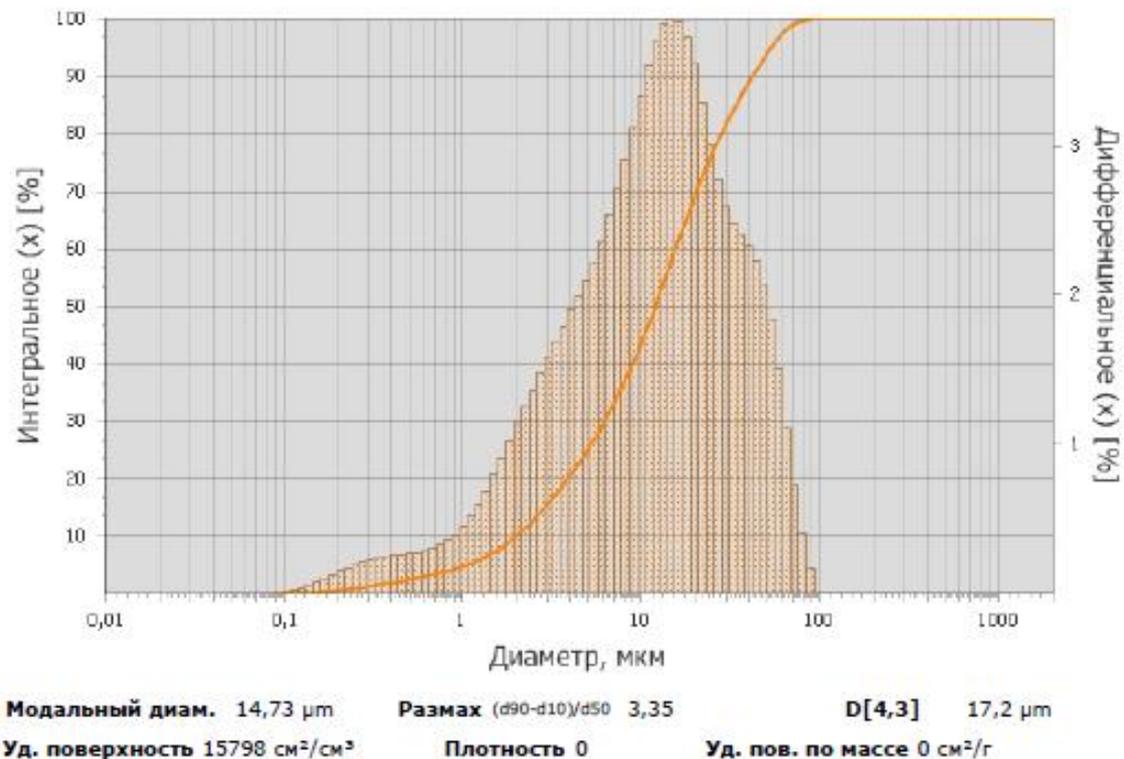


Рис. 9. Гистограмма помола отходов ММС по мокрому способу через 45 мин

При измельчении материала в воде, помимо механических, наблюдаются гидродинамические воздействия мелющей среды. Помол суспензии осуществляется в виде мощного турбулентного

потока, в котором возникают упругие механические колебания под действием мелющей загрузки.

Проведенные экспериментальные исследования по измельчению материалов в центробежном помольном агрегате разными способами позволяют сделать вывод о существенном превосходстве мокрого измельчения для получения тонкомолотого сырья.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рахимов Р.З., Магдеев У.Х., Ярмаковский В.Н. Экология, научные достижения и инновации в производстве строительных материалов на основе и с применением техногенного сырья // Строительные материалы. 2009. №12. С. 8–11.
2. Чайников В.В., Крючкова Л.А. Практика использования техногенных ресурсов чёрной и цветной металлургии в России и за рубежом. М. 1994. 30 с.
3. Аввакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов. Новосибирск: Наука, 1986. 304 с.
4. Лесовик В.С., Шейченко М.С., Алфимова Н.И. Композиционные вяжущие с использованием высокомагнезиальных отходов Ковдорского месторождения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. №1. С. 10–14.
5. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Шахова Л.Д. Техногенные продукты в производстве сухих строительных смесей. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. 196 с.
6. Уральский В.И., Уральский А.В., Сажнева Е.А., Фарафонов А.А. Перспективные направления применения высокодисперсных порошков // [Электронный ресурс] VII Международный молодежный форум «Образование, наука, производство». Белгород, 2015.
7. Уральский В.И., Фарафонов А.А., Сажнева Е.А., Тюрин В.С. Технология получения высокодисперсных компонентов // Энерго- и ресурсо-сберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды: сб. докл. Междунар. научно-технич. конф. Белгород: Изд-во БГТУ 2015. Ч. 3. 405–409 С.
8. Пат. 2277973 Российская Федерация В 02С 17/18. Помольно-смесительный агрегат / Гридчин А.М., Севостьянов В.С., Лесовик В.С., Уральский В.И., Сеница Е.В.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2005118705/03, заявл. 24.06.05 опубл. 20.06.06, Бюл. №17.
9. Пат. 2381837 Российская Федерация, В 02С 17/08. Помольно-смесительный агрегат / Гридчин А.М., Севостьянов В.С., Лесовик В.С., Уральский В.И., Уральский А.В., Сеница Е.В.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова., ООО «ТК РЕЦИКЛ». № 2008109444/03, заявл. 11.03.08; опубл. 20.02.2010, Бюл. №5.
10. Пат. 2630451 Российская Федерация, В 02С 17/06. Центробежный агрегат комбинированного способа измельчения / Фарафонов А.А., Севостьянов В.С., Уральский В.И., Сеница Е.В., Уральский А.В., Сажнева Е.А.; заявитель и патентообладатель Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. №2016149707, заявл. 16.12.16; опубл. 08.09.2017, Бюл. № 25.

Информация об авторах

Уральский Алексей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологических комплексов, машин и механизмов. E-mail: Alexx_1984.10@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Уральский Владимир Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологических комплексов, машин и механизмов. E-mail: wiural@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Севостьянов Владимир Семенович, доктор технических наук, профессор кафедры технологических комплексов, машин и механизмов. E-mail: sevostyanov_00@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Загороднюк Лилия Хасановна, доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Юрченко Василий Викторович, PhD, заведующий кафедрой «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация». E-mail: juvv@mail.ru. Карагандинский государственный технический университет. Республика Казахстан, 100027, Бульвар Мира 56.

Сеница Елена Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологических комплексов, машин и механизмов. E-mail: evsinica@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в октябре 2018 г.

© Уральский А.В., Уральский В.И., Севостьянов В.С., Загороднюк Л.Х., Юрченко В.В., Синица Е.В., 2018

¹Uralsky A.V., ¹Uralsky V.I., ¹Sevostyanov V.S., ¹Zagorodnyuk L.H., ²Yurchenko V.V.,
^{1,*}Sinitsa E.V.

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

²Karaganda State Technical University
Kazakhstan, 100027, Karaganda, Bulvar Mira, 56

*E-mail: sinica.ev@bstu.ru

EFFICIENCY EVALUATION OF CENTRIFUGAL GRINDER UNIT UNDER WET GRINDING

Abstract. At present, due to the rapidly developing pace of construction, a lack of natural raw materials for the production of building materials is acute. Accordingly, the actual task of the construction industry is the preservation of natural raw materials, energy saving and environmental protection, processing production waste purposed to make high-quality products and creating waste-free production.

Analysis of Russian raw material resources shows the most large-tonnage raw material is the waste of wet magnetic separation formed during the enrichment of ores. A completed set of studies on the use of wet magnetic separation waste demonstrate the most effective use is to mechanically activate a mixture of waste and cement; preparation of a new class of binders - finely ground multicomponent cements and low water demand blinders. Taking into account the existing requirements, experimental centrifugal grinding unit with predetermined trajectories of the grinding chambers are chosen to conduct complex experimental studies. The developed centrifugal grinding unit is designed for grinding materials with different physicommechanical characteristics by the combined grinding method (dry and wet), both in periodic and in continuous modes. Analysis of experimental studies outcomes indicates the efficiency of using centrifugal grinding unit in the wet grinding and allows justifying the significant superiority of wet grinding for the production of finely ground raw materials.

Keywords: mining waste, recycling, construction materials, mechanical activation, centrifugal grinding unit, dry method, wet method, specific surface area.

REFERENCES

1. Rakhimov R.Z., Magdeev U.Kh., Yarmakovskiy V.N. Ecology, scientific achievements and innovations in the production of building materials on the basis of and with the use of technogenic raw materials. Construction materials, 2009, no 12. pp. 8–11.
2. Chaynikov V.V., Kryuchkov L.A. The practice of using technogenic resources of ferrous and non-ferrous metallurgy in Russia and abroad. M, 1994, 30 p.
3. Avvakumov E.G. Mechanical methods of activation of chemical processes. Novosibirsk: Science, 1986, 304 p.
4. Lesovik V.S., Sheychenko M.S., Alfimova N.I. Composite binders using high-magnesia wastes from the Kovdorsky deposit. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2011, no 1, pp. 1–14.
5. Lesovik V.S., Zagorodniuk L.Kh., Shakhova LDD. Man-made products in the production of dry building mixes. Belgorod: BSTU, 2011, 196 p.
6. Uralsky V.I., Uralsky A.V., Sazhneva E.A., Farafonov A.A. Perspective directions for the use of highly dispersed powders. VII International Youth Forum "Education, Science, Production". Belgorod, 2015.
7. Uralskiy V.I., Farafonov A.A., Sazhneva E.A., Tyurin V.S. Technology for producing highly dispersed components. Energy and resource saving environmentally friendly chemical-technological processes of environmental protection: Sat. report International scientific and technical conf. Belgorod:BSTU, 2015, Part 3, pp. 405–409.
8. Gridchin A.M., Sevostyanov V.S., Lesovik V.S., Uralskiy V.I., Sinitsa E.V. Grinding-mixing unit. Patent RF, no. 2005118705/03, 2006.
9. Gridchin A.M., Sevostyanov V.S., Lesovik V.S., Uralskiy V.I., Sinitsa E.V. Grinding-mixing unit. Patent RF, no. 2008109444/03, 2010.
10. Farafonov A.A., Sevostyanov V.S., Uralskiy V.I., Sinitsa E.V., Uralskiy A.V., Sazhneva E.A. Centrifugal unit combined grinding method. Patent RF, no. 2016149707, 2017.

Information about the author

Uralskiy, Alexey V. PhD, Assistant professor. E-mail: Alexx_1984.10@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Uralskiy, Vladimir I. PhD, Assistant professor. E-mail: wiural@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Sevostyanov, Vladimir S. DSc, Professor. E-mail: sevostyanov_00@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Zagorodnyuk, Liliya K. PhD, Professor. Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Yurchenko, Vasily V. Ph.D. E-mail: juvv@mail.ru. Karaganda State Technical University. 56 Bulvar Mira, Karaganda, 100027, Kazakhstan.

Sinitsa, Elena V. PhD, Assistant professor. E-mail: sinica.ev@bstu.ru; evsinica@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in October 2018

Для цитирования:

Уральский А.В., Уральский В.И., Севостьянов В.С., Загороднюк Л.Х., Юрченко В.В., Сеница Е.В. Оценка эффективности центробежного помольного агрегата при мокром способе измельчения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №12. С. 114–123. DOI: 10.12737/article_5c1c9968dd21b8.61565433

For citation:

Uralsky A.V., Uralsky V.I., Sevostyanov V.S., Zagorodnyuk L.H., Yurchenko V.V., Sinitsa E.V. Efficiency evaluation of centrifugal grinder unit under wet grinding. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 12, pp. 114–123. DOI: 10.12737/article_5c1c9968dd21b8.61565433

DOI: 10.12737/article_5c1c9969a10128.83957539

^{1,*}Варнавский А.Н., ²Гадельшин А.Р., ²Салин Д.С.¹Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

Россия, 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20

²Рязанский государственный радиотехнический университет

Россия, 390005, Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1

*E-mail: avarnavsky@hse.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЕЧАТИ НА КАЧЕСТВО И СООТНОШЕНИЕ ЦЕНА/КАЧЕСТВО РЕЗУЛЬТАТА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ НА БЮДЖЕТНОМ 3D-ПРИНТЕРЕ

Аннотация. Работа посвящена разработке и созданию недорогого 3D-принтера и моделей, описывающих качество и соотношение цена/качество результата изготовления изделий на таком принтере. Актуальность данной работы обусловлена тем, что подобные исследования позволят создавать бюджетную аппаратуру, которая будет осуществлять 3D-печать в соответствии с критерием минимизации соотношения цена/качество. На основе регрессионного анализа результатов эксперимента по изготовлению на полученном 3D-принтере кубиков с разными параметрами печати построены линейная и логистическая регрессии. Линейная регрессия позволяет оценить уровень качества результата изготовления в зависимости от параметров печати, а логистическая регрессия - классифицировать и предсказать вероятность изготовления объектов с низким и высоким уровнями качества. Логистическая модель позволяет верно классифицировать качество напечатанных кубиков в зависимости от параметров их печати в 81 % случаев. Проанализировано влияние каждого из параметров печати на качество и результат классификации и получено, что важность параметра «скорость подачи филамента» в 1,5 раза превышает важность параметра «высота слоя печати». Построена модель зависимости времени печати от показателей скорости подачи филамента и высоты слоя печати, которая показала, что важность показателя «высота слоя печати» в 2,6 раз превышает важность показателя «скорость подачи филамента». Построена модель, описывающая соотношение цена/качество для результата изготовления. Используя данную модель, можно найти оптимальные значения скорости подачи филамента и высоты слоя печати, при которых будет минимальным соотношение цена/качество результата изготовления.

Ключевые слова: 3D-принтер, качество печати, параметры печати, бракованные слои, линейная модель, логистическая регрессия, соотношение цена/качество.

Введение. На сегодняшний день аддитивные технологии занимают все более важное значение в различных отраслях народного хозяйства, в частности, в медицине (например, [1]), авиакосмической отрасли (например, [2]), строительстве (например, [3]), машиностроении (например, [4]), пищевой промышленности [5] и т.д. Данные технологии появились на рынке относительно недавно, но в динамике развития опережают остальные отрасли производства. Так если в 2015 г. их объем оценивался порядка 11 млрд. долларов США, то по прогнозам в 2019 г. превысит 26 млрд. Одним из направлений применения аддитивных технологий является создание макетов и прототипов различных объектов и изделий, осуществляемое с использованием 3D-принтеров [например, 6].

В российской и зарубежной литературе поднимаются различные вопросы, касающиеся оптимизации процесса 3D-печати и повышения качества ее результатов, а также настройки, калибровки и изготовления 3D-принтеров.

Так в работе [7] представлена классификация дефектов 3D-печати по источнику возникновения и показана возможность автоматизации поиска решений по их устранению. Во многом аналогичный подход рассмотрен и в работе [8], в которой предложено параметры нестационарного процесса формирования изделия и типовые дефекты 3D-печати сохранять в базе знаний. Соответственно, такую информацию совместно с результатами моделирования предлагается использовать для формирования рекомендаций по улучшению качества изделий [8]. Задача обеспечения и контроля качества, оценки риска возникновения дефектов, изменения прочности материала изделия, состоящего из волокон ячеистой структуры и изготавливаемого методом 3D-печати на примере полилактида, рассматривается в работе [9].

Вопросы оптимизации 3D-печати шоколада на основе учета корреляций между тепловыми и потоковыми свойствами и структурными особенностями 3D-модели исследуются в работе [10]. В работе [11] описано использование разработанной технологии μ CLIP для точной 3D-печати

биомедицинских изделий, обеспечивающей компромисс между скоростью и качеством печати. Основные аспекты топологической оптимизации 3D-печати выделены и проанализированы с использованием различного программного обеспечения в работе [12].

В работе [13] осуществлена разработка новых конструкций 3D-принтера для пищевой промышленности на основе геля из лимонного сока, а также исследовано влияние параметров печати на качество изготовленных продуктов. Отдельно можно выделить работы, посвященные разработке и использованию недорогих, бюджетных 3D-принтеров. Так, например, работа [14] посвящена созданию 3D-принтера, разработанного на основе технологии SLA и являющегося низкобюджетным. В [15] исследуются вопросы, связанные с оптимальными методами настройки и параметрической калибровкой недорогих 3D-принтеров, а также влиянием программного обеспечения по нарезке на слои 3D-модели на качество результата печати.

В то же время ряд вопросов, связанных с 3D-печатью, остаются открытыми. В частности, актуальной задачей является построение моделей, описывающих влияние различных факторов на соотношение цена/качество результата печати, в том числе недорогих 3D-принтеров. Подобные исследования позволят создавать аппаратуру, которая будет осуществлять 3D-печать в соответствии с критерием минимизации/максимизации соотношения цена/качество. Особенно это актуально в свете того, что в настоящее время развивается направление создания многофункциональных 3D-принтеров, которые могут воспроизводить себе подобную конструкцию на 80 %, в том числе с установкой вместо экструдера шпинделя или лазера. Поэтому необходимы модели, прогнозирующие уровень качества такой новой конструкции.

Целью работы является разработка и создание недорогого 3D-принтера, а также моделей, описывающих качество и соотношение цена/качество результата изготовления изделий на таком принтере.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи.

1. Разработка конструкции, модели 3D-принтера и блока его управления.
2. Создание 3D-принтера.
3. Проведение серии экспериментов по оценке качества 3D-печати.
4. Регрессионный анализ полученных экспериментальных данных. Разработка моделей, описывающих качество и соотношение цена/качество результата изготовления изделий на 3D-принтере.

Разработка конструкции, модели 3D-принтера и блока его управления. Разработку 3D-принтера начнем с создания моделей самого принтера и его составных частей. Используем инженерный анализ для оптимизации конструкций. Процессы разработки моделей принтера, его составных частей и их инженерный анализ выполним в САД и САЕ системах КОМПАС-3D.

Основными составляющими разрабатываемого 3D-принтера являются рама, подогреваемый стол, блок питания, устройство управления, 4 шаговых двигателя, экструдер. Полученная 3D модель принтера представлена на рис. 1.

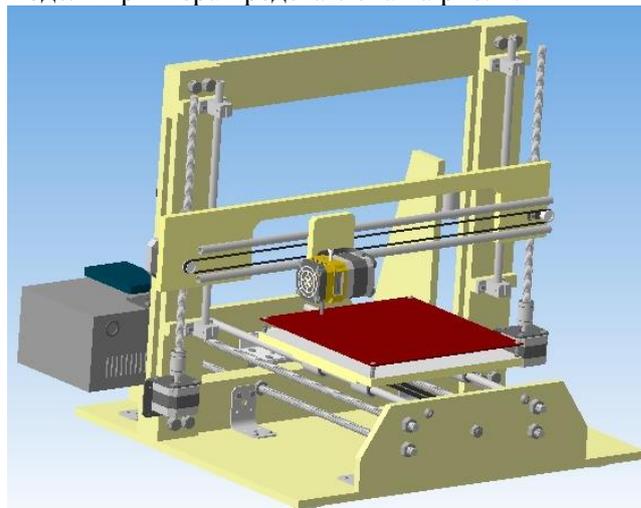


Рис. 1. 3D модель разрабатываемого 3D-принтера

Для оценки прочности разработанной конструкции при эксплуатации в САЕ системе с использованием библиотеки APM FEM выполним прочностной анализ. В процессе этого анализа будем задавать закрепления исследуемых объектов, приложенные нагрузки и конечно-элементную сетку.

Покажем результат прочностного анализа детали «Направляющая». Поскольку стол принтера массой $m = 2$ кг передвигается по двум направляющим, нагрузка на которые распределяется равномерно, в соответствии со вторым законом Ньютона линейная нагрузка Fl на одну деталь «Направляющая» равна

$$Fl = mg/2 = 9,8 \text{ Н.}$$

Выберем материал для изготовления направляющих – алюминий, который обладает следующими свойствами, влияющими на прочность конструкции и распределение нагрузок: предел текучести – 195 МПа, плотность – 2712 кг/м³, теплопроводность – 202 Вт/(м·°С), предел текучести – 110 МПа, относительное удлинение – 12 %.

Установим закрепления с торцов детали и приложим линейную нагрузку $Fl = 9,8$ Н. Резуль-

таты анализа показали, что эквивалентное напряжение по Мизесу равняется 4.3 МПа, минимальный предел текучести превышает значение, при котором деформация продолжала бы расти без увеличения напряжения, в 54,5 раз, минимальный коэффициент запаса по прочности выше в 95,2 раз. По этим данным сделан вывод, что в конструкции 3D-принтера можно использовать

направляющие с меньшим диаметром или меньшей толщиной стенки. По расчету суммарного линейного перемещения, максимальное значение которого равно 0,03 мм, можно сделать вывод, что возможно использование более текучего металла. На рис. 2 в качестве примера приведена диаграмма коэффициента запаса по прочности.

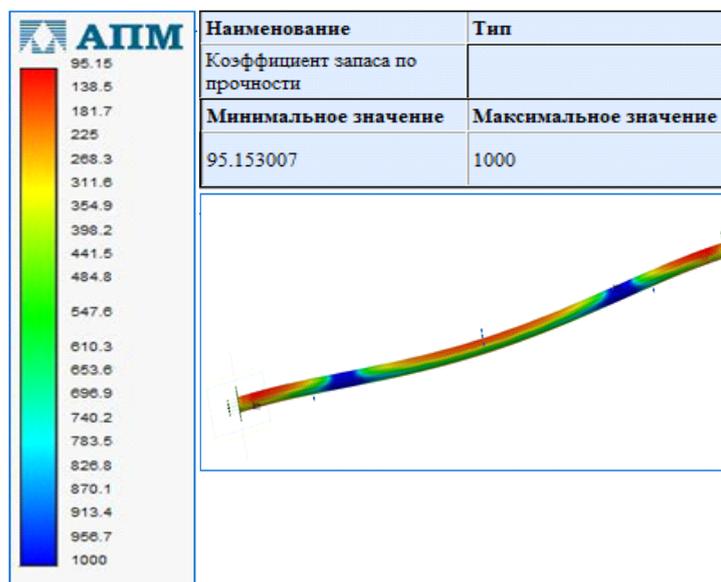


Рис. 2. Диаграмма коэффициента запаса по прочности

Устройство управления принтера реализуем на основе контроллера Arduino Mega 2560, который будет осуществлять управление работой 3D-принтера посредством команд в G-коде, и платы расширения Ramps 1.4, через которую силовая часть принтера будет подключаться к контроллеру.

Изготовление 3D принтера и блока его управления. Учитывая результаты моделирования и инженерного анализа конструкции, изготовим составные части 3D-принтера. Раму выполним из фанеры толщиной 10 мм, направляющие – из алюминия, крепежные уголки – из стали 2 мм. Используем резьбовые шпильки с метрической резьбой M10 и линейные подшипники диаметром 10 мм под алюминиевые направляющие.

На Ramps 1.4 установим драйверы шаговых двигателей A4988 с допустимым током до 2 А и подключим шаговые двигатели Nema17, нагревательный стол, экструдер, термисторы и концевые выключатели. Используем блок питания напряжением 12 В и мощностью 240 Вт. Преобразование вращательного движения двигателя в поступательное осуществляется ременной передачей с использованием ремня GT2 шириной 6 мм.

Собранный из изготовленных составных частей 3D-принтер представлен на рис. 3.

Работа с изготовленным принтером осуществляется через программу Repetier-Host. Загруженная в Repetier-Host 3D модель изделия для изготовления в слайсере Slic3r нарезается на слои, и формируется управляющая программа в G-кодах, которая отправляется на Arduino Mega 2560.

Эксперименты по оценке качества 3D-печати. Для того чтобы построить аналитическую модель зависимости оценки уровня качества результата изготовления от параметров печати выделим следующие факторы: высота слоя печати (h), температура экструдера (T), скорость подачи филамента (пластиковой нити) (U), время печати (t), а откликом сделаем количество бракованных слоев (w) и процент бракованных слоев (y) изготовленного изделия.

В качестве изготавливаемого изделия в данном эксперименте будем использовать кубик размером $20 \times 20 \times 20$ мм³. Пример результата работы слайсера Slic3r применительно к 3D модели такого кубика представлен на рис. 4.

Суть эксперимента заключается в изготовлении кубиков при разных значениях h , T , U , t : $h = \{0.1; 0.25\}$ мм, $T = \{210; 215; 220; 225; 230; 235; 240; 245; 250\}$ °С, $U = \{30; 40; 60\}$ мм/с, $t = \{490; 597; 755; 986; 1075; 1164\}$ с. Эксперименты проведем при температуре в помещении 22 °С. Температура нагревательного стола во

всех экспериментах равна 105 °С. Всего было изготовлено 32 кубика (рис. 5). У каждого кубика

подсчитывалось количество бракованных слоев и процент таких слоев от общего числа.

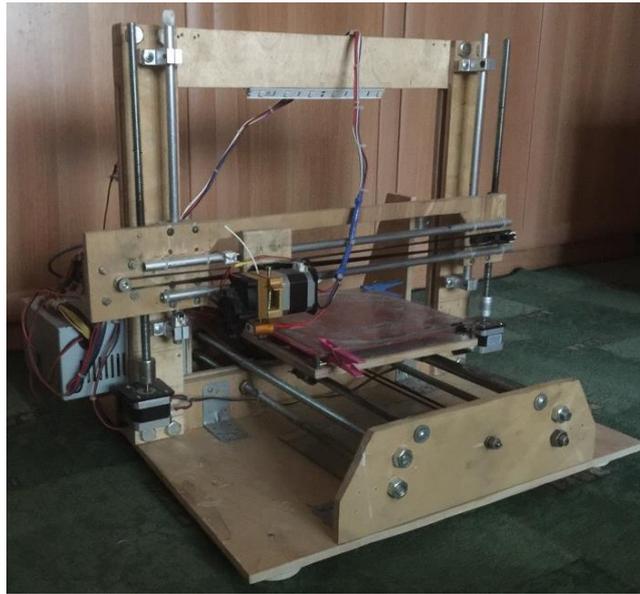


Рис. 3. Изготовленный 3D-принтер

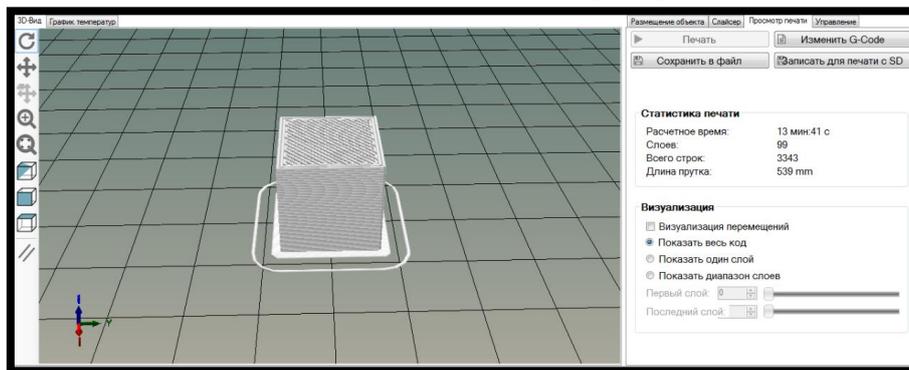


Рис. 4. Результат работы слайсера Slic3r



Рис. 5. Изготовленные в результате экспериментов

Разработка моделей. Анализ данных, полученных в результате эксперимента, выполним в пакете R.

Оценим коэффициенты корреляции между выделенными показателями h , T , U , t , w , y (рис. 6). Видим, что все выделенные показатели влияют на процент бракованных слоев. Уровни связи между соответственно высотой слоя печати, скоростью подачи филамента и процентом бракованных слоев положительные. Уровни связи между соответственно температурой экструдера,

временем печати и процентом бракованных слоев отрицательные. Можно отметить, что уровень связи между соответственно высотой слоя печати, временем печати и числом бракованных слоев слабые.

Построим регрессионные модели, описывающие влияние выделенных показателей на количество бракованных слоев в кубике и процент от общего их числа. При этом будем выполнять проверку мультиколлениарности и других предположений линейной модели.

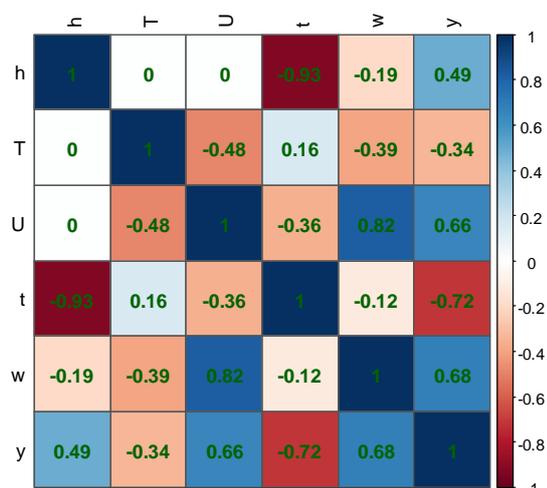


Рис. 6. Корреляционная матрица параметров печати и результата изготовления

Поскольку ставится задача построения моделей для оценки качества печати, то целесообразным будет преобразование зависимой переменной y , в частности извлечение квадратного корня. Такое преобразование продиктовано тем, что значения переменной y меньше 0,25 и извлекая квадратный корень мы усиливаем эти значения, приближая к 1, причем чем меньше значение, тем в большей степени оно усиливается. Таким образом, при построении регрессионной модели вместо y будем использовать y_2 : $y_2 = y^{0.5}$. Получим

$$w = -a_0 - a_1 \cdot h + a_2 \cdot U, a_1 > 0, a_2 > 0, a_0 > 0, p(a_1) < 0.1, p(a_2) < 0.001$$

$$с R^2 = 0.7133 (F(2, 29) = 36.07, p < 0.001),$$

а также

$$y_2 = -b_0 + b_1 \cdot h + b_2 \cdot U, b_1 > 0, b_2 > 0, b_0 > 0, p(b_1) < 0.001, p(b_2) < 0.001, p(b_0) < 0.1$$

$$с R^2 = 0.7326 (F(2, 29) = 39.72, p < 0.001).$$

Поскольку y_2 может принимать значения от 0, в случае отсутствия дефектных слоев, до 1, в случае если все слои дефектные, то показатель качества Q можно будет определить, как

$$Q = 1 - y_2 = 1 + b_0 - b_1 \cdot h - b_2 \cdot U, b_1 > 0, b_2 > 0, b_0 > 0. \tag{1}$$

Соответственно, данный показатель будет принимать значения в диапазоне от 0, в случае если все слои дефектные и изделие полностью некачественное, до 1, в случае полного отсутствия дефектных слоев, т.е. высокого качества изделия.

Оценим важность независимых переменных в моделях. Для этого перед построением регрессионной модели выполним преобразования всех переменных так, чтобы их средние значения равнялись 0, а стандартное отклонение – 1. В этом случае полученные в результате регрессионного анализа коэффициенты являются стандартизо-

ванными. В результате таких преобразований получили, что важность переменной U в 1,5 раза превышает важность переменной h .

Используя данные модели, можем оценить вклад каждой переменной в качество печати и наличие дефектов.

Осуществим построение логистической регрессии, которая позволит осуществить прогнозирование и классификацию уровню качества результата изготовления. Для этого введем уровень качества для процента бракованных слоев. При превышении процентом бракованных слоев данного значения изделие будет считаться низкокачественным, в противном случае – качественным. Соответственно переменная y_l , описывающая уровень качества, будет иметь 2 уровня: 0 – если изделие низкокачественное и 1 – если изделие качественное.

Получена следующая логистическая регрессия:

$$y_l(h, U) = 1/(1+e^{-(c_0 - c_1 \cdot h + c_2 \cdot U)}), c_1 > 0, c_2 > 0, c_0 > 0, p(c_1) < 0.01, p(c_0) < 0.1$$

$$с AIC = 32.436.$$

Данная модель позволяет верно классифицировать качество напечатанных кубиков в зависимости от параметров их печати в 81 % случаев при использовании порогового уровня 0,52.

При рассмотрении соотношения цена/качество результата печати необходимо выделить затраты, связанные с печатью объектов. Эти затраты будут определяться расходом материала, машинным временем работы 3D-принтера, а также эксплуатационными издержками. Если считать, что расход на эксплуатацию принтера не зависит от параметров печати, то эксплуатационными затратами можно будет пренебречь. Будем рассматривать случай, когда затраты на машинное время значительно превышают затраты на расход материала, поскольку в противном случае цена будет определяться только расходом материала и не будет зависеть от параметров печати. Тогда цену (затраты) q будем определять, как

$$q = k \cdot t, \tag{2}$$

где k – коэффициент пропорциональности, связывающий значение времени печати t и величину затрат q .

Построим регрессионную модель, влияния параметров h и U на время печати кубика. Получим, что

$$t = d_0 - d_1 \cdot h - d_2 \cdot U, d_1 > 0, d_2 > 0, d_0 > 0,$$

$$p(d_1) < 0.001, p(d_2) < 0.001, p(d_0) < 0.001 \tag{3}$$

$$с R^2 = 0.9864 (F(2, 29) = 1050, p < 0.001).$$

В данной модели важность переменной h в 2,6 раз превышает важность переменной U .

Для определения соотношения цена/качество W используем выражения (1)-(3). Получим:

$$W = \frac{q}{Q} = \frac{k(d_0 - d_1 \cdot h - d_2 \cdot U)}{1 + b_0 - b_1 \cdot h - b_2 \cdot U} = \frac{g_0 - g_1 \cdot h - g_2 \cdot U}{1 + b_0 - b_1 \cdot h - b_2 \cdot U}, \quad (4)$$

где $g_i = k \cdot d_i$, $i = 0..2$, $g_i > 0$.

Если требуется минимизировать отношение цена/качество результата изготовления, т.е. $W \rightarrow \min$, то необходимо найти такие h и U , при которых выражение (4) принимает минимальное значение.

Заключение. Учитывая актуальность задачи использования 3D-принтеров для изготовления некоторых объектов с заданным уровнем соотношения цена/качество, в работе осуществлена разработка и сборка недорогого 3D-принтера. Для этого проведено создание геометрических моделей составных частей и самого принтера и выполнены инженерные расчеты и оптимизация полученных конструкций. Разработана система управления принтером.

Проведен эксперимент по изготовлению на таком принтере кубиков с разными параметрами печати. Путем подсчета нормальных и бракованных слоев сделан вывод о качестве изготовления каждого кубика при его печати с теми или иными параметрами.

На основе регрессионного анализа построены линейная и логистическая регрессии. Линейная регрессия позволяет оценить уровень качества результата в зависимости от параметров печати, а логистическая регрессия – классифицировать и предсказать вероятность изготовления объектов с заданным уровнем качества. Проанализировано влияние каждого из параметров печати на качество и результат классификации, в результате чего получено, что важность показателя скорости подачи филамента в 1,5 раза превышает важность переменной высота слоя печати. В построенной модели зависимости времени печати от показателей скорости подачи филамента и высоты слоя печати важность последнего показателя в 2,6 раз превышает важность первого. Построена модель, описывающая соотношение цена/качество для результата изготовления. Используя данную модель, можно найти оптимальные значения скорости подачи филамента и высоты слоя печати, при которых будет минимальным соотношение цена/качество результата изготовления.

Дальнейшая работа в данном направлении подразумевает включение в модель большего числа факторов, а также использование методов машинного обучения или других видов регрессий для повышения точности прогнозирования результата 3D-печати в зависимости от параметров печати.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карякин Н.Н., Горбатов Р.О., Новиков А.Е., Нифтуллаев Р.М.О. Хирургическое лечение пациентов с опухолями длинных трубчатых костей верхних конечностей с использованием индивидуальных имплантатов из костнозамещающего материала, созданных по технологиям 3D-печати // *Гений ортопедии*. 2017. № 3. С. 323–330.
2. Леоненков А.Д., Двирный В.В. Перспективы применения аддитивных технологий в аэрокосмической отрасли // *Решетневские чтения*. 2017. № 21-2. С. 632–633.
3. Лунева Д.А., Кожевникова Е.О., Калюшина С.В. Применение 3D-печати в строительстве и перспективы ее развития // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура*. 2017. №1. Т. 8. С. 90–101.
4. Чемодуров А.Н. Применение аддитивных технологий в производстве изделий машиностроения // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2016. № 8-2. С. 210–217.
5. Гришин А.С., Бредихина О.В., Помоз А.С., Пономарев В.Г., Красуля О.Н. Новые технологии в индустрии питания - 3D-печать // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*. 2017. №2. Т. 4. С. 36–44.
6. Маликов А.А., Феофилов Н.Д., Сидоркин А.В., Янов Е.С. Использование 3D-принтеров для прототипирования деталей изоляторов токоъемных узлов // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2015. № 8-1. С. 17–23.
7. Ивашкова К.П., Филиппов А.Н., Копасов Е.А. Анализ и систематизация дефектов 3D-печати // *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*. 2017. № 5. Т. 60. С. 426–430.
8. Колесников А.А. Ситуационное управление обеспечением качества изготовления изделий по аддитивной технологии // *Образовательные ресурсы и технологии*. 2017. № 4 (21). С. 84–92.
9. Петров В.М., Безпальчук С.Н., Яковлев С.П. О влиянии структуры на прочность изделий из пластиков, получаемых методом 3D-печати // *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова*. 2017. №4 (44). С. 765–776.
10. Mantihal S., Prakash S., Godoi F.C., Bhandari B. Optimization of chocolate 3D printing by correlating thermal and flow properties with 3D structure modeling // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2017. Vol. 44. Pp. 21–29.
11. Webb B., Doyle B.J. Parameter optimization for 3D bioprinting of hydrogels // *Bioprinting*. 2017. Vol. 8. Pp. 8–12.

12. García-Domínguez A., Claver J., Sebastián M.A. Study for the selection of design software for 3D printing topological optimization // *Procedia Manufacturing*. 2017. Vol. 13. Pp. 903–909.

13. Yang F., Zhang M., Bhandari B., Liu Y. Investigation on lemon juice gel as food material for 3D printing and optimization of printing parameters // *LWT - Food Science and Technology*. 2018. Vol. 87. Pp. 67–76.

14. Бузиков М.М., Егоренко М.П., Карманов И.Н. Разработка 3D-принтера на основе SLA технологии // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2016. № 1. Т. 5. С. 152–156.

15. Santana L., Alves J.L., Netto A.C.S. A study of parametric calibration for low cost 3D printing: Seeking improvement in dimensional quality // *Materials & Design*. 2017. Vol. 135. Pp. 159–172.

Информация об авторах

Варнавский Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент Департамента компьютерной инженерии МИЭМ. E-mail: avarnavsky@hse.ru. Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Россия, 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20.

Гадельшин Артур Равильевич, магистрант. E-mail: arturgadelshin@gmail.com. Рязанский государственный радиотехнический университет. Россия, 390005, Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.

Салин Дмитрий Сергеевич, магистрант. E-mail: salin.dmitry1995@mail.ru. Рязанский государственный радиотехнический университет. Россия, 390005, Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.

Поступила в августе 2018 г.

© Варнавский А.Н., Гадельшин А.Р., Салин Д.С., 2018

^{1,*}Varnavsky A.N., ²Gadelshin A.R., ²Salin D.S.

¹National Research University Higher School of Economics

Russia, 101000, Moscow, Myasnitskaya st., 20

²Ryazan State Radio Engineering University

Russia, 390005, Ryazan, Gagarin st., 59/1

*E-mail: avarnavsky@hse.ru

THE RESEARCH OF PRINTING PARAMETERS IMPACT ON QUALITY AND PRICE/QUALITY RATIO OF THE PRODUCT'S PRINTING RESULT ON A BUDGET 3D-PRINTER

Abstract. The work is devoted to creation and development of inexpensive 3D printer and models describing the quality and price/quality ratio of the result of manufacturing products. The research is actual; studies will allow to create budget equipment to carry out 3D printing in accordance with the criterion of minimizing the price / quality ratio. The linear and logistic regressions are based on a regression analysis of making cubes with different print parameters on the resulting 3D printer. Linear regression allows estimating the quality level of the manufacturing result depending on printing parameters. Logistic regression allows classifying and predicting the probability of printing objects with low and high quality levels. The logistic model allows to classify correctly the quality of the printed cubes depending on the parameters of printing in 81% of cases. The influence of each print parameters on the quality and result of the classification is analyzed. It is obtained that the importance of “the filament feeding rate” parameter is 1.5 times higher than the importance of “the print layer height” parameter. A model of the dependence of printing time on “the filament feeding speed” and “the print layer height” is constructed. According to this model, the importance of “the print layer height” parameter is 2.6 times higher than the importance of the “filament feeding speed” parameter. A model describing the price/quality ratio for the print result is constructed. The use of the model can provide the optimal values of the filament feeding speed and the print layer height, at which the price/quality ratio of the printing result will be minimal.

Keywords: 3D printer, print quality, print parameters, defective layers, linear model, logistic regression, price/quality ratio.

REFERENCES

1. Karyakin N.N., Gorbatov R.O., Novikov A.E., Niftullaev R.M.O. Surgical treatment of patients with tumors of long tubular bones of the upper extremities with the use of individual implants from

osteoreplacing material, created using 3D printing technologies. *Genius of orthopedics*, 2017, no. 3, pp. 323–330.

2. Leonenkov A.D., Dvirny V.V. Prospects of application of additive technologies in the aerospace

industry. Reshetnevsky readings, 2017, no. 21-2, pp. 632–633.

3. Luneva D.A., Kozhevnikova E.O., Kaloshina S.V. Application of 3D printing in construction and prospects for its development. Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Construction and architecture, 2017, no. 1, vol. 8, pp. 90–101.

4. Chemodurov A.N. Application of additive technologies in the manufacture of engineering products. Izvestiya Tula State University. Technical science, 2016, no. 8–2, pp. 210–217.

5. Grishin A.S., Bredikhina O.V., Pomozev A.S., Ponomarev V.G., Krasulya O.N. New technologies in the food industry - 3D printing. Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and biotechnology, 2017, no. 2, vol. 4, pp. 36–44.

6. Malikov A.A., Feofilov N.D., Sidorkin A.V., Yanov E.S. Use of 3D printers for prototyping of parts of current collector insulators. Izvestiya Tula State University. Technical science, 2015, no. 8-1, pp. 17–23.

7. Ivashkova K.P., Filippov A.N., Kopasov E.A. Analysis and systematization of defects in 3D printing. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Instrument making, 2017, no. 5, vol. 60, pp. 426–430.

8. Kolesnikov A.A. Situational management of ensuring the quality of manufacturing products by additive technology. Educational resources and technologies, 2017, no. 4 (21), pp. 84–92.

9. Petrov V.M., Bezpalcuk S.N., Yakovlev S.P. On the influence of the structure on the strength of products made of plastics, obtained by the method of 3D printing. Bulletin of the State University of the Marine and River Fleet named after Admiral S.O. Makarova, 2017, no. 4 (44), pp. 765–776.

10. Mantihal S., Prakash S., Godoi F.C., Bhandari B. Optimization of chocolate 3D printing by correlating thermal and flow properties with 3D structure modeling. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2017, vol. 44, pp. 21–29.

11. Webb B., Doyle B.J. Parameter optimization for 3D bioprinting of hydrogels. Bioprinting, 2017, vol. 8, pp. 8–12.

12. García-Domínguez A., Claver J., Sebastián M.A. Study for the selection of design software for 3D printing topological optimization. Procedia Manufacturing, 2017, vol. 13, pp. 903–909.

13. Yang F., Zhang M., Bhandari B., Liu Y. Investigation on lemon juice gel as food material for 3D printing and optimization of printing parameters. LWT - Food Science and Technology, 2018, vol. 87, pp. 67–76.

14. Buzikov M.M., Egorenko M.P., Karmanov I.N. Development of 3D-printer based on SLA technology. Interexpo Geo-Siberia, 2016, no. 1, vol. 5, pp. 152–156.

15. Santana L., Alves J.L., Netto A.C.S. A study of parametric calibration for low cost 3D printing: Seeking improvement in dimensional quality. Materials & Design, 2017, vol. 135, pp. 159–172.

Information about the author

Varnavsky, Alexander N. PhD, Assistant professor. E-mail: avarnavsky@hse.ru. National Research University Higher School of Economics, Russia, 101000, Moscow, Myasnitskaya st., 20.

Gadelshin, Arthur R. Master student. E-mail: arturgadelshin@gmail.com. Ryazan State Radio Engineering University. Russia, 390005, Ryazan, Gagarin st., 59/1.

Salin, Dmitry S. Master student. E-mail: salin.dmitry1995@mail.ru. Ryazan State Radio Engineering University. Russia, 390005, Ryazan, Gagarin st., 59/1.

Received in August 2018

Для цитирования:

Варнавский А.Н., Гадельшин А.Р., Салин Д.С. Исследование влияния показателей печати на качество и соотношение цена/качество результата изготовления изделий на бюджетном 3D-принтере // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №12. С. 124–131. DOI: 10.12737/article_5c1c9969a10128.83957539

For citation:

Varnavsky A.N., Gadelshin A.R., Salin D.S. The research of printing parameters impact on quality and price/quality ratio of the product's printing result on a budget 3D-printer. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 12, pp. 124–131. DOI: 10.12737/article_5c1c9969a10128.83957539

DOI: 10.12737/article_5c1c996a958c29.66258853

^{1,*}Марусич К.В., ¹Антонцева И.В.¹Оренбургский государственный университет

Россия, 460018, Оренбургская область, г. Оренбург, пр. Победы 13

*E-mail: mkv82@mail.ru

РАСЧЁТ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ВНЕДРЕНИЯ ТВЁРДОСПЛАВНЫХ ФРЕЗ

Аннотация. В машиностроении любые изменения технологии как существенные, так и менее значительные, оказывают ощутимое влияние на стоимость изготовления деталей. Интенсивность использования основного технологического оборудования, параметры его работы и производительность непрерывно связаны с качеством применяемого для этого инструмента. Своевременная замена инструментального оснащения производства на современное позволяет быстрее окупать вложения на приобретение нового оборудования, повышать производительность имеющегося оборудования и экономическую эффективность выполняемых операций. Недостаточная стойкость инструмента приводит к возникновению дополнительных простоев оборудования, длительность которых определяется продолжительностью замены инструмента. В результате снижается производительность. В данной работе был выполнен расчёт предполагаемой экономической эффективности от замены фрез из быстрорежущей стали твёрдосплавными при изготовлении детали на металлорежущем станке с ЧПУ. Были рассмотрены два варианта процесса обработки детали фрезами двух разных диаметров.

Ключевые слова: жаропрочные стали, твердый сплав, обрабатываемость, режущий инструмент, механическая обработка.

Введение. Современные конструкционные материалы, обладающие высокой прочностью, жаропрочностью, химической стойкостью в агрессивных средах, а зачастую и комплексом этих свойств во всё возрастающих масштабах используются в авиакосмической промышленности [1, 2]. Они обладают низкой теплопроводностью и повышенными прочностными характеристиками, в результате чего в процессе их обработки возникают большие давления на режущую кромку инструмента и высокие температуры в зоне резания. Поэтому обрабатываемость их точением в силу этих факторов значительно хуже по сравнению со сталью 45 принятой в качестве эталона [3].

В качестве жаропрочной и стойкой в агрессивных средах может быть использована хромоникелевая сталь 12X18H10T [4]. При точении данной стали коэффициент обрабатываемости примерно в два раза ниже эталонной. Хромоникелевые стали с добавкой легирующих элементов (45X14H14B2M, 10X11H23T3MP и др.) обладают жаропрочными, жаростойкими и кислостойкими свойствами [5, 6]. У этих материалов в 3-4 раза ниже коэффициент обрабатываемости, чем у стали 45 [7, 8].

Титановые сплавы в процессе резания вызывают особую трудность [9–13]. Ценность физико-механических свойств титана высока, среди которых можно выделить высокую удельную прочность, жаропрочность, малую плотность и хладостойкость. Жаропрочность является одним из важнейших преимуществ перед магниевыми и алюминиевыми сплавами, которая с избытком

компенсирует разницу в плотности (Mg – 1,8; Al – 2,7; Ti – 4,5) в условиях практического применения. Это превосходство особенно резко проявляется над магниевыми и алюминиевыми сплавами при температурах выше 300 °С. Так при повышении температуры прочность титановых сплавов остаётся высокой, в то время как у магниевых и алюминиевых сплавов сильно уменьшается.

Поэтому для повышения качества обработки труднообрабатываемых материалов целесообразно совершенствовать существующие технологические процессы обработки [14] и создавать новые инструментальные материалы [15–18].

Основная часть. В работе был выполнен расчёт предполагаемой экономической эффективности от замены фрез из быстрорежущей стали (P6M5) твёрдосплавными (6WH10F) при изготовлении детали на станке сверлильно-фрезерно-расточном с ЧПУ модели 400V. Были рассмотрены два варианта процесса обработки детали фрезами разного диаметра (Ø12 и Ø5).

В первом варианте был выполнен сравнительный анализ процесса обработки детали типа "Панель" из алюминиевой поковки Амг6М [19]. Обрабатываемая поверхность представляет собой совокупность многочисленных боковых карманов. Глубина этих карманов составляет 130 мм, а площадь – 38 мм×52 мм. Обработка такой поверхности осложнена плохим отводом стружки и СОЖ из зоны резания. Исходные данные, использованные для проведения первого варианта расчёта, представлены в табл. 1.

Исходные данные для сравнительного анализа фрез Ø12

№	Сравниваемый параметр	Фреза №1	Фреза №2
1	Материал режущей части инструмента	Быстрорежущая сталь Р6М5	Твёрдый сплав 6WH10F
2	Количество использованных фрез, шт.	4	1
3	Скорость резания V , м/мин.	26,8	26,8
4	Подача S , мм/мин.	20	35
5	Стойкость T_c , час.	9	16
6	Машинное время T_M , час.	55	43

В качестве обрабатывающих инструментов были использованы специальные фрезы, изображённые на рис. 1 и 2. На рис. 1 представлена фреза

из быстрорежущей стали Р6М5 (Фреза №1), а на рис. 2 – монолитная фреза из твёрдого сплава 6WH10F (Фреза №2).

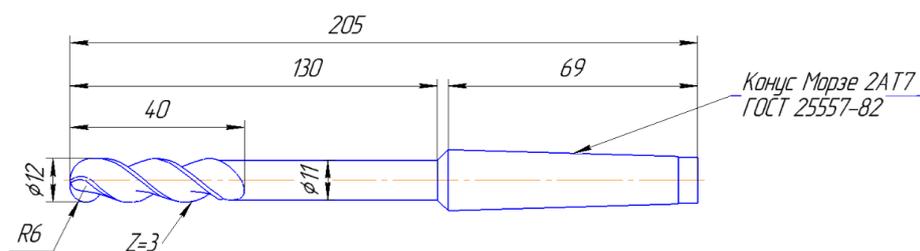


Рис. 1. Фреза из быстрорежущей стали Р6М5

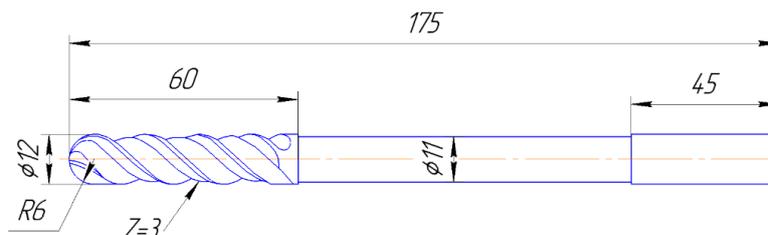


Рис. 2. Монолитная фреза из твёрдого сплава 6WH10F

В процессе обработки в штатном режиме при подаче 20 мм/мин на торце фрезы возникали многочисленные сколы по радиусу. Повышение подачи до 25 мм/мин сопровождалось появлением вибрации. Дальнейшее увеличение подачи до 30 мм/мин приводило к поломке инструмента. Фреза ломалась возле хвостовика.

Обработка второй фрезой, несмотря на использование увеличенной до 50 мм/мин подачи, характеризовалась равномерностью работы без возникновения каких-либо скачков, ударов и вибраций. При этом инструмент изнашивался равномерно по торцу и радиусу. Износ не превышал 0,1 мм. В результате обработки вторым инструментом были получены лучшая размерная точность и качество обработанной поверхности.

Расчет расхода инструмента производился по формуле:

$$N_p = \frac{T_M \cdot K_\delta \cdot K_n \cdot K_\epsilon}{T_c \cdot K_m \cdot K_p} \quad (1)$$

где $K_\delta = 1,05$ – коэффициент случайной убыли инструмента; $K_n = 1,0$ – поправочный коэффициент,

учитывающий увеличение расхода режущего инструмента из-за необходимости параллельной обработки деталей изделия в нескольких механообрабатывающих цехах одного предприятия; $K_\epsilon = 1,25$ – поправочный коэффициент, учитывающий увеличение расхода режущего инструмента для изготовления средств технологического оснащения 2-го порядка (определяется предприятием); $K_m = 3,1$ – численное значение поправочного коэффициента, учитывающего вид обрабатываемого материала; $K_p = 1,2$ – численное значение поправочного коэффициента, учитывающего состояние поверхности обрабатываемого изделия.

Для расчета штучного времени использовалось выражение:

$$T_{ш} = T_M \cdot k_1 \cdot k_2 \quad (2)$$

где $k_1 = 1,3$ – поправочный коэффициент на машинное время; $k_2 = 1,15$ – поправочный коэффициент на стоимость н-час.

Расчет затрат на инструмент при изготовлении одной детали производился по формуле:

$$C_u = N_p \cdot C_\phi \cdot f \quad (3)$$

где C_ϕ – стоимость фрезы, руб.; $f = 1$ – количество деталей на одно изделие, шт.

Расчет затрат по заработной плате на операцию производился по формуле:

$$C_{з.п.} = T_{ш} \cdot f \cdot C_{д} \cdot k_1 \cdot k_2 \quad (4)$$

где $C_{д}$ – стоимость н-час на одну операцию, руб.

Расчёт общих затрат производился по формуле:

$$C_{об} = C_u + C_{з.п.} \quad (5)$$

Результаты сравнительного анализа статей затрат и образования экономического эффекта первого варианта процесса обработки сведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты сравнительного анализа фрез Ø12

№	Показатель	Фреза №1	Фреза №2
1	Стоимость фрезы C_ϕ , руб.	2129	5737
2	Расход инструмента на единицу изделия N_p , шт.	4,3	0,95
3	Стоимость н-час на одну операцию $C_{д}$, руб.	83,3	83,3
4	Штучное время $T_{ш}$, н-час.	82,23	64,29
5	Затраты на инструмент при изготовлении одной детали C_u , руб.	9154,7	5450,15
6	Затраты по заработной плате на операцию $C_{з.п.}$, руб.	10240,39	8006,26
7	Общие затраты $C_{об}$, руб.	19395,09	13456,41

Из результатов сравнительного анализа фрез Ø12 следует отметить, что увеличение жесткости инструмента позволило ужесточить режимы резания и использовать значение подачи 35 мм/мин как штатное для инструмента из твердого сплава. В связи с этим уменьшение машинного времени обработки второй фрезой на одну деталь составило 12 часов. Затраты по заработной плате снизились на 2234,13 руб. Затраты на инструмент

тоже снизились на 3704,55 руб. В результате экономический эффект от внедрения инструмента из твёрдого сплава составил 5938,68 руб.

Во втором варианте так же был выполнен сравнительный анализ процесса обработки детали типа "Панель" из поковки Амг6М. Обрабатываемая поверхность представляла собой совокупность многочисленных пазов размерами 5 мм×100 мм×50 мм. Исходные данные и результаты сравнительного анализа фрез Ø5 представлены в табл. 3.

Таблица 3

Исходные данные и результаты сравнительного анализа фрез Ø5

№	Сравниваемый параметр	Фреза №1	Фреза №2
1	Материал режущей части инструмента	P6M5	6WH10F
2	Количество использованных фрез, шт.	6	1
3	Скорость резания V , м/мин.	11,2	11,2
4	Подача S , мм/мин.	3	6,5
5	Стойкость T_c , час.	9,95	33,2
6	Машинное время T_M , час.	59,7	33,2
7	Стоимость фрезы C_ϕ , руб.	1086,3	2651,8
8	Расход инструмента на единицу изделия N_p , шт.	5,58	0,5
9	Стоимость н-час на одну операцию $C_{д}$, руб.	79,5	79,5
10	Штучное время $T_{ш}$, н-час.	89,25	49,63
11	Затраты на инструмент при изготовлении одной детали C_u , руб.	6061,55	1325,9
12	Затраты по заработной плате на операцию $C_{з.п.}$, руб.	10637,29	5898,65
13	Общие затраты $C_{об}$, руб.	16698,84	7224,55

В процессе обработки фрезой №1 наблюдались многочисленные сколы по радиусу на торце. При увеличении подачи на 1,5 мм/мин увеличивается вибрация, а при её увеличении на 3 мм/мин фреза ломается возле хвостовика. При обработке фрезой №2 наблюдался равномерный износ по торцу и радиусу менее 0,1 мм. Обработка происходила более плавно, лучше выдерживались размеры и чистота поверхности за счёт

увеличения жёсткости инструмента. Экономический эффект от внедрения инструмента из твёрдого сплава во втором варианте процесса обработки составил 9474,29 руб.

Выводы: Процесс резания представляет собой комплекс чрезвычайно сложных явлений, зависящих от физико-механических свойств обрабатываемого материала, качества режущего инструмента, условий резания, состояния станка,

жёсткости системы и т.д. При резании труднообрабатываемых материалов основной негативный фактор - это высокая температура в зоне резания, которая приводит к разупрочнению режущего инструмента, что приводит к снижению стойкости и вынужденному снижению скорости резания. Понижение которой влечет за собой увеличение времени обработки, что сказывается на производительности и себестоимости обработки в целом. Поэтому эффективность обработки обусловлена, в том числе, и правильностью выбора инструмента и назначаемыми параметрами режимов резания. Своевременная замена инструментального оснащения производства на современное позволяет быстрее окупать вложения на приобретение нового оборудования, повышать производительность имеющегося оборудования и экономическую эффективность выполняемых операций.

В заключении следует отметить, что увеличение жёсткости инструмента позволило ужесточить режимы резания в результате чего предполагаемый экономический эффект от замены фрез из быстрорежущей стали твёрдосплавными составил 5938,68 руб в первом и 9474,29 руб во втором варианте процесса обработки детали.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каблов Е.Н. Материалы для авиакосмической техники // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2007. № 5. С. 7–27.
2. M'Saoubi R., Axinte D., Soo S.L., Nobel C., Attia H., Kappmeyer G., Engin S., Sim W. High performance cutting of advanced aerospace alloys and composite materials // CIRP Annals -Manufacturing Technology. 2015. Vol. 64. No. 2. Pp. 557–580.
3. Куприянов В.А. Мелкоразмерный инструмент для резания труднообрабатываемых материалов. М.: Машиностроение, 1989. 136 с.
4. Ильященко Д.П. Исследование химического состава и микроструктуры сварных соединений из стали 12Х18Н10Т, выполненных по различным технологическим схемам // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 2. С. 73–76.
5. Велис А.К. Повышение эффективности обработки отверстий в массивных деталях из полимербетонных на примере синтегранна : дис. ... канд. техн. наук. М., 2015. 151 с.
6. Сурков О.С., Кондратьев А.И., Алексеев В.П., Хаймович А.И. Исследование обрабатываемости жаропрочной стали 10Х1Н23ТЗМР-ВД для деталей газотурбинных двигателей // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2014. № 5-3 (47). С. 106–112.
7. Артеменко Н.С., Каменов Р.У., Госина К.К. Особенности обработки резанием жаропрочных и жаростойких сталей и сплавов / Инновационные проекты и технологии машиностроительных производств: материалы всероссийской научно-технической конференции с международным участием // Омский гос. ун-т путей сообщения. (Омск 15-16 октября 2015 г.). Омск: Изд-во ОГУПС. 2015. С. 127–133.
8. Доманин К.Ю. Особенности и решения при механической обработке жаропрочных и жаростойких сталей и сплавов / Современные инновации в науке и технике: сборник научных трудов 4-ой Международной научно-практической конференции // ЮгоЗап. гос. ун-т. (Курск 17 апреля 2014 г.). Курск: ЗАО " Университетская книга". 2014. С. 40–44.
9. Даниленко Б.Д. Ориентировочный выбор режима резания при обработке титановых сплавов концевыми фрезами // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2006. № 8. С. 61–64.
10. Егорова Ю. Б., Давыденко Л. В., Давыденко Р. А. Классификация отечественных и зарубежных титановых сплавов по обрабатываемости резанием // Материаловедение. 2014. № 4. С. 14–21.
11. Biermann D., Abrahams H., Metzger M., Biermann D., Abrahams H., Metzger M. Experimental investigation of tool wear and chip formation in cryogenic machining of titanium alloys // Advances in Manufacturing. 2015. Vol. 3. No. 4. Pp. 292–299.
12. Shokrani A., Dhokia V., Newman S.T. Investigation of the effects of cryogenic machining on surface integrity in CNC end milling of Ti-6Al-4V titanium alloy // Journal of Manufacturing Processes. 2016. Vol. 21. Pp. 172–179.
13. Селиванов А.Н. Повышение производительности и качества обработки тел вращения из титановых сплавов методом высокоскоростного фрезерования и фрезоточения: Автореф. дис. канд. техн. наук. Саратов. 2011. 19 с.
14. Кирейнов А.В., Есов В.Б. Современные тенденции применения смазочно-охлаждающих технологических средств при лезвийной обработке труднообрабатываемых материалов // Инженерный журнал: наука и инновации. 2017. № 2 (62). С. 5.
15. Дачева А. В. Особенности режущего инструмента с многофункциональным покрытием для резания труднообрабатываемых материалов // Технические науки: проблемы и перспективы: материалы Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, март 2011 г.). СПб.: Реноме. 2011. С. 45–48.
16. Пронин А.И., Мокрицкий Б.Я., Виноградов С.В. Особенности применения сверхтвёрдых материалов и режущей керамики при токарной обработке труднообрабатываемых материалов // Уче-

ные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2010. Т. 1. № 2. С. 88–92.

17. Tabakov V.P., Vereschaka A.S. Development of technological means for formation of multilayer composite coatings, providing increased wear resistance of carbide tools, for different machining condition // Key Engineering Materials. Trans Tech Publications, Switzerland. Vol. 581. 2014. Pp. 55–61.

18. Реченко Д.С., Попов А.Ю., Белан Д.Ю., Кузнецов А.А. Создание твердосплавного металло-режущего инструмента для финишной обработки

труднообрабатываемых материалов // СТИН. 2016. № 8. С. 16–18.

19. Михалкина В.А., Марусич К.В., Кравцов А.Г. Расчёт экономической эффективности от внедрения инструмента из твёрдого сплава / 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. 155–158.

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.

Антонцева Ирина Викторовна, магистрант кафедры технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов. E-mail: irina_211991@mail.ru. Оренбургский государственный университет. Россия, 460018, Оренбург, просп. Победы, д. 13.

Поступила в октябре 2018 г.

© Марусич К.В., Антонцева И.В., 2018

^{1,*}Marusich K.V., ¹Antontseva I.V.

¹Orenburg State University

Russia, 460018, Orenburg, ave. Pobedy, 13

*E-mail: mkv82@mail.ru

THE CALCULATION ECONOMIC EFFECT FROM THE INTRODUCTION OF HARD ALLOYS MILLS

Abstract. In mechanical engineering, any changes in technology have an impact on the cost of manufacturing parts. The intensity of use the main technological equipment, the parameters of its operation and performance are continuously related to the quality of the tool used. The timely replacement of the instrumental equipment of the production with the modern one allows paying back investments quickly for the purchase of new equipment, to increase the productivity of the existing equipment and the economic efficiency of operations performed. Insufficient tool durability leads to additional equipment downtime; its duration is determined by the duration of tool replacement. As a result, productivity decreases. In this paper, the calculation of the estimated economic efficiency from the replacement of high-speed steel mills with carbide in the manufacture of parts on a CNC cutting machine is performed. Two variants of machining the part with mills of two different diameters are considered.

Keywords: heat-resistant steels, hard alloy, machinability, cutting tools, machining.

REFERENCES

1. Kablov E.N. Materials for aerospace. All materials. Encyclopedic reference, 2007, no. 5, pp. 7–27.

2. M'Saoubi R., Axinte D., Soo S.L., Nobel C., Attia H., Kappmeyer G., Engin S., Sim W. High performance cutting of advanced aerospace alloys and composite materials. CIRP Annals -Manufacturing Technology, 2015, Vol. 64, no. 2, pp. 557-580.

3. Kupriyanov V.A. Small-sized tool for cutting hard-to-cut materials. M.: Mechanical engineering. 1989, 136 p.

4. Ilyaschenko D.P. Study of the chemical composition and microstructure of welded joints made of

steel 12X18H10T, made according to various technological schemes. Modern high technologies, 2015, no. 2, pp. 73–76.

5. Velis A.K. Improving the efficiency of machining holes in massive polymer-tones on the example of syntegran: dis. ... Cand. tech. sciences. Moscow, 2015, 151 p.

6. Surkov OS, Kondratyev A.I., Alekseev V.P., Khaymovich A.I. Study of the workability of heat-resistant steel 10X11H23T3MP-BД for gas-turbine engine parts. Bulletin of Samara State Aerospace University. Academician S.P. Koroleva (National Research University), 2014, no. 5-3 (47), pp. 106–112.

7. Artemenko N.S., Kamenov R.U., Gosina K.K. Features of machining of heat-resistant and heat-resistant steels and alloys. Innovative projects and technologies of machine-building industries: materials of the All-Russian scientific and technical conference with international participation. Omsk State. un-t ways of communication. (Omsk, October 15-16, 2015). Omsk, OSUWC Publ., 2015, pp. 127–133.

8. Domanin K.Yu. Features and solutions for the machining of heat-resistant and heat-resistant steels and alloys. Modern innovations in science and technology: a collection of scientific papers of the 4th International Scientific and Practical Conference YugoZap. state un-t. (Kursk, April 17, 2014). Kursk, "University Book" Publ., 2014, pp. 40–44.

9. Danilenko B.D. Approximate choice of cutting mode when machining titanium alloys with end mills. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Engineering, 2006, no. 8, pp. 61–64.

10. Egorova Yu. B., Davydenko L.V., Davydenko R.A. Classification of domestic and foreign titanium alloys by machinability. Materials Science, 2014, no. 4, pp. 14–21.

11. Biermann D., Abrahams H., Metzger M., Biermann D., Abrahams H., Metzger M. Experimental investigation of tool wear and chip formation in cryogenic machining of titanium alloys. Advances in Manufacturing, 2015, Vol. 3, no. 4, pp. 292–299.

12. Shokrani A., Dhokia V., Newman S.T. Investigation of the effects of cryogenic machining on surface integrity in CNC end milling of Ti-6Al-4V titanium alloy. Journal of Manufacturing Processes, 2016, vol. 21, pp. 172–179.

13. Selivanov A.N. Improving the performance and quality of processing of bodies of rotation of titanium alloys by the method of high-speed milling and

milling: Abstract dis. Cand. tech. sciences. Saratov, 2011, 19 p.

14. Kireinov A.V., Yesov V.B. Modern trends in the use of lubricating and cooling technological tools for blade processing of difficult-to-process materials. Engineering magazine: science and innovations, 2017, no. 2 (62). pp. 5.

15. Dacheva A.V. Features of a cutting tool with a multifunctional coating for cutting difficult-to-cut materials. Technical Sciences: Problems and Prospects: Materials Intern. scientific conf. (St. Petersburg, March 2011). St. Petersburg, Renome Publ., 2011, pp. 45–48.

16. Pronin A.I., Mokritsy B.Ya., Vinogradov S.V. Features of the use of superhard materials and cutting ceramics for turning difficult-to-cut materials. Uchenye zapiski Komsomolsk-on-Amur State Technical University, 2010, vol. 1, no. 2, pp. 88–92.

17. Tabakov V.P., Vereschaka A.S. Development of technological means for formation of multilayer composite coatings, providing increased wear resistance of carbide tools, for different machining condition. Key Engineering Materials. Trans Tech Publications. Switzerland, vol. 581, 2014, pp. 55–61.

18. Rechenko D.S., Popov A.Yu., Belan D.Yu., Kuznetsov A.A. Creating carbide metal-cutting tools for finishing difficult-to-work materials, STIN, 2016, no. 8, pp. 16–18.

19. Mikhalkina V.A., Marusich K.V., Kravtsov A.G. Calculation of the economic efficiency of the introduction of a hard-alloy tool. University complex as a regional center for education, science and culture: materials of the All-Russian scientific and methodological conference. Orenburg. state Univ. (Orenburg, February 1-3, 2017). Orenburg, OSU Publ., 2017, pp. 155–58.

Received in October 2018

Information about the author

Marusich, Konstantin V. PhD, Assistant professor. E-mail: mkv82@mail.ru. Orenburg State University. Russia, 460018, Orenburg, ave. Pobedy, 13.

Antontseva, Irina V. Master student. E-mail: irina_211991@mail.ru. Orenburg State University. Russia, 460018, Orenburg, ave. Pobedy, 13.

Для цитирования:

Марусич К.В., Антонцева И.В. Расчёт экономического эффекта от внедрения твёрдосплавных фрез // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №12. С. 132–137. DOI: 10.12737/article_5c1c996a958c29.66258853

For citation:

Marusich K.V., Antontseva I.V. The calculation economic effect from the introduction of hard alloys mills. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 12, pp. 132–137. DOI: 10.12737/article_5c1c996a958c29.66258853

DOI: 10.12737/article_5c1c996b55c9d0.02802326

^{1,*}Третьякова В.А.¹Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
Россия, 125080, Москва, ул. Врубеля, д. 8, кв. 348

*E-mail: tva@bmstu.ru

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАНЖИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ДЛЯ ВЫБОРА АУТСОРСЕРА

Аннотация. В статье предлагается методика ранжирования и выбора организаций-аутсорсеров для машиностроительных предприятий с использованием балльно-рейтинговой системы оценки. Методика предполагает провести трехуровневую проверку организаций, включающую квалификацию, экспертную оценку и аудит аутсорсера. На этапе квалификации происходит отсеивание организаций, которые заведомо не подходят по тем или иным параметрам, например, отсутствуют необходимые лицензии или сертификаты. Экспертная оценка предусматривает разработку системы показателей, которая позволит проводить комплексную оценку организаций-аутсорсеров, например, оценивать их финансовую устойчивость, квалификацию задействованного персонала, используемые производственные мощности, качество выпускаемой продукции и т.д., а также сбор фактических значений этих показателей с целью подготовки к последующему выбору конкретного аутсорсера. Аудит проводится с целью проверки наиболее важных данных, предоставленных на предыдущем этапе организациями-аутсорсерами, и позволяет их подтвердить или, наоборот, выявить несоответствие предоставленной информации реальной ситуации. Аудит может проводиться как используя выездную проверку к аутсорсеру, так и путем запроса у рассматриваемого аутсорсера различной документации (технической, финансовой, отчетной, сертификатов, лицензий и т.д.). По результатам такой комплексной проверки предлагается провести ранжирование организаций-исполнителей на основании балльно-рейтинговой системы оценки, когда высший ранг присваивается организациям, которые максимально соответствуют всем требованиям заказчика, следующий ранг присваивается организациям, частично соответствующим заявленным требованиям, и, соответственно, самый низкий ранг присваивается организациям, которые практически не соответствуют требованиям предприятия-заказчика. С учетом присвоенных рангов предприятие-заказчик может осуществлять выбор аутсорсера, оценивая степень своей готовности к рискам при работе с ними.

Ключевые слова: аутсорсинг, организация-аутсорсер, методика выбора аутсорсера, показатели выбора аутсорсера, ранжирование аутсорсера.

Введение. Для современных машиностроительных предприятий под влиянием возрастающей внутренней и внешней конкуренции аутсорсинг становится одним из важнейших элементов для развития их производственного потенциала. В настоящее время это понятие получает все большее распространение, и предприятия все чаще отказываются от содержания полного цикла производства и его обслуживающих подразделений ввиду финансовой нецелесообразности такой модели хозяйствования [1–4]. Принимая решение о передаче некоторых функций или процессов на аутсорсинг предприятие сталкивается с проблемой выбора организации, которой будут переданы эти функции или процессы. Выбор аутсорсера является достаточно трудоемкой и ответственной процедурой, т.к. правильность этого выбора напрямую связана с рисками предприятия и определяет стратегическую модель его поведения. В связи с вышесказанным предприя-

тию рекомендуется в своей деятельности использовать предложенную методику ранжирования и выбора организаций-аутсорсеров.

Действующее законодательство РФ фактически никак не регламентирует применение таких форм занятости работников, как «аутсорсинг». Возможность применения работодателями аутсорсинговых схем вытекает из положений Гражданского кодекса РФ ст. 421, устанавливающей, что граждане и юридические лица свободны в заключении договора. Стороны могут заключить договор как предусмотренный, так и не предусмотренный законом или иными правовыми актами. Стороны могут заключить договор, в котором содержатся элементы различных договоров, предусмотренных законом или иными правовыми актами (смешанный договор). Оказание услуг аутсорсинга регулируется нормами главы 39 «Возмездное оказание услуг» ГК РФ. По договору возмездного оказания услуг исполнитель (фирма-аутсорсер) обязуется по заданию

заказчика оказать услуги (совершить определенные действия или осуществить определенную деятельность), а заказчик обязуется оплатить эти услуги (п. 1 ст. 779 ГК РФ) [5, 6].

Если аутсорсинг приравнять к закупочной деятельности предприятия, то государственные заказчики, госкорпорации, естественные монополисты и т.д. должны руководствоваться Федеральными законами № 44-ФЗ от 5 апреля 2013 г. «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» и № 223-ФЗ от 18.07.2011 (ред. от 03.08.2018) "О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц", а именно, осуществлять выбор поставщика (подрядчика, исполнителя) на конкурсной основе, при которой победителем признается участник закупки, предложивший лучшие условия исполнения контракта или используя аукцион, при котором побеждает участник, предложивший наименьшую цену контракта, как определено в [7, 8]. Причем, при оценке и выборе заявок при конкурсном отборе заказчик должен руководствоваться критериями, на первом месте из которых стоит цена контракта, на втором месте расходы на эксплуатацию и ремонт товаров, использование результатов работ, и только на третьем и четвертых местах предусматриваются качественные, функциональные и экологические характеристики объекта закупки и квалификация участников закупки, в том числе наличие у них финансовых ресурсов, оборудования и других материальных ресурсов, опыта работы и деловой репутации, специалистов и иных работников определенного уровня квалификации, соответственно. Получается, что предприятие-заказчик, выбирая аутсорсера, должно выбрать то, которое предложит ему меньшую цену, не зависимо от

того, насколько стабильна эта организация-поставщик, какое оборудование она использует и какого уровня квалификации персонал в ней работает. Это означает, что все риски, связанные с дальнейшей работой с такой организацией, ложатся на плечи заказчика. Иными словами, если производственное предприятие-аутсорсер вкладывается в свои производственные мощности, осуществляет затраты на модернизацию используемого оборудования, улучшает условия труда и повышает квалификацию своего персонала, то оно не сможет конкурировать с организацией, которая не делает этих вложений и, соответственно, может предложить меньшую цену на конкурсе. Значит, осуществив выбор только по критерию цены, заказчик увеличивает свои долгосрочные риски, связанные с поломками используемого аутсорсером оборудования, недостаточной квалификацией работающего у него персонала и т.д., что может привести к срыву сроков поставок, оговоренных договором, отсутствию требуемого качества поставляемой продукции и другим нарушениям условий договора.

Основная часть. Если машиностроительное предприятие имеет право не руководствоваться вышеперечисленными законами, то оно вполне может самостоятельно установить собственный порядок выбора аутсорсеров во избежание больших рисков [9].

Очевидно, этап выбора аутсорсера должен быть многоуровневым и комплексным, т.е. поставщик должен оцениваться с разных сторон. Комплексная оценка поставщика может включать оценку его операционной деятельности, тестирование продукции, учет экспертного мнения, проведение аудита и т.д.

Общий порядок выбора аутсорсера показан на рисунке 1.

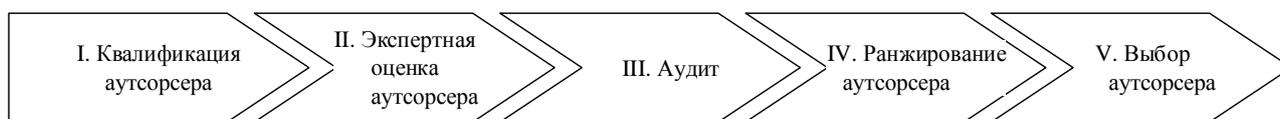


Рис. 1. Этапы выбора аутсорсера

I. Квалификация аутсорсера.

Данный этап является предварительным и заключается в отсеивании тех организаций, которые заведомо не подходят по тем или иным параметрам.

Приняв решение о необходимости применения аутсорсинговой деятельности, предприятие может поступить двумя способами: оно может сформировать и опубликовать заявку в открытых источниках о необходимости закупки каких-либо услуг (выполнения процессов или функций), или самостоятельно ищет возможных исполнителей.

Отобрав ряд организаций (потенциальных аутсорсеров) предприятию-заказчику необходимо провести их квалификацию, а именно разработать перечень показателей, которые будут являться критичными для предприятия, и с помощью этих показателей произвести предварительную оценку этих организаций.

Современные сервисы позволяют получить достаточно большое количество информации о предприятии из открытых источников, в том числе из сети Internet, т.к. существующие нормы

законодательства обязывают организации выкладывать в них информацию о своей деятельности. Поэтому наиболее разумно составлять показатели для этапа квалификации таким образом, чтобы предприятие-заказчик могло проводить предварительную проверку самостоятельно.

Причем на данном этапе эту оценку может пройти неограниченное количество организаций.

Основная задача этого этапа - выбрать организации, которые в принципе имеют возможность осуществлять требуемую деятельность.

Исходные данные для расчета показателей представлены в таблице 1, а примеры показателей для этапа квалификации представлены в таблице 2.

Таблица 1

Исходные данные

№	Исходные данные	Условное обозначение	Источник информации	Примечание
1.	Выручка от реализации аутсорсера за предшествующий год	B	Бухгалтерский баланс или финансовый отчет о прибылях и убытках аутсорсера	Строка 2110 Бухгалтерского баланса аутсорсера
2.	Планируемая цена закупки за весь объем годового заказа у аутсорсера	$C_{пл}$	Предприятие-заказчик	Определяется в соответствии с Техническим заданием заказчика
3.	Стоимость основных средств аутсорсера за предшествующий год	Φ_o	Бухгалтерский баланс или финансовый отчет о прибылях и убытках аутсорсера	Строка 1150 Бухгалтерского баланса аутсорсера
4.	Рыночная стоимость оборудования, необходимого для выполнения заказа	$\Phi_{оборуд}$	Предприятие заказчик	Определяется из открытых источников
5.	Долгосрочные обязательства аутсорсера	$O_{д.ср.}$	Бухгалтерский баланс или финансовый отчет о прибылях и убытках аутсорсера	Строка 1400 Бухгалтерского баланса аутсорсера
6.	Краткосрочные обязательства аутсорсера	$O_{кр.ср.}$	Бухгалтерский баланс или финансовый отчет о прибылях и убытках аутсорсера	Строка 1500 Бухгалтерского баланса аутсорсера

Проведение такой квалификации не занимает много времени, но дает достаточно общее представление о рассматриваемой организации. Ее следует провести для каждого потенциального аутсорсера и, что важно отметить, перейти к следующему этапу смогут только те организации, которые наберут необходимое количество баллов. В данном примере этот балл равен 11 (по количеству сформулированных показателей). Организации, набравшие 10 и менее количество баллов, к следующему этапу не допускаются.

Предприятие может само выбирать необходимые ему показатели и удобную для себя шкалу их оценивания.

II. Экспертная оценка аутсорсера.

В условиях рыночной конкуренции чаще всего случается, что на рынке существует несколько организаций, имеющих возможность выполнить необходимые требования заказчика, т.е. прошедших квалификацию. Выбор аутсорсера, с которым предприятие будет заключать договор, должен быть объективным и прозрачным.

Чтобы организовать процедуру выбора аутсорсера предприятию-заказчику нужно создать группу экспертов, которая будет являться ответственной за этот выбор и действовать в интересах

самого предприятия. В группу экспертов должны войти финансисты, юристы, а также представители производственных подразделений предприятия. Далее группе необходимо разработать систему показателей, которая поможет предприятию осуществить этот выбор, и назначить ответственного за сбор фактических значений этих показателей. Причем, предлагается создать эту систему показателей таким образом, чтобы она не только имела возможность выбрать одного конкретного поставщика из нескольких, но и позволила бы произвести их сравнение между собой, чтобы предприятие-заказчик могло осуществлять выбор, опираясь на ту степень риска, которую она может себе позволить.

Данная система показателей должна позволить проводить комплексную оценку организаций-аутсорсеров: и их финансовую устойчивость, и квалификацию задействованного персонала, и используемые производственные мощности, и качество выпускаемой продукции и т.д. Результатом этой оценки, после проведения проверки значений наиболее значимых показателей, должно стать ранжирование аутсорсеров.

Таблица 2

Квалификационные показатели предварительного выбора аутсорсера

№	Показатель	Варианты ответов	Баллы
1.	Наличие необходимых лицензий, свидетельств и сертификатов для осуществления деятельности, являющейся предметом планируемого договора в соответствии с требованиями действующего законодательства РФ	Необходимых лицензий, свидетельств и сертификатов не имеется или истек срок их действия	0
		Все необходимые лицензии, свидетельства и сертификаты имеются или не требуются в рамках планируемых к заключению договоров	1
2.	Соответствие кодов ОКВЭД предмету договора	Коды ОКВЭД организации аутсорсера не соответствуют предмету договора	0
		Коды ОКВЭД организации аутсорсера соответствуют предмету договора	1
3.	Стадия ликвидации, банкротства или реорганизации аутсорсера	Организация-аутсорсер находится в стадии ликвидации, банкротства или реорганизации	0
		Организация-аутсорсер не находится в стадии ликвидации, банкротства, реорганизации или информация отсутствует	1
4.	Банкротство учредителей организации-аутсорсера	Хотя бы один из учредителей аутсорсера находится на стадии банкротства	0
		Ни один из учредителей аутсорсера не находится на стадии банкротства	1
5.	Наличие уголовного дела в отношении руководителей организации на предмет установления в их действиях уголовно наказуемых деяний на момент проведения квалификации	Информация о возбуждении уголовного дела имеется	0
		Уголовное дело не возбуждено	1
6.	Наличие неудовлетворенных рекламаций и проигранных судебных дел по качеству продукции, являющейся предметом договора	Неудовлетворенные рекламации и проигранные судебные дела в отношении качества продукции, являющейся предметом договора, имеются	0
		Неудовлетворенных рекламаций и проигранных судебных дел в отношении качества продукции, являющейся предметом договора, нет	1
7.	Наличие организации в реестре недобросовестных поставщиков, предусмотренных [6, 7]	Организация включена в реестр	0
		Организация не включена в реестр	1
8.	Опыт работы в данной области	Опыт работы в данной области менее трех лет	0
		Опыт работы в данной области не менее трех лет	1
9.	Сравнение выручки аутсорсера с планируемым объемом заказа	$\frac{B}{C_{пл}} \leq 1$	0
		$\frac{B}{C_{пл}} > 1$	1
10.	Сравнение стоимости основных средств аутсорсера со стоимостью оборудования, необходимого для выполнения заказа	$\Phi_{оборуд} > \Phi_o$	0
		$\Phi_{оборуд} \leq \Phi_o$	1
11.	Сравнение заемного капитала аутсорсера с выручкой	$O_{д.ср.} + O_{кп.ср.} \geq B$	0
		$O_{д.ср.} + O_{кп.ср.} < B$	1

Учитывая вышесказанное, экспертам предлагается определить категории показателей и для каждой категории разработать показатели, которые будут важны для него с точки зрения оценки

аутсорсера. Часть показателей будет постоянной, т.е. не зависеть от особенностей передаваемой функции, а другая часть должна отражать специфику передаваемой на аутсорсинг функции.

Таблица 3

Категории и примеры показателей для выбора аутсорсера

№	Категория	Показатель
1.	Финансово-хозяйственная и организационная деятельность	Организационно-правовая форма предприятия
		Структура предприятия
		Является ли организация плательщиком НДС
		Наличие филиалов и связанных предприятий у организации
		Опыт работы в данной отрасли
		Годовой оборот предприятия за последние три года
		Уровень угрозы банкротства организации
		Финансовая устойчивость организации
		Уровень накладных расходов предприятия
		Кредиторская задолженность
		Количество дней отсрочки, которое может быть предоставлено по платежам
2.	Персонал	Общее количество сотрудников организации
		% соотношение категорий работников к общему числу сотрудников организации
		Средний возраст сотрудников
		Наличие трудовых споров за последние три года
		Наличие системы мотивации сотрудников в организации
		Наличие необходимой квалификации у персонала организации
3.	Качество и сертификация	Наличие действующего входного контроля сырья и комплектующих на производстве
		Наличие действующей процедуры выявления и дальнейших действий для несоответствующей продукции
		Наличие действующей оценки удовлетворенности потребителей
		Наличие необходимых сертификатов на производимую продукцию (услуги)
		Наличие добровольных сертификатов в организации
		Наличие действующей СМК ISO 9001 в организации
		Наличие действующей СЭМ ISO 14001 в организации
		Порядок рекламационной работы (в том числе и в постгарантийный период)
Наличие и мониторинг показателей качества производимой продукции		
4.	Производство	Характеристика площадей предприятия (собственность или аренда)
		Характеристика оборудования предприятия (собственность или в аренда)
		Обеспеченность (достаточность) предприятия электроэнергией, газом, водой, паром и т.д. (тем, что необходимо для производства)
		Географическое расположение производственных площадей организации
		% загрузки производственных мощностей
		Наличие полного цикла производства товара (услуги)
		Длительность производственного цикла запрашиваемой товара (услуги)
		Наличие собственного конструкторского отдела
		Наличие собственного технологического отдела
		Укомплектованность системы технического контроля на предприятии
		Уровень складских запасов
		Максимально возможный объем выпуска в единицу времени
		Возможность исполнения срочной заявки

5.	Товар (услуга)	Наличие импортных компонентов (сырья, материалов, комплектующих и т.д.) в производстве продукции в стоимостном выражении
		Зависимость себестоимости продукции от макроэкономических факторов (курс, биржевые изменения и т.д.)
		Количество поставщиков сырья и комплектующих для производства
		Наличие в организации действующей системы оценки и выбора поставщиков сырья и комплектующих
		Основные потребители продукции
		Комплектность конструкторской, технологической и эксплуатационной документации
		Оценка качества продукции по параметрам – ремонтпригодность, надежность, унификация, сохраняемость и т.д.
		Патентозащищенность производимой продукции
		Уровень системы гарантийного и сервисного обслуживания
		Комплектность сопроводительной документации (наличие инструкций по утилизации, по ремонту и т.д.)
6.	Логистика	Наличие складских помещений
		Условия и контроль соблюдения условий хранения продукции на складе
		Наличие системы идентификации и маркировки производимой продукции
		Обеспеченность погрузочно-разгрузочными средствами
		Наличие собственного транспорта
7.	Репутация и развитие	Репутация организации
		Наличие рекламаций по качеству товаров (услуг), производимой организацией
		Наличие судебных дел по качеству товаров (услуг), производимой организацией
		Уровень культуры организации производства
		Уровень организации труда
		Наличие современного высокотехнологичного оборудования на производстве
		Уровень наукоемкости предприятия
		Наличие системы нормирования труда на предприятии

Т.к. не все показатели можно измерить количественно, например, организационную форму предприятия, то необходимо ввести балльную шкалу измерения, чтобы получить единую сравнительную оценку всех показателей между собой. Причем, шкала измерения всех показателей должны быть единой, иначе необходимо будет провести процедуру приведения различных шкал к одной. Одновременно с этим необходимо расставить весовые коэффициенты по каждому показателю a_i и по каждой рассматриваемой категории A_i , т.е. выделить те показатели и категории, которые имеют для предприятия-заказчика наибольшее значение. Шкала измерения весовых коэффициентов также может быть выбрана на усмотрение предприятия-заказчика, где, например, максимальный вес присваивается наиболее важным показателям (категориям), а минимальный, соответственно, наименее важным. Предприятие-заказчик в лице группы экспертов самостоятельно определяет количество важных/неважных показателей и категорий (например, три показателя из девяти могут иметь максимальный вес, а остальные - минимальный или предприятие

может посчитать нужным всем рассматриваемым показателям проставить максимальный вес). В таблице 4 представлены примеры некоторых показателей с использованием трехбалльной шкалы измерения весовых коэффициентов (где 3 присваивается наиболее важному показателю, а 1, соответственно, наименее важному) и пятибалльной шкалы измерения самих показателей.

Как правило, такая система показателей для выбора аутсорсера разрабатывается на предприятии один раз и в целом универсальна. Но, учитывая особенности некоторых передаваемых функций, частично система должна корректироваться (некоторые показатели добавляются, некоторые убираются, для некоторых происходит корректировка их значений). Корректировка может проводиться как непосредственно на этапе выбора аутсорсера, так и с учетом изменения работы самого предприятия. Например, при выборе аутсорсера для НИР будут выбраны одни показатели, при передаче на аутсорсинг производственной функции – совершенно другие. Также и веса наиболее значимых показателей должны выбираться в зависимости от вида передаваемой функции.

Таблица 4

Пример измерения показателей по пятибалльной шкале

Категория	Вес категории A_i^3	Показатель	Вес показателя a_i^3	Варианты значений	Балл b_i^5
1. Финансово-хозяйственная и организационная деятельность	3	Является ли организация плательщиком НДС	3	Нет	1
				Да	5
		Уровень угрозы банкротства организации, Z [10]	3	$Z < 1,8$ - Высокая вероятность банкротства	1
				$1,8 < Z < 2,7$ - Степень банкротства неопределима	3
				$Z > 2,7$ - Низкая вероятность банкротства	5
2. Персонал	2	Наличие необходимой квалификации у персонала	2	Большинство работников не имеет подтверждения квалификации, обучение на системной основе не проводится	1
				Только ключевые специалисты имеют необходимую квалификацию, обучение на системной основе не проводится	2
				Все работники имеют необходимую квалификацию, обучение проводится выборочно	3
				Все работники имеют необходимую квалификацию, сформирован и выполняется план развития сотрудников	4
				Весь персонал имеет необходимую квалификацию, большинство ключевых работников имеют опыт работы более 3 лет и ученые степени, сформирован и выполняется план развития сотрудников.	5

Итак, оценивая организации-аутсорсеры на этом этапе экспертам необходимо сформировать (подкорректировать) систему показателей, учитывая особенности передаваемой функции, расставить весовые коэффициенты всех показателей и каждой категории (сравнение показателей разной важности только по значениям может привести к ошибочному результату), определить для себя пороговые значения по каждому показателю и получить значения всех показателей по каждому аутсорсеру.

Пороговое значение по каждому показателю эксперты определяют с точки зрения уровня риска при работе с аутсорсером. Например, пред-

приятию-заказчику желательно работать с организацией, которая является плательщиком НДС, поэтому пороговое значение этого показателя устанавливается равным 5.

Далее стоит вопрос, где взять значения этих показателей. Конечно, часть показателей, как и на этапе квалификации, можно получить из открытых источников, другую часть показателей необходимо запросить у самой организации-аутсорсера, третья часть показателей получается расчетным способом (например, уровень угрозы банкротства организации) из предоставленных данных, и, наконец, оставшиеся показатели оцениваются экспертным путем после проведения

аудита (например, уровень культуры организации производства).

III. Аудит.

Аудит может проводиться как используя выездную проверку к аутсорсеру, так и путем запроса у рассматриваемого аутсорсера различной документации (технической, финансовой, отчетной, сертификатов, лицензий и т.д.) и ее проверки на территории заказчика, а может включать и то и другое.

Аудит проводится с целью проверки наиболее важных данных (сведений), предоставленных на предыдущем этапе выбранным аутсорсером, и позволяет их подтвердить или, наоборот, выявить несоответствие предоставленной информации реальной ситуации. Например, показатель из категории «Качество и сертификация» - «Наличие действующего входного контроля продукции и сырья на производстве». Предоставляя сведения, рассматриваемая организация может указать, что такой контроль у нее имеется и проводится согласно соответствующей методологической инструкции, но по факту, при выездной проверке, может выявиться, что этот контроль не проводится или проводится с отклонениями от инструкции. Если организация исполнитель отказывается от проверки, то целесообразно сразу рассмотреть вопрос об отказе работы с таким аутсорсером.

Также важно при проведении выездной проверки убедиться в использовании современного оборудования, наличии и обустроенности производственных цехов, а также в наличии культуры организации производства и благоприятных условий труда на территории аутсорсера. Все это может оказаться очень важно при выборе аутсорсера, тем более, если речь идет о долгосрочном сотрудничестве. Очевидно, что организация, ориентированная исключительно только на краткосрочное получение прибыли, не заинтересована в эффективной организации производства и в инвестициях в современное высокотехнологичное оборудование, и, следовательно, не сможет быть надежным партнером-аутсорсером в долгосрочной перспективе. Все эти моменты также должны найти отражение в системе показателей выбора аутсорсера.

Целесообразность аудита также определяется группой экспертов. Естественно, основными критериями принятия решения о проведении/непроведении аудита должны служить планируемый объем заказа и срок заключаемого договора. Границы значений этих критериев устанавливаются предприятием-заказчиком.

Чаще всего в проверке должен участвовать технический специалист, финансист и юрист

предприятия-заказчика. Остальные члены комиссии должны подбираться в зависимости от передаваемой функции и вида деятельности организации (например, в нее могут быть включены кадровые специалисты, сотрудники отдела технического контроля и др.).

В некоторых случаях может потребоваться необходимость тестирования продукции, или производство пробного образца (партии). Эту процедуру целесообразно предусмотреть до перехода к следующему этапу, чтобы была возможность учесть полученные результаты на этапе ранжирования аутсорсера.

IV. Ранжирование аутсорсера.

По результатам аудита необходимо произвести корректировку значений показателей, полученных на этапе II. Затем следует для каждой рассматриваемой организации-аутсорсера произвести расчет и вывести комплексный показатель, который позволит осуществить ранжирование потенциальных аутсорсеров.

Для этого необходимо:

1. Рассчитать балл b_j по каждой j -ой категории таблицы 3 по формуле 1:

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^n (b_i a_i)}{\sum_{i=1}^n a_i} \quad (1)$$

где b_i – присваиваемый балл i -му показателю j -ой категории; a_i – весовой коэффициент для i -го показателя j -ой категории; n – количество рассматриваемых показателей j -ой категории.

2. Рассчитать средний балл между пороговым и максимальным значением b_{icp} по каждому показателю по формуле 2:

$$b_{icp} = \frac{b_{инороз} + b_{imax}}{2} \quad (2)$$

где b_{imax} – максимальный балл i -го показателя j -ой категории, $b_{инороз}$ – пороговый балл i -го показателя j -ой категории.

3. Используя формулу (1) рассчитать итоговый балл B для каждого рассматриваемого аутсорсера:

$$B = \frac{\sum_{j=1}^m (b_j A_j)}{\sum_{j=1}^m A_j} \quad (3)$$

где A_j – весовой коэффициент j -ой категории, m – количество рассматриваемых категорий.

4. Используя формулу (1) рассчитать итоговые пороговый балл $B_{пороз}$ и средний балл B_{cp} :

$$B_{дон} = \frac{\sum_{j=1}^m (b_{порог} A_j)}{\sum_{j=1}^m A_j} \quad (4)$$

$$\text{и } B_{ср} = \frac{\sum_{j=1}^m (b_{ср} A_j)}{\sum_{j=1}^m A_j} \quad (5)$$

где $b_{порог}$, $b_{ср}$ – пороговый балл и средний балл по каждой j -ой категории соответственно, которые вычисляются по формулам:

$$b_{порог} = \frac{\sum_{i=1}^n (b_{порог} a_i)}{\sum_{i=1}^n a_i} \quad (6)$$

$$\text{и } b_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^n (b_{ср} a_i)}{\sum_{i=1}^n a_i} \quad (7).$$

Получив значения итоговых баллов по каждому аутсорсеру можно разделить их на три ранга (см. табл. 5):

Таблица 5

Ранжирование организаций по балльной системе оценки

№	Интервал	Ранг	Вывод
1.	$B > B_{ср}$	I	Организация максимально соответствует всем требованиям предприятия заказчика
2.	$B_{порог} < B < B_{ср}$	II	Значения большинства показателей соответствуют требованиям предприятия заказчика, но некоторые значения могут быть даже ниже установленных пороговых значений
3.	$B < B_{порог}$	III	Организация не соответствует требованиям предприятия заказчика

V. Выбор аутсорсера.

Присвоив ранг потенциальному аутсорсеру необходимо переходить к выбору поставщика. Выбор поставщика может происходить несколькими способами:

1. Сравнение аутсорсеров происходит по рассчитанным баллам. Выбирается организация, получившая максимальный балл. В этом случае не имеет значение, какой ранг получила организация.

2. Выбор аутсорсера с учетом присвоенного ранга, учитывая степень допустимого риска.

Поясним суть второго варианта. На самом деле выбор исполнителя должен определяться по степени допустимого риска для заказчика. Т.е. предприятие должно оценить, на сколько оно готово рисковать, выбирая аутсорсера. Следует отметить, что, передавая функции на аутсорсинг, предприятие рискует всегда, т.к. оно никогда не может быть уверено на 100 процентов в поставщике. Ранжирование аутсорсеров и помогает заказчику учесть возможные риски при выборе поставщика (исполнителя):

- ранг I - минимальный риск для заказчика;
- ранг II – средний риск невыполнения условий заказа;
- ранг III – высокий риск невыполнения условий заказа.

Под риском при выборе аутсорсера будем понимать такие параметры, как несоответствие качества выполнения передаваемой функции требованиям заказчика, срыв сроков выполнения

заказа, изменение условий договора в одностороннем порядке исполнителем и т.д.

Оценивая степень своей готовности к этим рискам, предприятие-заказчик должно понимать, что чем ниже риски, тем выше должна быть и цена. Таким образом получается, что если предприятие не готово рисковать и хочет получить соблюдение всех требований договора с максимально возможным качеством исполнения, то оно должно быть готово заплатить больше. Для этого предприятию-заказчику необходимо определить ту разницу в цене Δ , которую оно готово доплатить выше среднерыночной цены на выполнение аналогичных функций на рынке.

В статьях [11, 12] было показано, как оценить затраты на выполнение функции собственными силами. Это оценка является предшествующим этапом к рассматриваемой методике в настоящей статье. Исходя из этого к моменту выбора аутсорсера предприятие-заказчик уже владеет информацией по поводу стоимости выполнения рассматриваемой функции своими силами и ценами на ее выполнение на рынке $C_{ср.рын.}$. Поэтому в таблице 6 представим связь рангов с рисками и ценой.

Соответственно можно сделать вывод, что при выборе аутсорсера предприятию-заказчику целесообразно сначала определить ранг, с которым оно готово работать в рамках передаваемой функции, а затем уже осуществлять выбор аутсорсера-поставщика из числа организаций, которым был присвоен этот ранг по критерию минимальной цены.

Взаимосвязь рангов с рисками и ценой на аутсорсинг

№	Ранг предприятия	Риск	Цена аутсорсинга
1.	I	Риск минимальный	$C_{\text{ср.рын.}} + \Delta$
2.	II	Риск средний	$C_{\text{ср.рын.}}$
3.	III	Риск максимальный	$C_{\text{ср.рын.}} - \Delta$

В заключении следует сказать, что описанная в работе методика выбора аутсорсера является достаточно трудоемкой и, соответственно, дорогостоящей. Исходя из этого предприятию-заказчику, предварительно оценив эту работу, следует определиться с необходимостью проведения предлагаемых проверок потенциальных аутсорсеров по всем рассмотренным этапам. В зависимости от планируемой стоимости закупаемых товаров (услуг) у аутсорсера – $C_{\text{договора}}$ по видимому целесообразно: если $C_{\text{договора}}$ с одним поставщиком меньше определенной суммы (например, 100000 рублей) проводится только квалификация аутсорсера и выбор делается по критерию минимальной цены; если $C_{\text{договора}}$ значительно больше (например, превышает 1 млн рублей) проводится полная комплексная оценка аутсорсера с проведением аудита, включающего выездную проверку на производственную площадку поставщика, по принципу чем больше предполагаемые затраты на аутсорсера, тем более тщательно он должен быть предварительно проверен; если $C_{\text{договора}}$ находится между этими суммами, то проводится квалификация и оценка аутсорсера без проведения выездных проверок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Brown D., Wilson S. The Black Book of Outsourcing: how to manage the changes, challenges and opportunities. New Jersey: Wiley. 2005. 384 p.
2. Cullen S., Lacity M., Willcocks L.P. Outsourcing: All You Need to Know. San Bernardino: White Plume Publishing, 2014. 518 p.
3. Аникин Б.А. Аутсорсинг: создание высокоэффективных и конкурентоспособных организаций. М.: Инфра-М. 2003. 192 с.
4. Бравар Ж.-Л., Морган Р. Эффективный аутсорсинг. Понимание, планирование и использование успешных аутсорсинговых отношений. М.: Баланс Бизнес Букс. 2007. 288 с.

Информация об авторах

Третьякова Виктория Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной логистики факультета «Инженерный бизнес и менеджмент». E-mail: tva@bmstu.ru. Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр.1.

5. Гражданский кодекс Российской Федерации (последняя редакция) [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://www.consultant.ru> (Дата обращения: 04.10.2018).

6. Леденева И. Ю. Нормативно-правовое регулирование отношений аутсорсинга // Молодой ученый. 2013. №1. С. 146-150. URL <https://moluch.ru/archive/48/6115/> (дата обращения: 23.09.2018).

7. Федеральный закон Российской Федерации от 18 июля 2011 г. № 223-ФЗ «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://base.garant.ru/12188083/> (Дата обращения: 12.09.2018).

8. Федеральный закон Российской Федерации от 05 апреля 2013 г. № 44-ФЗ «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://base.garant.ru/70353464/> (Дата обращения: 12.09.2018).

9. Омельченко И.Н., Третьякова В.А. Выбор стратегии управления промышленным предприятием в изменяющихся условиях // Вестник машиностроения. 2010. № 7. С. 81–90.

10. Altman E.I. Financial Ratios. Discriminant Analysis, and the Prediction of Corporate Bankruptcy // Journal of Finance, September 1968. Pp. 589–609.

11. Третьякова В.А., Волкова М.В., Полищук М.И. Обоснование целесообразности организации аутсорсинговой деятельности на предприятии // Известия высших учебных заведений. Серия Экономика, финансы и управление производством. 2017. № 4(34). С. 51–59.

12. Третьякова В.А., Полищук М.И. Оценка целесообразности передачи процесса на аутсорсинг // Наука и бизнес: пути развития. 2018. № 4(82). С. 57–62.

Поступила в октябре 2018 г.

© Третьякова В.А., 2018

^{1,*}Tretiakova V.A.

¹Bauman Moscow State Technical University
Russia, 308012, Belgorod, st. Baumanskaya 2-ya, 5/1
*E-mail: tva@bmstu.ru

DEVELOPMENT OF THE TECHNIQUE OF RANGING ORGANIZATIONS USING A SCORE-RATING EVALUATION SYSTEM FOR THE SELECTION OF THE OUTSOURCER

Abstract. The article proposes a method of ranking and selecting outsourcing organizations for machine-building enterprises using a rating system. This method includes a three-level audit of organizations, including qualifications, peer review and outsourced auditing. At stage of qualification, there is a choice of organizations that are obviously not suitable for some parameters, for example, there are no required licenses or certificates. The expert assessment provides development of indicator system that allows a comprehensive assessment of outsourcing organizations and its financial stability, the qualifications of personnel involved, the production capacity, the quality of products. It also allows to collect the actual values of given indicators to prepare the subsequent choice of a specific outsourcer. The audit is aimed to control important data provided at the previous stage by the outsourcing organizations. It makes possible confirming or identifying inconsistency of the information provided with the real situation. An audit can be conducted using an on-site check of outsourcer, or by requesting the outsourcer for various documentation (technical, financial, reporting, certificates, licenses). Based on the results of such a comprehensive audit, it is proposed to carry out the ranking of the implementing organizations on the basis of a score-rating evaluation system. The highest rank is assigned to organizations that meet all requirements, the next rank is assigned to organizations that partially meet the stated requirements, and, accordingly, the lowest rank is assigned to organizations that practically do not meet the requirements of the company. Taking into account the assigned ranks, the client enterprise can select an outsourcer, assessing the degree of its readiness to take risks.

Keywords: outsourcing, outsourcing organization, method of choosing an outsourcer, outsourcing indicators, outsourcer rating.

REFERENCES

1. Brown D., Wilson S. The Black Book of Outsourcing: how to manage the changes, challenges and opportunities. New Jersey: Wiley, 2005, 384 p.
2. Cullen S., Lacity M., Willcocks L.P. Outsourcing: All You Need to Know. San Bernardino: White Plume Publishing, 2014, 518 p.
3. Anikin B.A. Outsourcing: sozhdanie vysokojefektivnyh i konkurentosposobnyh organizacij. M.: Infra-M, 2003, 192 p.
4. Bravar Zh.-L., Morgan R. Effektivnyy outsourcing. Ponimaniye. planirovaniye i ispolzovaniye uspešnykh outsourcingovykh otnosheniy. M.: Balans Biznes Buks, 2007, 288 p.
5. Grazhdanskiy kodeks Rossiyskoy Federatsii. Available at: <http://www.consultant.ru> (accessed 04.10.2018).
6. Ledeneva I.Yu. Normativno-pravovoye regulirovaniye otnosheniy outsourcinga. Molodoy uchenyy, 2013, no. 1, pp. 146-150. Available at: <https://moluch.ru/archive/48/6115/> (accessed 23.09.2018).
7. Federalnyy zakon Rossiyskoy federatsii ot 18 iyulya 2011 g. № 223-FZ «O zakupkakh tovarov, rabot, uslug otdel'nymi vidami yuridicheskikh lits». Available at: <http://base.garant.ru/12188083/> (accessed 12.09.2018).
8. Federalnyy zakon Rossiyskoy federatsii ot 05 aprelya 2013 g. № 44-FZ «O kontraktnoy sisteme v sfere zakupok tovarov, rabot, uslug dlya obespecheniya gosudarstvennykh i munitsipalnykh nuzhd». Available at: <http://base.garant.ru/70353464/> (accessed 12.09.2018).
9. Omelchenko I.N., Tretiakova V.A. Vybor strategii upravleniya promyshlennym predpriyatiyem v izmenyayushchikhsya usloviyakh. Vestnik mashinostroyeniya, 2010, no. 7, pp. 81–90.
10. Altman E.I. Financial Ratios, Discriminant Analysis, and the Prediction of Corporate Bankruptcy. Journal of Finance, September 1968, pp. 589–609.
11. Tretiakova V.A., Volkova M.V., Polishchuk M.I. Obosnovanie celesoobraznosti organizatsii outsourcingovoy dejatel'nosti na predpriyatii. Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Seriya Jekonomika, finansy i upravlenie proizvodstvom, 2017, no. 4(34), pp. 51–59.
12. Tretiakova V.A., Polishchuk M.I. Otsenka tselesoobraznosti peredachi protsessa na outsourcing. Nauka i biznes: puti razvitiya, 2018, no. № 4(82), pp. 57–62.

Information about the author

Tretiakova, Victoria A. PhD Assistant professor. E-mail: tva@bmstu.ru. Bauman Moscow State Technical University, Russia, 308012, Belgorod, st. Baumanskaya 2-ya, 5/1.

Received in October 2018

Для цитирования:

Третьякова В.А. Разработка методики ранжирования организаций с использованием балльно-рейтинговой системы оценки для выбора аутсорсера // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №12. С. 138–149. DOI: 10.12737/article_5c1c996b55c9d0.02802326

For citation:

Tretiakova V.A. Development of the technique of ranging organizations using a score-rating evaluation system for the selection of the outsourcer. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 12, pp. 138–149. DOI: 10.12737/article_5c1c996b55c9d0.02802326

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

DOI: 10.12737/article_5c1c996e70ab45.72350817

^{1,*}Герасименко О.А., ²Авилова Ж.Н., ¹Семибратский М.В.¹Белгородский государственный национальный исследовательский университет

Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д. 85

²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, 46

*E-mail: gerasimenko@bsu.edu.ru

СИСТЕМА ПРОЕКТНОЙ МОТИВАЦИИ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. Достаточно актуальным направлением формирования эффективной коллективной работы является развитие проектной мотивации в различных отраслях промышленности (строительство, металлургия, машиностроение, транспортная сфера), социальной сферы (здравоохранение, образование, рекреация). Научные результаты в ходе выполнения статьи получены с помощью следующих методов: библиографический, графический, экспертных оценок, информационных технологий. В качестве основного ресурса при разработке и последующей реализации проекта является человеческий потенциал. Правильно подобранные инструменты проектной мотивации определяют успешное завершение проекта. В связи с этим можно сформулировать цель настоящей статьи, она заключается в теоретико-прикладном исследовании системы проектной мотивации (на примере Белгородской области). В деятельности органов власти региона применением главных моментов проектных инициатив исходит от Губернатора Белгородской области. Период исследования проектной мотивации региона представлен авторами в виде определенных этапов, с примерами материальных и нематериальных выплат и указанием основных источников средств финансирования проектных инициатив. В настоящее время используется дифференциальный подход, включающий базовую величину премиального дохода трудозатрат каждого специалиста и применения к ним определенных поправочных коэффициентов. Результаты работы представлены схемой осуществления премиальных выплат (органы власти региона, экспертные комиссии, Департамент кадровой и внутренней политики, межведомственная комиссия, проектный фонд), а также общей схемой проектной мотивации Белгородской области (прямая зависимость между материальным вознаграждением и эффективностью работы чиновников). Показана ранговая система проектного менеджмента региона в следующих рангах – проектный специалист, проектный менеджер, соответствующая «ступеням лестницы» в области проектного управления.

Ключевые слова: проект, проектная мотивация, регион, проектное управление, материальное стимулирование.

Введение. Материальное стимулирование участников проектов является одним из наиболее важных и одновременно сложных вопросов при внедрении проектного управления в органах исполнительной власти области.

Сложность вопроса обуславливается регулированием оплаты труда государственных гражданских служащих федеральным законодательством, а также поиском оптимального механизма формирования и распределения премиальных выплат.

Методология. В основу исследования проблематики проектного управления положены классические труды ученых по смежному спектру проблем, дополнением являются классические труды отечественных и зарубежных классиков в области процесса и критерием проектного управления регионов.

Авторами при написании статьи использовались такие методы, как: диалектический (исследование процессов и явлений во взаимосвязи и развитии), структурно-функционального, ситуационного, компаративного, экономико-статистического анализа, графическое и табличное картирование экономико-фактологических данных.

Основная часть. С 2011 года в регионе осуществляется материальное стимулирование всех участников проектной деятельности. Начиная с этого времени, система материальной стимуляции существенно изменила свои ориентиры (таблица 1) [1, 2].

На первом этапе формирования системы проектной мотивации источником средств премирования за успешную реализацию проекта являлись средства, сформированные за счет экономики фонда оплаты труда, что не в полной мере

решало задачу ввиду особенностей и характера данных средств.

С целью организации проектного ресурса в пределах фонда заработной платы для работников различных уровней органов власти области в 2012 году принято решение внести изменения в закон области «Об особенностях государственной гражданской службы Белгородской области», предусмотрев в рамках вознаграждения при

завершение особо сложных задач ассигнований, направленные на премирование за участие в проектах. Также предусмотрены критерии осуществления премиальных выплат, определен алгоритм баланса и движения финансовых средств и утверждение принятых решений, определена формула и очередность при расчете вознаграждения каждому участнику проектной деятельности [3].

Таблица 1

Этапы развития проектной мотивации Белгородской области

№п/п	Год	Источник средств	Период выплат
1 этап	2011	Экономия ФОТ	Разово, при закрытии проекта
2 этап	2012	Поэтапное повышение заработной платы	Разово, при закрытии проекта
3 этап	2013	Премиальный фонд	- разово, при закрытии проекта; - ежеквартально при выполнении мероприятий без отклонений
4 этап	2014–2018	Премиальный фонд	- разово, при закрытии проекта; - ежеквартально при выполнении мероприятий без отклонений; - мотивация за инициативность органов власти области в открытии новых проектов; - стимулирование материального порядка за завершение процессов за выполнение процессов в ходе реализации проектов

Система проектной мотивации региона учреждений исполнительной власти включает в себя как материальное вознаграждение за выполнение работ в проекте (ежеквартально), так и по результатам финальной реализации деятельности (разово, основная выплата).

Кроме того, в целях повышения заинтересованности в открытии новых проектов применяется материальное стимулирование в фиксированном объеме за начинания (инициацию) проектов, осуществляемое только в случае перехода проекта в следующую стадию – реализации.

Только при наличии в отчетном периоде присвоенных за участником видов работ осуществляется финансовое премирование в проекте и выполнении их без отклонений; применяется как стимулирующая выплата.

Основное премирование реализуется исключительно после успешной реализации проекта и при его завершении. По основным результатам работы и реализации проекта в расчете величины премиальных расходов используется дифференцированный подход. Основой данного подхода является то, что определение размера премиальных расходов для успешных участников проекта включает базовую величину премиального дохода (составляет 1500 рублей за один день участия в проекте сверх однодневного заработка), трудозатрат каждого специалиста и применения к ним поправочных коэффициентов по следующей формуле [4, 5]:

$$РП = БРП \times Кс \times Кэ \times Ку \times Т \times Кру \times Кквр,$$

где РП – размер премиальной выплаты участнику проекта, руб.; БРП – базовый размер премиальной выплаты участнику проектов, руб.; Кс – коэффициент сложности проекта; Кэ – коэффициент эффективности проекта; Ку – коэффициент успешности реализации проекта; Т – трудозатраты проектного специалиста в проекте, дней; Кру – коэффициент ролевого участия; Кквр – коэффициент качества выполнения работ в проекте.

Вклад каждого эффективного участника проекта оценивается с учетом повышающих либо понижающих коэффициентов, при этом дополнительно учитываются успешность в его реализации, сложность и социально-экономические эффекты для региона.

Так, к примеру, при определении коэффициента сложности реализации проекта следует исходить из уровня сложности (начальный, средний, выше среднего, высокий и т.д.), который, в свою очередь, определяется исходя из утвержденных критериев (территория реализации проекта, тиражирование результатов, объем финансирования и др.). Коэффициент эффективности реализации проекта означает итоговый статус, присваиваемый проекту по факту реализации. Практика рассматриваемого региона предполагает присваивать проектам следующий статус по итогам реализации: реализован успешно без от-

клонений; реализован с незначительными отклонениями; реализован со значительными отклонениями; не реализован. Безусловно, если проект не реализован, мотивационная составляющая в проекте автоматически исключается. Если проект реализован без отклонений, то значение коэффициента составляет 1. В иных описанных выше случаях, данное значение коэффициента уменьшается. Кроме того, практики проектного менеджмента доказывают, что мотивационный фонд коррелирует с ролевой проектной структурой. Естественно, что наибольшая нагрузка в части ответственности за достижение цели лежит на кураторе и руководителе проекта. Зачастую к данным ролям применяется повышенный коэффициент (Кру). Что касается объема трудозатрат, то нормативный документ ограничивает максимальный уровень дней, которые специалист может потратить на реализацию проекта. Так, для руководящих ролей (куратор, руководитель, ответственный за блок работ), его максимальное

значение меньше, чем для исполнителей проектных работ.

Ответственным органом исполнительной власти региона критерием и размером премиальных выплат участникам реализации проекта определен департамент внутренней и кадровой политики области. Рассчитанные размеры премиального вклада исследуются на межведомственной региональной комиссии проектного менеджмента, в структуру которых включены председатели экспертных комиссий проектного управления, рассмотрению проектов, на которых приняты решения о закрытии соответствующих проектов [6].

Решение межведомственной комиссии оформляется распоряжением Правительства области о закрытии проектов и выделении из проектного мотивационного фонда денежных средств на мотивацию участников проектов (рисунок 1) [7].



Рис. 1. Схема осуществления премиальных выплат по итогам реализации проекта

К настоящему времени вопрос материального стимулирования участников проектов в органах исполнительной власти области решен системно (рисунок 2) [8].

Измеримость результата каждого проекта позволила выстроить корреляционно прямую зависимость между такими показателями как, материальное вознаграждение/выплаты и эффективностью работы госслужащих. В ближайшей перспективе планируется разработать и внедрить премирование в ходе работы над проектом за реализацию бизнес-процессов/сервисов.

Материальное стимулирование проектной деятельности сочетает элементы и нематериального, ключевым частью которого является присвоение рангов служащим в области проектного управления. Ранжирование служащих осуществляется в рамках оценки компетенций в области проектного управления.

При присвоении рангов в эффективно завершенных проектах, а также в зависимости от роли участника проекта и его сложности, предусматривается присвоение определенного ранга в системе проектного менеджмента [9, 10].



Рис. 2. Общая схема проектной мотивации Белгородской области

Ранговая система проектного управления имеет следующий вид: члены рабочих групп при завершении проекта получают ранг – «проектный специалист», руководители проекта – «проектный менеджер». Система проектного управления в регионе имеет 8 ступеней по развитию специалистов. Передвижение специалистов в области проектного управления по «ступеням лестницы» совпадает с ростом уровня их профессиональных компетенций.

Выводы. Ранг в области проектного управления служит основанием допуска проектного специалиста к участию в проекте с уровнем сложности, соответствующим знаниям и умениям проектного специалиста. Присвоенный работнику ранг также влияет на размер мотивации по проектной деятельности, что в свою очередь стимулирует работников к развитию своих компетенций и участию в проекте.

Кроме того, существующий порядок планирования рабочего порядка по присвоению классов чинов государственным служащим Белгородской области предполагает при оценке профессиональных и личностных качеств гражданского служащего включать сведения об имеющемся ранге в области проектного управления [11].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Дмитриев А.В. Методика внедрения проектного подхода в управлении социальным развитием российских регионов // Науковедение. 2013. №1 (14). С. 25.
2. Докашенко Л.В. Особенности системы материальной мотивации персонала проектной

деятельности // Молодой ученый. 2017. №58(186). С. 78–81.

3. Золочевская Е.Ю. Функциональная характеристика российской системы управления государственными проектами // Вопросы управления. 2014. №6(31). С. 148.

4. Кашуба О. Мотивация проектной команды [Электронный ресурс] / О. Кашуба. – Режим доступа: <http://hr-portal.ru/article/motivaciya-proektnoy-komandy> - (дата обращения 30.06.2017).

5. Кожевников С.А. Проектное управление как инструмент повышения эффективности деятельности органов государственной исполнительной власти // Вопросы территориального развития. 2016. №5(35). С. 1–17.

6. Лукьянов И.А. Метод проектного управления в подготовке кадров (на примере Белгородской области и Санкт-Петербурга) // Актуальные вопросы экономических наук и современного менеджмента: сб. ст. по матер. VI междунар. науч.-практ. конф. № 1(4). Новосибирск: СибАК, 2018. С. 42–50.

7. Маковкина С.А. Мотивация проектных команд // Экономика. Государство. Общество. 2017. №2 (29). С. 626–631.

8. Раменская Л.А. Особенности проектного управления в органах государственной власти на региональном уровне // Фундаментальные исследования. 2018. №1. С. 111–115.

9. Савченко Е.С. Белгородская область: проектное управление для муниципальных инициатив // Самоуправление. 2012. №2. С. 6–7.

10. Хусаинова О.Е. Мотивация работников во время проектных работ // Научный форум: Экономика и менеджмент: сб. ст. по материалам

XI международной науч.-практ. конференции. 2017. №9. С. 54–60.

11. Дорошенко Ю.А., Никулина Т.Ю. Особенности создания регионального венчурного

фонда посевных инвестиций на условиях государственно-частного партнерства // Белгородский экономический вестник. 2012. № 3 (67). С. 3–7.

Информация об авторах

Герасименко Ольга Александровна, кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента и маркетинга. E-mail: gerasimenko@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.

Семибратский Максим Викторович, кандидат экономических наук, заместитель директора Высшей школы управления. E-mail: semibratskiy@bsu.edu.ru. Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д. 85.

Поступила в сентябре 2018 г.

© Герасименко О.А., Авилова Ж.Н., Семибратский М.В., 2018

^{1,*}**Gerasimenko O.A.**, ²**Avilova Zh.N.**, ¹**Semibratsky M.V.**

¹*Belgorod National Research University
Russia, 308015, Belgorod, Pobeda st., 85*

²*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46*

**E-mail: gerasimenko@bsu.edu.ru*

PROJECT MOTIVATION SYSTEM: THEORY AND PRACTICE OF THE BELGOROD REGION

Abstract. *The development of project motivation in various industries (construction, metallurgy, engineering, transport) and in social sphere (health, education, recreation) is an important direction for the formation of effective collective work. In the course of the article, scientific results are obtained using the following methods: bibliographic, graphic, expert assessments, information technologies. Human potential is the main resource in the development and subsequent implementation of the project. Properly selected tools of project motivation determine the successful completion of the project. The article's purpose is a theoretical and applied study of the project motivation system (on the example of the Belgorod region. In the activities of the regional authorities, the Governor of the Belgorod Region applies major project initiative. Authors presented the period of study the region's project motivation in certain stages, with examples of material and intangible payments and indication of the main sources of funding for project initiatives. Currently, a differential approach is used. It includes the basic value of the premium income of labor costs of each specialist and the application of certain correction factors. The results of the work are represented by the bonus payment scheme (government of the region, the expert Commission, Department of personnel and internal policy, the interagency Commission project Fund) and the general scheme of the project motivation in the Belgorod region (a direct correlation between financial reward and performance of officials). The ranking system of project management in the region is presented by the following ranks - project specialist, project manager, corresponding to the "steps of the ladder" in the field of project management.*

Keywords: *project, project motivation, region, project management, material stimulation.*

REFERENCES

1. Dmitriev A.V. Method of implementation of project approach in the management of social development of Russian regions, 2013, no. 1 (14), p. 25.
2. Dokashenko L.V. Features of the system of material motivation of personnel of project activity. Young scientist, 2017, no. 58 (186), p. 78–81.
3. Zolochiv E.Y. Functional characterization of the Russian system of management of public projects management, 2014, no. 6 (31), p. 148.
4. Kashuba O. Motivation of the project team [Electronic resource]. Access mode: <http://hr-portal.ru/article/motivaciya-proektnoy-komandy> - (date of application 30.06.2017).
5. Kozhevnikov S.A. Project management as the tool of increase of efficiency of activity of bodies

of state Executive power. Issues of territorial development, 2016, no. 5 (35), pp. 1–17.

6. Lukyanov I. the method of project management in training (on the example of the Belgorod region and St. Petersburg). Actual questions of economic Sciences and modern management: sat. VI international. scientific.- prakt. Conf. no. 1 (4). Novosibirsk: Sibak, 2018, pp. 42–50.

7. Makovkina S.A. Motivation of project teams. Economics. State. Society, 2017, no. 2 (29), p. 626–631.

8. Ramenskaya L.A. Peculiarities of project management in public authorities at the regional

level. Fundamental research, 2018, no. 1, pp. 111–115.

9. Savchenko E.S. Belgorod region: project management for municipal initiatives. Self-management, 2012, no. 2, pp. 6–7.

10. Khusainova O.E. Motivating employees during project work. Scientific forum: Economics and management: collection of articles on materials of XI international scientific. prakt. Conferences, 2017, no. 9, pp. 54–60.

11. Doroshenko Y.A., Nikulina T.Y. Peculiarities of creating a regional venture Fund for seed investments on public-private partnership. Vestnik Belgorod economic, 2012, no. 3 (67), pp. 3–7.

Information about the authors

Gerasimenko, Olga A. PhD, Assistant professor. E-mail: gerasimenko@bsu.edu.ru. Belgorod National Research University. Russia, 308015, Belgorod, Pobeda st., 85.

Avilova, Zhanna N. PhD, Assistant professor. E-mail: janna-avilova@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Semibratsky, Maksim V. PhD. E-mail: semibratskiy@bsu.edu.ru. Belgorod National Research University. Russia, 308015, Belgorod, Pobeda st., 85.

Received in September 2018

Для цитирования:

Герасименко О.А., Авилова Ж.Н., Семибратский М.В. Система проектной мотивации: теория и практика Белгородской области // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №12 С. 150–155. DOI: 10.12737/article_5c1c996e70ab45.72350817

For citation:

Gerasimenko O.A., Avilova Zh.N., Semibratsky M.V. Project motivation system: theory and practice of the Belgorod region. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 12, pp. 150–155. DOI: 10.12737/article_5c1c996e70ab45.72350817

DOI: 10.12737/article_5c1c996f63d985.60139085

¹, *Балабанова Г.Г.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

*E-mail: gulnara.balabanova@yandex.ru, balabanova.gg@bstu.ru

ПРИЧИНЫ НИЗКОЙ ИННОВАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. *Инновационную экономику отличает постоянное совершенствование производства посредством внедрения технологических (процессных и продуктовых), организационных и маркетинговых новаций, позволяющих создавать и продвигать как на внутреннем, так и мировом рынках продукт с высокой степенью конкурентоспособности. В данной статье рассматриваются особенности инновационного развития предприятий промышленности строительных материалов. Дается краткий обзор российского рынка строительных материалов. Представлена классификация российских предприятий инновационного типа по уровню технологичности, на основании которой предприятия данной отрасли относят к группе среднетехнологичных предприятий низкого уровня. Низкий уровень инновационной активности обусловлен спецификой отрасли: генерируемые инновации имеют внутриотраслевое применение. В силу этого, инновационная деятельность ориентирована преимущественно на процессные новации, тогда как в отраслях, относящихся к высокотехнологичным или среднетехнологичным высокого уровня, упор делается на продуктовых инновациях. На основании анализа статистических данных о состоянии инновационного потенциала промышленности строительных материалов определены факторы, препятствующие росту инновационной активности. Отмечено положительное влияние инноваций на экономические показатели не только предприятий отрасли, но и государства в целом. Выявлена взаимосвязь между уровнем инновационной активности и ростом производительности труда на примере различных стран. Зависимость между уровнем инновационной активности и государственным финансированием научных исследований и проектирования позволяет сделать вывод о том, что государственная поддержка является стимулом разработки и внедрения продуктовых инноваций, являющихся гарантом роста конкурентоспособности предприятий, производящих строительные материалы.*

Ключевые слова: *промышленность строительных материалов, инновации, уровень инновационной активности, инновационно-активные предприятия, производительность труда.*

Введение. Одной из отличительных черт экономики второго десятилетия XXI века является появление новой формы дохода – интеллектуальной ренты [1], присваиваемой собственниками интеллектуальных ресурсов. Таковыми выступают инновационные предприятия (следует отметить, что это еще одна отличительная черта современной экономики), которые отличает способность трансформировать «потенциальные возможности научно-технического прогресса в реальные научные разработки, технологии, продукты» [2], отвечающие новым стандартам жизни или формирующие новые потребности. Следствием чего является не только рост жизнеспособности и конкурентоспособности предприятия, но и повышению доходов «всех его участников» [3].

Проблемы жизнеспособности и роста конкурентоспособности особо актуальны для промышленности строительных материалов, поскольку, во-первых, не вся товарная линейка, предлагаемая иностранными конкурентами, производится отечественными предприятиями, имеет место ко-

личественное и качественное отставание по многим товарным группам. Во-вторых, многие предприятия отрасли до сих пор не могут оправиться от кризисного падения. Так, в 2017 г. рост отраслевого производства составил всего лишь 2,5 % [4] (в 2015 г. падение производства составило 7,8 %, а в 2016 г. – 7,5 % [4]), инвестиции в производство по сравнению с 2016 г. выросли на 0,9 % (но по сравнению с 2013 г. сократились более чем в три раза: с 183 млрд. руб. до 50,8 млрд. руб. [4, 5]). Особенно в тяжелом положении оказался рынок керамического кирпича, поскольку он представлен предприятиями с небольшими мощностями (50 млн. штук условного кирпича), построенными или модернизированными с использованием заемных средств. Совокупный уровень инновационной активности предприятий промышленности строительных материалов вырос за период с 2014 г. по 2016 г. с 9,3 % до 9,7 % [6]. В-третьих, научно-технический прогресс в отрасли основывается на импортных технологиях и оборудовании, в то время, когда отечественные разработки в большей части не востребованы.

Методика. Предприятие относится к инновационному типу, если за определенный период времени имело место успешное новационное внедрение [7]. Анализ литературных источников [8, 9] указывает на отсутствие универсального признака классификации инновационных предприятий. Методологической основой классификации служат такие признаки, как уровень специализации, уровень технологичности, тип генерируемых инноваций, степень риска, количество стадий жизненного цикла новшества (инновации), над которыми работает предприятие и т.п.

В данной работе используем такой признак, как уровень технологичности, согласно которому

инновационные предприятия делят на три группы:

- высокотехнологичные;
- среднетехнологичные, в свою очередь подразделяющиеся на два уровня: среднетехнологичные высокого уровня и среднетехнологичные низкого уровня;
- низкотехнологичные.

Согласно классификации Организация экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), принятой в 2009 г., основным критерием отнесения предприятий к одной из трех вышеобозначенных групп признана доля расходов на НИОКР по отношению к ВВП (табл. 1).

Таблица 1

Классификация предприятий по уровню технологичности по ОЭСР

Показатель	Предприятия			
	высокотехнологичные	среднетехнологичные		низкотехнологичные
		высокого уровня	низкого уровня	
Доля расходов на НИОКР к ВВП, %	более 7 (8)	от 2,5 до 7 (8)	от 0,5 (1) до 2,5	менее 0,5 (1)

Согласно методике, утвержденной Росстатом [10], критерием отнесения предприятия к одной из групп по степени технологичности явля-

ется величина затрат на НИОКР к валовой добавленной стоимости. Перечень предприятий по степени технологичности приведен в табл. 2.

Таблица 2

Перечень российских предприятий по степени технологичности [4, 11]

Степень технологичности	Наименование производств
Высокотехнологичные	<ul style="list-style-type: none"> - производство фармацевтической продукции; - производство офисного оборудования и вычислительной техники; - производство электронных компонентов, аппаратуры для радио, телевидения, связи; - производство медицинских изделий; - производство средств измерений, контроля, управления и испытаний; оптических приборов, фото- и кинооборудования; часов; - производство летательных аппаратов, включая космические.
Среднетехнологичные высокого уровня	<ul style="list-style-type: none"> - химическое производство; - производство машин и оборудования; - производство электрических машин и электрооборудования; - производство автомобилей, прицепов и полуприцепов; - производство прочих транспортных средств.
Среднетехнологичные низкого уровня	<ul style="list-style-type: none"> - производство кокса и нефтепродуктов; - производство резиновых и пластмассовых изделий; - производство прочих неметаллических минеральных продуктов; - металлургическое производство; - производство готовых металлических изделий; - строительство и ремонт судов.
Низкотехнологичные	<ul style="list-style-type: none"> - производство пищевых продуктов, включая напитки; - производство табачных изделий; - текстильное производство, производство одежды; выделка и крашение меха; - производство кожи, изделий из кожи и производство обуви; - обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, кроме мебели; - производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона и изделий из них; - издательская и полиграфическая деятельность, тиражирование записанных носителей информации; - производство мебели и прочей продукции, не включенной в другие группировки; - обработка вторичного сырья.

Согласно методике Центра инновационной экономики института экономики РАН (ЦЭИ РАН) критериями принадлежности предприятия к одной из вышеобозначенных групп являются следующие показатели инновационной активности:

- совокупный уровень инновационной активности;
- доля затрат на научные исследования, в том числе из собственных средств предприятия и из средств федерального бюджета;
- удельный вес работников, выполняющих исследования и разработки;
- доля наукоемкой продукции в ВВП;
- доля новых товаров для рынка в общем объеме отгруженной продукции;
- удельный вес организаций, участвовавших в совместных проектах;
- доля инновационных товаров в общем объеме отгруженной продукции;
- доля инновационных товаров в экспорте.

Согласно методике, разработанной Федеральной службой государственной статистики, к инновационно-активному типу относят предприятия, которые в течение трех лет предлагали новую или модифицированную, усовершенствованную продукцию.

Основная часть. Предприятия промышленности строительных материалов (табл. 2 – производство прочих неметаллических минеральных продуктов) относятся к группе среднетехнологичных предприятий низкого уровня по уровню интенсивности затрат на НИОКР и научно-технические разработки – менее 2,5 %.

Как свидетельствуют данные, приведенные в табл. 3, предприятия строительных материалов имеют низкий уровень инновационной активности – более 9 % (в целом уровень инновационной активности по группе среднетехнологичных предприятия низкого уровня в 2014 г. составил 12,6 %, в 2015 г. – 12,2 %, в 2016 г. – 12,3 % [6]).

О низкой инновационной активности так же можно судить по наличию собственных патентов. Так, к 2016 г. насчитывалось 168 единиц патентов [6] (это составляет 5,7 % от суммы патентов предприятий, входящих в группу среднетехнологичных низкого уровня). Как свидетельствуют данные, приведенные в табл. 3, около 10 % предприятий имеют действующие патенты, большая часть предприятий предпочитает приобретать патенты за рубежом. Если в 2015 г. патенты за рубежом приобрели 50 % предприятий, то в 2016 г. их число выросло 55,6 % [6]. К тому же столь низкая доля нематериальных активов указывает на то, что предприятия отказываются от части интеллектуальной ренты, образующейся от продажи патентов.

Однако, как свидетельствуют данные, приведенные в табл. 3, в посткризисный период наблюдался незначительный рост уровня инновационной активности предприятий промышленности строительных материалов. Так, например, количество инновационно-активных предприятий в отрасли составило около 12 % (если учесть, что доля предприятий, производящих строительные материалы, в общем объеме обрабатывающего сектора составляет 2,6 % [12]), из них только 40 % самостоятельно вели разработки. В результате их научных изысканий, во-первых, на внутреннем рынке появилась модифицированная (или так называемая вновь внедренная) российская продукция по ряду показателей (энергоэффективность, экологичность) во многом превосходящая импортные аналоги.

Во-вторых, количество новых инновационных товаров, не имеющих мировых аналоги, увеличилось с 0,001 % до 0,002 % (что очень весомо, поскольку российские строительные материалы занимают 2 % от объема мирового рынка строительных материалов).

В-третьих, имели место рост производительности труда, экономия ресурсов. Все это, в конечном итоге, позволило предприятиям отрасли усилить свою конкурентоспособность. Об этом свидетельствует сокращение доли ввозимой продукции в общем объеме потребления и рост доли вывозимой продукции в общем объеме производства (табл. 3). Так, за период с 2012 г. по 2017 г. доля ввозимой продукции снизилась с 5,6 % до 2,6 % [13], что является, не только следствием снижения курса рубля, но и появлением новой или модернизированной продукции, превосходящей по ряду параметров импортные аналоги. Доля вывозимых стройматериалов за указанный период выросла с 3,8 % до 14 % [13], среди которой на инновационную продукцию приходилось около 10 % экспорта (табл. 3).

Низкий уровень инновационной активности предприятий строительных материалов объясняется спецификой отрасли: генерируемые инновации имеют внутриотраслевое применение. В силу этого инновационная деятельность в основном сосредоточена на технологических инновациях, что подтверждается данными, приведенными в табл. 3. Например, в 2016 г. затраты на технологические новации составили 89,94 % от величины общих затрат на инновации.

Как известно, технологические инновации делятся на продуктовые и процессные. Как свидетельствуют данные, приведенные в табл. 3, предприятия отрасли делают упор на процессные инновации. Например, в 2015 г. на их долю приходилось 88,2 %, а в 2016 г. – 54,8 %. Для сравне-

ния - в отраслях, относящихся к высокотехнологичным или среднетехнологичным высокому уровню, упор делается на продуктовых инновациях (например, в 2015 г. соотношение между продуктовыми и процессными инновациями составляло 64,1 % и 34,9 % соответственно). Причина сложившейся ситуации кроется в том, что выход на внешние рынки и рост конкурентоспособности является стимулом для внедрения продуктовых инноваций, а процессных и организационных – снижение издержек. Внешний рынок не доступен для большей части предприятий

строительных материалов. Выйти на мировой уровень смогли только такие крупные компании-производители цемента (или предприятия, входящие в группы), как «ЕВРОЦЕМЕНТ груп», «Газметалпроект» и «Сибирский цемент», международные цементные корпорации LafargeHolcim, HeidelbergCement, Dyckerhoff. Для подавляющего большинства производителей строительных материалов главная же цель – это снижение издержек. А это позволяют сделать процессные инновации.

Таблица 3

**Показатели инновационной активности предприятий
промышленности строительных материалов**
(составлена автором по [5, 6, 11])

Показатели	Год		
	2014	2015	2016
Уровень инновационной активности, %	9,3	9,3	9,7
Удельный вес организаций, осуществляющих инновации:			
технологические, %	7,9	7,9	8,0
маркетинговые, %	1,6	2,0	1,6
организационные, %	2,1	2,3	2,0
Доля инновационных товаров, в общем объеме отгруженных, %	4,9	4,0	4,0
в том числе:			
новые, %	3,4	2,5	0,8
усовершенствованные, подвергшиеся изменению, %	1,5	1,5	3,2
Доля инновационных товаров новых для мирового рынка, %	0,001	0,002	-
Доля затрат на инновации, %	1,4	2,6	1,2
в том числе:			
технологические (продуктовые/процессные), %	99,3 (72,5/26,2)	99,3 (11,1/88,2)	89,9 (35,1/54,8)
маркетинговые, %	0,2	0,3	0,6
организационные, %	0,4	0,4	9,5
Источники финансирования затрат, в том числе:			
из собственных средств предприятия, %	85,1	43,4	57,0
из средств Федерального бюджета, %	0,02	0,0	12,5
из фондов поддержки научной и инновационной деятельности, %	0,0	0,0	0,0
иностранные инвестиции, %	0,5	0,2	3,6
Удельный вес организаций, имеющих научно-исследовательские и проектно-конструкторские подразделения, %	28,2	22,5	19,8
Удельный вес организаций, в том числе:			
разрабатывающих инновации собственными силами, %	37,2	35,0	40,0
участвующих в совместных проектах, %	31,7	30,0	26,9
закупивших разработки у других фирм, %	25,6	26,9	24,1
модифицирующих продукт, разработанный другими, %	9,8	8,8	9,0
Удельный вес организаций, работающих по государственным или муниципальным контрактам, %	0,0	0,0	0,1
Удельный вес работников, выполняющих исследования и разработки в общей численности занятых на предприятии, %	1,1	1,1	2,9
Удельный вес организаций, имеющих действующие патенты, %	13,9	10,7	8,8
в том числе, полученные в отчетном году, %	5,6	3,9	3,9
Доля инновационных товаров в экспорте, %	9,9	10,0	8,0

Ориентация на процессные инновации спровоцировала патентную пассивность в отрасли. Если для предприятий, относящихся к группе высокотехнологичных или среднетехнологичных высокого уровня, наличие собственных эксклюзивных разработок, как было отмечено выше, является условием роста жизнеспособности и конкурентоспособности, то для предприятий среднетехнологичных низкого уровня и низкотехно-

логических «достаточно поддерживать инновационную деятельность всего лишь на уровне, позволяющем находиться в общем технологическом тренде своей отрасли» [14].

Низкий уровень инновационной активности (наряду с устаревшими производственными мощностями, низким уровнем креативности производственного персонала и т.п.) указывает и на невысокий уровень производительности труда в анализируемой отрасли (табл. 4).

Таблица 4

**Показатели инновационной активности и производительности труда
в промышленности строительных материалов**
(составлена автором по [6, 13])

Показатели	Год		
	2014	2015	2016
Уровень инновационной активности, %	9,3	9,3	9,7
Производительность труда (выработка продукции на одного работника в стоимостном выражении к предыдущему году), %	7,2	-15,8	4,3

Наличие вышеуказанной зависимости подтверждается страновым сравнением этих двух показателей (табл. 5). Так, в рейтинге стран [15, 16] по показателям ВВП по ППС на один отработанный час, на одного занятого, на душу населения в 2016 г. в России низкий уровень производительности труда (25,4 тыс. долл., 50,2 тыс. долл., 24,9 тыс. долл. соответственно [17]) корреспондировался с самым низким уровнем инновационной активности (8,4 %). В Люксембурге, где

вышеперечисленные показатели производительности труда одни из самых высоких (93,7 тыс. долл., 142,4 тыс. долл., 66,1 тыс. долл. соответственно), они соответствовали и одному из самых высоких уровней индекса инновационной активности – 65,1 %, в остальных странах инновационная активность в 2016 г. колебалась от 40 % до 60 % [15, 16].

Таблица 5

**Индекс инновационной активности и показатели производительности труда
по странам в 2016 г.**
(составлена и рассчитана автором по [5, 6, 15, 16])

Страна	Индекс инновационной активности, %	Показатели производительности труда		
		ВВП на душу населения, тыс. долл.	ВВП на 1 отработанный час, тыс. долл.	ВВП на 1 занятого, тыс. долл.
Россия	8,4	24,9	50,2	25,4
Люксембург	65,1	102,0	142,4	93,7
Австралия	66,3	48,2	97,3	56,2
Германия	67,0	48,9	92,4	68,0
Норвегия	57,6	58,8	111,4	77,9
Финляндия	55,3	43,4	94,9	58,1
Франция	56,4	41,4	100,1	66,7
Япония	44,9	42,3	80,3	46,9

К факторам, препятствующим росту инновационной активности (и как следствие – производительности труда) предприятий промышленности строительных материалов так же можно отнести следующее.

Во-первых, это долгий путь от научных разработок и проектно-конструкторских работ до серийного производства, т.е. отсутствие системной интеграции между научными подразделени-

ями, предприятиями, производящими эти материалы, и строительными организациями. В силу этого большинство «...новых эффективных технологических решений, как правило, остается на стадии опытных образцов и макетов» [12].

Во-вторых, высокий физический и моральный износ оборудования. В 2016 г. приобрели импортное оборудование 57,8 % предприятий [6]. Это объясняется отсутствием российских аналогов.

В-третьих, это отсутствие подразделений, высококвалифицированных кадров, целенаправленно занимающихся инновационными исследованиями и их дальнейшими продвижениями.

В-четвертых, инновационная деятельность ведется преимущественно за счет собственных средств организаций. Это подтверждается данными, приведенными в табл. 3. Только в 2016 г. в структуру расходов государственного бюджета была введена статья на поддержку инновационных изысканий в отрасли.

В-пятых, отсутствие достаточных организационных новаций. Имеются в виду новые организационные методы в деловой практике фирмы, в организации рабочих мест, расширение доступа к нетоварным активам, внедрение новых практик при обучении сотрудников (организация баз данных о передовых методах деятельности, подбор учебного материала и другой информации); применение методов повышения квалификации работников и снижения текучести кадров; облегчение циркуляции знаний внутри фирмы (внедрение кодификации знаний); внедрение новых систем управления главными производственными процессами или снабженческими операциями, таких как организация снабженческих цепочек, оперативная перестройка бизнеса, маневрирование объемом производства и управление качеством; децентрализация, предполагающая применение организационной модели, предоставляющей сотрудникам фирмы большую автономию в принятии решений и поощряющую их к участию в выдвижении новых идей; новые способы организации отношений с другими предприятиями, государственными органами, исследовательскими организациями, покупателями [17].

Вывод. В силу вышеизложенного предприятия отрасли лишаются возможности создания прорывных разработок и вынуждены использовать чужие технологии. Чтобы изменить сложившуюся ситуацию, как свидетельствует опыт ведущих инновационно-активных компаний, необходима государственная поддержка предприятий, как один из стимулов разработки и внедрения продуктовых инноваций, что только позволит российским предприятиям увеличить свою долю как на внутреннем, так и внешнем рынке строительных материалов, даст толчок к развитию смежных отраслей.

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Скоблякова И.В., Титов Л.Ю. Подходы к оценке интеллектуальной ренты // Аудит и финансовый анализ. 2010. № 2. С. 4
2. Семина Л.А. Концептуальные подходы к трактовке категории «инновация» [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptualnye-podhody-k-traktovke-kategorii-innovatsiya> (дата обращения 2.05.2018).
3. Асаул А.Н. Модернизация экономики на основе технологических инноваций [Электронный ресурс]. URL: https://www.spbgasu.ru/documents/docs_183.pdf (дата обращения 26.08.2018).
4. Обзор затрат на строительство и строительные материалы в России [Электронный ресурс]. URL: <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/ru/pdf/2017/01/ru-ru-building-materials-costs.pdf> (дата обращения 30.08.2018).
5. Россия в цифрах. 2018: Крат. стат. сб. М.: Росстат, 2018. 522 с.
6. Индикаторы инновационной деятельности: 2018 статистический сборник. М.: НИУ ВШЭ, 2018. 344 с.
7. Oslo Manual. Guidelines for collecting and interpreting innovation data [Электронный ресурс]. URL: https://www.hse.ru/data/2011/09/05/1267119067/oslo_ru.pdf (дата обращения 30.08.2018).
8. Базилевич А.И. Инновационный менеджмент предприятия. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2009. 231 с.
9. Фатхутдинов Р.А. Инновационный менеджмент. СПб.: Питер. 2003. 400 с.
10. Методика расчета показателей «Доля продукции высокотехнологичных и наукоемких отраслей в валовом внутреннем продукте» и «Доля продукции высокотехнологичных и наукоемких отраслей в валовом региональном продукте субъекта Российской Федерации»; утверждена приказом Росстата от 15.12.2017 г. N 832 [Электронный ресурс]. URL: (дата обращения 31.08.2018)
11. Индикаторы инновационной деятельности: 2017 статистический сборник. М.: НИУ ВШЭ. 2017. 328 с.
12. О текущей ситуации и планах развития промышленности строительных материалов [Электронный ресурс]. URL: http://kemdep.ru/images/doc/Deytlnoct/Gospod/building_industry.pdf (дата обращения 09.09.2018).
13. Приложение к Стратегии развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года [Электронный ресурс]. URL: <http://www.napran.ru/upload/kontent/pdf/Цели%20стратегии.pdf> (дата обращения 09.09.2018).
14. Голова И.М., Суховой А.Ф. Инновационно-технологическое развитие промышленных регионов в условиях социально-экономической

нестабильности [Электронный ресурс]. URL: <http://www.uiec.ru/content/files/12iGolova.pdf> (дата обращения 10.09.2018).

15. GDP per capita [Электронный ресурс]. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP> (дата обращения 09.09.2018).

16. Level of GDP per capita and productivity [Электронный ресурс]. URL:

http://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=PDB_LV# (дата обращения 09.09.2018).

17. Чижова Е.Н., Балабанова Г.Г. Производительность труда как критерий уровня развития предприятий промышленности строительных материалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 6. С. 172–177.

Информация об авторах

Балабанова Гульнара Гусейновна, доцент кафедры теории и методологии науки. E-mail: gulnara.balabanova@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в сентябре 2018 г.

© Балабанова Г.Г., 2018

^{1,*}*Balabanova G.G.*

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

^{*}*E-mail: gulnara.balabanova@yandex.ru, balabanova.gg@bstu.ru*

CAUSES OF LOW INNOVATIVE ACTIVITY OF ENTERPRISES IN THE INDUSTRY OF BUILDING MATERIALS

Abstract. *Innovative economy is characterized by constant improvement of production through the introduction of technological (process and product), organizational and marketing innovations that allow creation and promotion of a product with a high degree of competitiveness in domestic and global markets. In this article, features of innovative development in the industry of building materials are considered. A brief overview of the Russian building materials market is presented. Classification of Russian innovative enterprises according to the technological level is given. Such enterprises belong to the group of medium-tech low-level enterprises. The low level of innovation activity is conditioned by the specifics of the industry: the generated innovations have an intra-industry application. Thereby, innovation activity is focused primarily on the innovation process, while in high-tech or medium-technology high-level industries, emphasis is on product innovation. Factors obstructing the growth of innovation activity are determined based on the statistical data analysis on the state of innovative potential of the building materials industry. The positive impact of innovation on the economic performance of enterprises in the industry and the state as a whole is noted. The relationship between the level of innovation activity and the growth of labor productivity is revealed on the example of different countries. The dependence between the level of innovative activity and state funding of research and design allows to conclude that government support is an incentive for the development and implementation of product innovations. It is the guarantor of the competitiveness growth of enterprises that produce building materials.*

Keywords: *the industry of building materials, innovations, the level of innovation activity, innovative enterprises, labor productivity.*

REFERENCES

1. Skoblyakova I.V., Titov L.Yu. Approaches to the evaluation of intellectual rent. Audit and financial analysis, 2010, no. 2, p. 4
2. Semina L.A. Conceptual approaches to the interpretation of the category "innovation" [Electronic resource]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptualnye-podhody-k-traktovke-kategorii-innovatsiya> (circulation date 2.05.2018).
3. Asaul A.N. Modernization of the economy on the basis of technological innovations [Electronic resource]. URL: https://www.spbgasu.ru/documents/docs_183.pdf (circulation date August 26, 2013).
4. Review of the costs of construction and building materials in Russia [Electronic resource]. URL: <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/en/pdf/2017/01/en-ru-building-materials-costs.pdf> (circulation date August 30, 2013).
5. Russia in figures. 2018: Short. stat. Sat. M.: Rosstat, 2018, 522 p.
6. Indicators of innovation: 2018 statistical compilation. M.: NIU HSE, 2018, 344 p.
7. Oslo Manual. Guidelines for collecting and interpreting innovation data [Electronic resource]. URL: https://www.hse.ru/data/2011/09/05/1267119067/oslo_en.pdf (circulation date August 30, 2013).

8. Bazilevich A.I. Innovative management of the enterprise. M.: UNITY-DANA, 2009, 231 p.

9. Fatkhutdinov R.A. Innovative management. St. Petersburg: Peter, 2003, 400 p.

10. The methodology for calculating the indicators "The share of high-tech and knowledge-intensive industries in the gross domestic product" and "The share of high-tech and high technology products in the gross regional product of the subject of the Russian Federation"; approved by order of Rosstat of December 15, 2017 N 832 [Electronic resource]. URL: http://www.gks.ru/metod/metodika_832.pdf (circulation date August 31, 2013)

11. Indicators of innovation: 2017 statistical compilation. Moscow: NIU HSE, 2017, 328 p.

12. On the current situation and plans for the development of the construction materials industry [Electronic resource]. URL: http://kemdep.ru/images/doc/Deytelnoct/Gospod/building_industry.pdf (circulation date 09.09.2018).

13. Annex to the Strategy for the Development of the Building Material Industry for the Period to

2020 and Further Prospects to 2030 [Electronic Resource]. URL: <http://www.nappan.ru/upload/kontent/pdf/Chiles%20strategies.pdf> (circulation date 09.09.2018).

14. Golova I.M., Sukhovei A.F. Innovative and technological development of industrial regions in conditions of socio-economic instability [Electronic resource]. URL: <http://www.uiec.ru/content/files/12iGolova.pdf> (circulation date 10.09.2018).

15. GDP per capita [Electronic resource]. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP> (circulation date 09/09/2018).

16. Level of GDP per capita and productivity [Electronic resource]. URL: http://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=PDB_LV# (reference date 09.09.2018).

17. Chizhova E.N., Balabanova G.G. Productivity of labor as a criterion of the level of development of enterprises of the construction materials industry. Bulletin of BSTU. V.G. Shukhov, 2017, no. 6, pp.172–177.

Information about the author

Balabanova, Gulnara G. Assistant professor. E-mail: gulnara.balabanova@yandex.ru, balabanova.gg@bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in September 2018

Для цитирования:

Балабанова Г.Г. Причины низкой инновационной активности предприятий промышленности строительных материалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №12. С. 156–163. DOI: 10.12737/article_5c1c996f63d985.60139085

For citation:

Balabanova G.G. Causes of low innovative activity of enterprises in the industry of building materials. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 12, pp. 156–163. DOI: 10.12737/article_5c1c996f63d985.60139085

DOI: 10.12737/article_5c1c9973016e17.39477561

^{1,*}Абрашкин М.С.¹Технологический университет

Россия, 141070, Московская область, г. Королев, ул. Гагарина, д. 42

*E-mail: abrashkinms@mail.ru

РАЗВИТИЕ СТАНКОИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ НАУКОЁМКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Аннотация. В статье рассматривается влияние станкоинструментальной промышленности на развитие наукоёмких предприятий ракетно-космического машиностроения. Дается обоснование текущего задела станкоинструментальной промышленности, роли и места в экономике России. Показано её высокое влияние на воспроизводственные процессы развития других отраслей народного хозяйства, особенно наукоёмких. Ракетно-космическое машиностроение, как отрасль с наибольшим заделом НИОКР в России, имеет проблемы с обновлением станочного парка и оборудования. Их степень износа весьма высока. Оборудование с возрастом эксплуатации свыше 10 лет составляет более 80,0 %, а удельный вес полностью изношенного оборудования и машин составляет 24 %. Данные факты определяют резервы интенсификации деятельности предприятий ракетно-космического машиностроения за счёт ускорения внедрения в производственный процесс новых технологий и НИОКР. Таким образом, конкурентоспособность станкоинструментальной промышленности выступает в качестве главного драйвера обновления техники, способствует внедрению наиболее прогрессивных технологий производства и его организации, что особенно актуально в условиях импортозамещения. В работе было доказано, что интенсификация наукоёмких предприятий ракетно-космического машиностроения, которые являются значительными потребителями высокотехнологичной техники, во многом определяется развитием станкоинструментальной промышленности.

Ключевые слова: станкоинструментальная промышленность, ракетно-космическое машиностроение, интенсификация производства.

Введение. Сложно переоценить важность и роль станкоинструментальной промышленности для развития наукоёмкого машиностроения России. Выступая в качестве генератора воспроизводственных процессов предприятий и материально-технического обеспечения машиностроительных производств, она составляет фундамент их устойчивого развития, укрепляет экономический потенциал страны, в том числе на инновационной основе. Текущие тенденции развития станкоинструментальной промышленности показывают тотальную отсталость от мировых показателей развития данной отрасли западных стран, а в ретроспективе – утраченные накопленные мировые позиции технико-технологического потенциала СССР. В настоящее время отечественная продукция станкоинструментальной промышленности занимает не более 10 % внутреннего рынка РФ, а производство инструментов для станков не более 40 %. Зависимость многих предприятий машиностроения от предприятий Украины и Европы на поставку оборудования и комплектующих, в сложившихся геополитических условиях повышает риски технологической безопасности России.

Правительственные меры по развитию станкоинструментальной промышленности и его импортозамещению не позволили в полной мере восстановить утраченные конкурентные позиции. Отрасль характеризуется

дефицитом эффективной научно-инновационной инфраструктуры. Потенциал серийного производства станков и инструментов ограничен невысокой конкурентоспособностью продукции и технологий, дефицитом высококвалифицированных кадров, отсутствием некоторых ключевых компетенций участников отрасли. Данные процессы протекают в условиях возрастающего спроса на оборудование высокотехнологичных производств, сменой технологического уклада, изменением индустриальной картины мира. Высока значимость станкоинструментальной промышленности для развития наукоёмкого машиностроения, ведущей отраслью которого выступает ракетно-космическое. Продукция предприятий ракетно-космической промышленности является весьма фондоемкой [11, с.95]. Предприятия отрасли испытывают острую потребность в обновлении основных производственных фондов. Оборудование с возрастом эксплуатации свыше 10 лет составляет более 80,0 % [3], а удельный вес полностью изношенного оборудования и машин составляет 24 % [1]. При этом доля оборудования возрастом менее 10 лет к 2030 году должна достичь отметки в 56 % [9]. Имеется большой потенциал импортозамещения металлообрабатывающего оборудования и оборудования широкой функциональной принадлежности для

предприятий ракетно-космического машиностроения. Приоритетом государства является создание условий для лидерства отечественных предприятий на внутреннем рынке. Однако радикальных мер, которые бы отвечали стратегическим приоритетам государственной национальной безопасности, до сих пор не выработано. Требуется их конкретизация и реализация в максимально сжатые сроки.

Методика. Исследование базируется на теоретических методах научного познания, в частности использование методов синтеза и дедукции, а также методах эмпирического познания, которые позволили раскрыть множество проблем развития станкоинструментальной промышленности и производственно-технических факторов повышения интенсификации наукоёмких предприятий ракетно-космического машиностроения.

При проведении исследования основными источниками исходных данных послужили труды отечественных учёных, таких как Жидких В.А., Анохина И.С., Карпов А.С., Крстевска Р., Антипкина Е.С., Шевцова Н.В. и др. Использовались публичные данные Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос», а также материалы Стратегии развития станкоинструментальной промышленности до 2030 года.

При проведении исследования автор использовал открытые данные сети интернет, публичные отчёты предприятий, а также иную информацию, не имеющую ограничений по её распространению и не включенную в перечень сведений, отнесенных к государственной тайне.

Состояние станкоинструментальной промышленности в РФ.

Учитывая масштабность ракетно-космической отрасли в экономике страны и ракетно-космического машиностроения как её фундамента, модернизацию производственных фондов, в части металлообрабатывающего оборудования, требуется производить в первую очередь. Стимулирование предприятий, производящих продукцию гражданского назначения к техническому перевооружению ограничено сворачиванием инвестиционных программ крупных проектов, большим износом ОПФ. Условиями, сдерживающими развитие, выступают также общепромышленный спад, санкции и девальвация рубля. Суммарный внутренний спрос станкоинструментальной отрасли составляет не более 8 % от внутреннего потребления [10], 0,02 % от ВВП страны, в то время как в Японии 0,33 %, Германии 0,37 %, Китае 0,2 %.

Объём рынка станкоинструментальной отрасли РФ по состоянию на 2016 год составляет 60,63 млрд. рублей. Доля импорта в стоимостном выражении 91 %, а в натуральном 68 %.

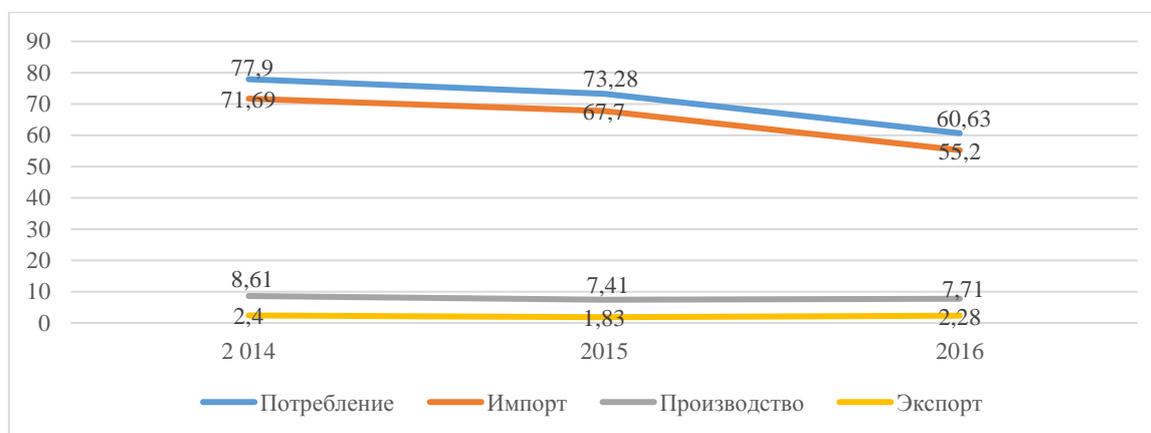


Рис. 1. Динамика потребления продукции станкостроения в стоимостном выражении, рубли (без учёта инструментальной промышленности)

Потребление продукции станкостроения имеет тенденцию к снижению ввиду падения покупательской способности предприятий-потребителей продукции, заинтересованности в покупке наукоёмкого оборудования.

Структура внутреннего спроса продукции станкостроения РФ показывает, что около 80 %

приходится на металлорежущие станки и примерно 20 % на кузнечно-прессовое оборудование. Что касается импорта, то среди металлорежущих станков наибольший спрос имеют обрабатывающие центры, которые занимают около 39 % в их общей структуре (см. рисунок 2).



Рис.2. Структура импорта металлорежущих станков

Сегмент кузнечно-прессового оборудования на 95% в стоимостном выражении является импортозависимым. Данный факт обусловлен тем, что отечественные производители производят преимущественно дешёвое, менее наукоемкое оборудование, которое не соответствует требованиям рынка.

В настоящее время станкоинструментальная промышленность РФ представлена 109 предприятиями, в том числе 56 производят металлорежущие станки, 24 – кузнечно-прессовое оборудование, 29 – производственные инструменты. В условиях новой экономики центрами роста должны стать НИОКР. Научные исследования и разработки в области станкостроения сохранились только в трёх вузах и сконцентрированы в Москве. Широкая сеть научных организаций сформированных в годы СССР была утеряна. В регионах сохранились лишь отдельные кафедры, отсутствуют научные организации готовые вести крупные инвестиционные НИОКР, а имеющие научные результаты зачастую являются модификацией уже имеющихся разработок. Низкий уровень инновационной активности в станкостроении обусловлен в первую очередь, недостаточным государственным стимулированием развития отрасли.

Решение проблем станкоинструментальной промышленности, как ключевой отрасли машиностроения, представляется возможным за счёт совершенствования инструментов государственного регулирования, в первую очередь за счёт комплексных мер государственной поддержки. Опыт стран лидеров станкоинструментальной промышленности может быть заимствован с учетом специфики отечественной экономики. Приоритеты в государственном регулировании должны быть смещены в сторону формирования локализованных точек роста станкостроения, создания высокотехнологичного оборудования,

занятия конкурентной мировой ниши и массового внутреннего потребления внутри страны.

Таким образом, для технико-технологической безопасности и развития экономики РФ требуется поддержка со стороны государства станкоинструментальной промышленности. Именно данная отрасль экономики является драйвером для развития наукоемкого машиностроения, и, как следствие, за счёт мультипликативного эффекта, способствует развитию экономики страны в целом, давая импульсы к скорейшему обновлению основных производственных фондов и ускорению воспроизводства инноваций на различных предприятиях страны.

Влияние станкоинструментальной промышленности на развитие наукоемких предприятий ракетно-космического машиностроения.

Предприятия ракетно-космического машиностроения, с одной стороны производят средства производства и продукцию конечного производства, а с другой стороны являются активными потребителями результатов производственной деятельности станкоинструментальной промышленности.

Техническое состояние основных фондов предприятий Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос» не удовлетворяет современным требованиям. Оборудование с возрастом эксплуатации свыше 10 лет составляет более 80,0 % [3], а удельный вес полностью изношенного оборудования и машин составляет 24 % [1]. При этом доля оборудования возрастом менее 10 лет к 2030 году должна достичь отметки в 56 % [9]. Внедрение новой техники тесно связано с новыми технологиями. Однако, их внедрение в отечественное наукоемкое машиностроение осуществляется без учёта ре-

ального уровня технологической многоукладности и часто без научных расчётов эффективности таких технологий [4, с.143].

Предприятия ракетно-космического машиностроения, как потребители станкоинструментальной продукции, в большей степени отдают предпочтение зарубежным производителям по причине более высокого качества продукции и унифицированных технико-эксплуатационных характеристик. Конкурентоспособное внутрироссийское предложение практически отсутствует. Растёт импортозависимость отрасли и отраслей потребителей продукции [5, 7].

Среди макроэкономических факторов оказывающие влияние на внутрироссийское потребление продукции станкоинструментальной промышленности предприятиями ракетно-космического машиностроения, влияющими на скорость освоения прогрессивных НИОКР и интенсификацию производства, можно выделить как положительные, так и отрицательные. Так, с одной стороны, за последние несколько лет имели место быть неустойчивые ставки по кредитам и нестабильность инвестиционного спроса, что снижало конкурентные преимущества производителей станкоинструментальной продукции. С другой стороны, удешевление национальной валюты расширяло рынки их сбыта.

Внешнеторговые отношения и их укрепление не способствовали развитию станкоинструментальной промышленности ввиду её низкой зарубежной востребованности, особенно в сфере гражданского потребления, а вступление России в ВТО повлекло снижение таможенных пошлин, что усугубило ситуацию из-за повышения привлекательности зарубежной продукции для российских потребителей. Ввоз комплектующих стал обходиться дороже, чем ввоз готовой продукции. Вступление РФ в ВТО перестало давать возможности использования отдельных инструментов государственного регулирования отрасли. Также разрыв тесных производственных связей с предприятиями Украины, которые производили отдельные технические изделия, содействовал импортозамещению РФ на данном рынке. Нерешённой проблемой остаётся стандартизация и сертификация продукции, в том числе приобретаемой предприятиями ракетно-космического машиностроения. Так, например, микросхемы и чипы на 90 % импортные, у них отсутствует единый регламент стандартов, что создаёт определённые препятствия в производстве техники, вызванные проблемами совместимости [7, с. 361]. Перспектива решения проблем стандартизации заключается в присоединении к открытому стандарту SpaceWire. Он позволит войти

отечественным производителям микроэлектроники на европейский рынок [7, с. 361]. Также для повышения интенсификации производств предприятий ракетно-космического машиностроения требуется ориентация на частный капитал и программы государственно-частного партнёрства. Необходимо привлечение бизнес-сектора к самостоятельной реализации бизнес проектов, как непосредственно в области производства изделий ракетно-космической техники, так и при производстве оборудования и комплектующих с последующей коммерциализацией продукции и услуг космической деятельности [6]. Программы освоения космоса в настоящее время на 85–90 % финансируются из государственного бюджета. Эффективность данных вложений носит скорее политический и оборонный характер, обеспечивая независимость государства [8, с.125].

Помимо макроэкономических факторов, имеют место быть и микроэкономические. Так структура производственных фондов ряда предприятий отрасли «неадекватна структуре существующих и, тем более, перспективных производственных программ, то некоторые виды избыточных фондов должны быть ликвидированы или переориентированы на другую продукцию» [1]. Следует вывод о высокой востребованности отечественной техники для предприятий ракетно-космического машиностроения, особенно для наукоёмких.

Интенсификация предполагает использование интенсивных факторов экономического роста, которые обеспечиваются качеством новой техникой и технологиями, трудовым потенциалом, применением ресурсосберегающих технологий. Учитывая специфику наукоёмких предприятий ракетно-космического машиностроения, данные факторы должны затрагивать совершенствование инновационных процессов их деятельности с учётом ориентации на глобальные тренды исследования космоса.

Глобальные исследования потенциала эксплуатации природных ресурсов небесных тел [14, с. 41], в том числе энергетических ресурсов Солнечной системы [13, с. 58], свидетельствуют о высокой значимости ускорения разработки новой техники освоения космоса, проведения НИОКР и внедрения их результатов в производственную деятельность предприятий ракетно-космического машиностроения. Наука должна стать основным бенефициаром космической экономики [13, с. 58], а предприятия ракетно-космического машиностроения за счёт процессов аккумуляции её результатов и производства – проводниками технического переоснащения космической деятельности. Организации, занимаю-

щиеся космическим пространством, больше ориентируются на радикальные инновации [15, с. 31]. Инновационная деятельность охватывает космическую науку, в том числе разведку, навигацию, телекоммуникации, наблюдения Земли, пусковых установок и пилотируемых пространств [12, с. 19].

Как справедливо отмечает Ваганова О.В., интенсификация инновационного процесса представляет собой процесс подготовки и постепенного осуществления инновационных изменений в сфере экономики, социально-общественной и политической жизни и других сферах деятельности человека на сопутствующих уровнях в виде сменяющихся фаз жизненного цикла в сторону уменьшения, приводящий к существенным социальным изменениям. Уменьшение жизненного цикла за счёт ускорения процесса внедрения новшеств и их коммерциализации рассматривается как наиболее важный фактор при осуществлении инновационной деятельности и реализации инновационных проектов и программ [2, с.57]. Обобщающими показателями интенсификации могут выступать показатели прироста фондоотдачи, материалоотдачи, оборачиваемости оборотных средств, производительности труда, финансовых результатов и другие.

Наукоёмкие предприятия ракетно-космического машиностроения отличаются высоким заделом НИОКР и технологичностью продукции. Они заинтересованы в результативности и коммерциализации своих разработок и доведения до потребителей в максимально сжатые сроки. Скорость выпуска продукции весьма высока, поэтому и обновление технологий должно отвечать критерию минимизации временных затрат. Также, важность внедрения в производственный процесс новой техники не должна противоречить национальной безопасности. Однако, сейчас, скорость проникновения продукции из Китая и Европы существенно выше скорости развития и наращивания произведённых оборотов предприятий станкоинструментальной промышленности. Требуется развитие отечественной базы с опережающими заделами, так как в противном случае Россия может потерять значительный сегмент экономики космоса и снизить параметры национальной безопасности.

Выводы. Исследование возможностей интенсификации наукоёмких предприятий ракетно-космического машиностроения за счёт развития станкоинструментальной промышленности позволило получить следующие результаты:

1. Потребление продукции станкостроения имеет тенденцию к снижению, что обусловлено её невысокой конкурентоспособностью, дефици-

том высококвалифицированных кадров, отсутствием некоторых ключевых компетенций участников отрасли, несовершенством инструментария поддержки со стороны органов государственной власти.

2. Зависимость многих предприятий машиностроения от предприятий Украины и Европы на поставку оборудования и комплектующих в сложившихся геополитических условиях повышает риски технологической безопасности России. Необходимо импортозамещение за счёт продукции отечественных предприятий станкостроения.

3. Наукоёмкие предприятия ракетно-космического машиностроения отличаются высоким заделом НИОКР в производственной деятельности и высокотехнологичностью продукции. Они имеют стратегическое значение для экономики и национальной безопасности РФ. Текущие тенденции низких темпов обновления станочного парка и оборудования могут привести к снижению конкурентоспособности отрасли. На предприятиях отрасли требуется внедрение новой техники, в частности, металлообрабатывающего оборудования и оборудования широкой функциональной принадлежности, которое будет способствовать ускорению внедрения НИОКР и технологий, интенсификации произведённой деятельности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антипкина Е.С., Шевцова Н.В. Модернизация ракетно-космической промышленности России как главное направление её развития // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2017. Т.3. №13. 2017. С. 430–432.
2. Ваганова О.В. Повышение эффективности управления инновационным производством с использованием элементов интенсификации // Вестник ВолГУ. № 5. 2011. С. 57–61.
3. Годовой отчёт Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос» за 2016 год [Электронный ресурс] // «Роскосмос». URL: <https://www.roscosmos.ru/media/img/docs/Reports/otcet.2016.pdf> (дата обращения: 30.09.2018). Загл. с экрана.
4. Дубровина Н.А., Радченко А.П. Механизмы управления технологическим потенциалом предприятий машиностроения // Регионоведение. 2011. №3 (76). С. 138–149.
5. Жидких В.А., Анохина И.С. Импортозамещение в российской космической отрасли // ГосРег: государственное регулирование общественных отношений. 2016. № 2 (16). С. 45.
6. Карпов А.С. Современные подходы к управлению ракетно-космической промышлен-

ностью в зарубежных странах [Электронный ресурс] // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования: Научный интернет-журнал. 2014. № 6 (22). URL: http://iea.gostinfo.ru/files/2014_06/2014_06_07.pdf (дата обращения: 23.09.2018). Загл. с экрана.

7. Крстевска Р. Импортзамещение в ракетно-космической отрасли // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2016. №12. С. 360-362.

8. Осипенкова О.Ю. Формирование государственного задания по опытно-конструкторским разработкам в ракетно-космической отрасли: практический аспект // Вестник Екатеринбургского института. 2017. №4 (40). С.124–131.

9. Стратегическое развитие Государственной корпорации по космической деятельности «РОСКОСМОС» на период до 2025 года и перспективу до 2030 года [Электронный ресурс] // «РОСКОСМОС» URL: <https://www.roscosmos.ru/media/files/docs/2017/dokladstrategia.pdf>

10. Стратегия развития станкоинструментальной промышленности до 2030 года (проект)

[Электронный ресурс] // Минпромторг. 2017. URL: <http://minpromtorg.gov.ru/common/upload/docs/strategy/project.pdf> (дата обращения: 23.09.2018).

11. Чурилина И.В. Проблемы финансирования амортизационных отчислений предприятий ракетно-космической промышленности // Вестник самарского муниципального института управления. 2015. №4. С. 95–101.

12. Burg E., Giannopapa C., Reymen I. Open Innovation in the European Space Sector: Existing Practices, Constraints and Opportunities // Acta Astronautica. 2017. Vol.141. P. 17–21.

13. Crawford I.A. The long-term scientific benefits of a space economy // Space Policy. 2016. №37 (2). pp. 58–61.

14. Lefebvre R. Relaunching the Moon Agreement // Air & Space Law. 2016. №41. Pp. 41–48

15. Reymen I., Burg E., Giannopapa C. Open Innovation in the Dutch Space-Sector. Towards an Open Innovation Business Model. Eindhoven University of Technology. ESPI. 2012. P. 74.

Информация об авторах

Абрашкин Михаил Сергеевич, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры Управления. E-mail: abrashkinms@mail.ru. Технологический университет. Россия, 141070, Московская область, г. Королев, ул. Гагарина, д. 42

Поступила в сентябре 2018 г.

© Абрашкин М.С., 2018

^{1,*}*Abrashkin M.S.*

¹*University of Technology*

Russia, 141070, Moscow Region, Korolev, Gagarina St., 42.

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

DEVELOPMENT OF THE MACHINE TOOL INDUSTRY AS A FACTOR OF INCREASING THE INTENSIFICATION OF SCIENTIFIC-POWER ENTERPRISES OF SPACE MECHANICAL ENGINEERING

Abstract. *The article discusses the impact of the machine-tool industry on the development of high-tech enterprises of space mechanical engineering. The rationale for the current machine tool industry, the role and place in the Russian economy is given. Its high influence on the reproductive processes of development of other sectors in the national economy, especially high-tech ones, is shown. Space engineering, the industry with the largest reserve of R & D in Russia, has problems with renewal of machinery and equipment. Its wear degree is very high. Equipment with an operation age over 10 years is more than 80.0 % and the proportion of fully worn-out equipment and machinery is 24 %. These facts predetermine the reserves of the intensification activities of the enterprises of space engineering due to the introduction of new technologies and R & D into the production process. Thus, the competitiveness of the machine-tool industry acts as the main driver of equipment renewal, promotes the most advanced production technologies and its organization, which is especially important in the context of import substitution. It is proved, the intensification of science-intensive enterprises of space engineering, which are significant consumers of high-tech equipment, is largely determined by the development of the machine tool industry.*

Keywords: *machine tool industry, space mechanical engineering, production intensification.*

REFERENCES

1. Antipkina E.S., Shevtsova N.V. Modernization of the rocket and space industry of Russia as the main direction of its development. Actual problems of aviation and cosmonautics, 2017, vol. 3, no.13, pp. 430–432.

2. Vaganova O.V. Improving the efficiency of innovative production management using elements of intensification. *Bulletin of VolSU*, 2011, vol. 5, pp. 57–61.
3. Annual report of the Roscosmos State Corporation for Space Activities for 2016 [Electronic resource]. Roscosmos. Available at: <https://www.roskosmos.ru/media/img/docs/Reports/otcet.2016.pdf> (accessed 09/30/2018). Title from the screen.
4. Dubrovina N.A., Radchenko A.P. Mechanisms for managing the technological potential of engineering enterprises. *Regionology*, 2011, vol. 3 (76), pp. 138–149.
5. Liquid V.A., Anokhina I.S. Import substitution in the Russian space industry. *GosReg: state regulation of public relations*, 2016, vol. 2 (16), p. 45.
6. Karpov A.S. Modern approaches to the management of the rocket and space industry in foreign countries [Electronic resource]. *Information and economic aspects of standardization and technical regulation: Scientific online journal*, 2014, vol. 6 (22). Available at: http://iea.gostinfo.ru/files/2014_06/2014_06_07.pdf (accessed 09/23/2018). - Title from the screen.
7. Krstevska R. Import substitution in the rocket and space industry. *Actual problems of aviation and cosmonautics*, 2016, vol.12, pp. 360–362.
8. Osipenkova O.Yu. Formation of the state assignment for experimental design development in the rocket and space industry: a practical aspect. *Vestnik Ekaterininskogo Institute*, 2017, vol.4 (40), pp.124–131.
9. Strategic development of the State Corporation for Space Activity "ROSKOSMOS" for the period up to 2025 and the perspective until 2030 [Electronic resource]. "ROSCOSMOS" Available at: <https://www.roskosmos.ru/media/files/docs/2017/dokladstrategia.pdf>
10. The development strategy of the machine-tool industry until 2030 (project) [Electronic resource]. Minpromtorg. 2017. Available at: <http://minpromtorg.gov.ru/common/upload/docs/strategy/project.pdf> (accessed 09/23/2018).
11. Churilina I.V. Problems of financing depreciation of enterprises of the rocket and space industry. *Bulletin of the Samara Municipal Institute of Management*, 2015, vol.4, pp. 95–101.
12. Burg E., Giannopapa C., Reymen I. Open Innovation in the European Space Sector: Existing Practices, Constraints and Opportunities. *Acta Astronautica*, 2017, vol. 141, pp. 17–21.
13. Crawford I.A. The long-term scientific benefits of a space economy. *Space Policy*, 2016, vol.37 (2), pp. 58–61.
14. Lefeber R. Relaunching the Moon Agreement. *Air & Space Law*, 2016, no.41, pp. 41–48.
15. Reymen I., Burg E., Giannopapa C. Open Innovation in the Dutch Space-Sector. Towards an Open Innovation Business Model. *Eindhoven University of Technology, ESPI*, 2012, p.74.

Information about the author

Abrashkin, Mikhail S. PhD, Assistant professor. E-mail: abrashkinms@mail.ru. University of Technology. Russia, 141070, Moscow Region, Korolev, Gagarina St., 42.

Received in September 2018

Для цитирования:

Абрашкин М.С. Развитие станкоинструментальной промышленности как фактор повышения интенсификации наукоёмких предприятий ракетно-космического машиностроения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №12. С. 164–170. DOI: 10.12737/article_5c1c9973016e17.39477561

For citation:

Abrashkin M.S. Development of the machine tool industry as a factor of increasing the intensification of scientific-power enterprises of space mechanical engineering. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2018, no. 12, pp. 164–170. DOI: 10.12737/article_5c1c9973016e17.39477561



14-й Международный конгресс по прикладной минералогии

Белгород | 23–27 сентября 2019

www.geo.komisc.ru/icam2019

НАУЧНАЯ ПРОГРАММА ICAM-2019 ПО НАПРАВЛЕНИЯМ

1. Геометаллургия, технологическая минералогия и процессы переработки минерального сырья.
2. Индустриальные минералы, драгоценные камни, руды и добыча полезных ископаемых.
3. Нефтяные и газовые коллекторы, в том числе газовые гидраты.
4. Аналитические методы, приборы и автоматизация.
5. Перспективные материалы с улучшенными характеристиками, в том числе техническая керамика и стекло.
6. Строительное материаловедение.
7. Биомиметические материалы на минеральной основе, биоминералогия.
8. Окружающая среда и энергетические ресурсы.
9. Культурное наследие, артефакты и их сохранность.

Контрольные сроки подачи докладов: 1 марта 2019 г.

ТРАНСПОРТ



Конгресс состоится на базе Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова.

Добраться до Белгорода из Москвы и Санкт-Петербурга можно самолетом (показано на карте) и по железной дороге: из Москвы два ежедневных высокоскоростных поезда отправляются с Курского вокзала, время в пути около 7 часов.

МАТЕРИАЛЫ КОНГРЕССА

Материалы Конгресса будут опубликованы издательством Springer отдельным сборником (международная библиографическая база данных Scopus).

Участники представляют материалы доклада с оригинальными научными результатами на английском языке в рамках тем научной программы. Ссылка для подачи материалов доклада доступна в личном кабинете участника после оплаты регистрационного взноса. Материалы доклада оформляются по шаблону, размещённому на сайте Конгресса.

Регистрационный взнос Конгресса, который предусматривает издание трудов, до 1 марта 2019 года составляет льготную сумму в размере 300 евро (для российских участников в рублёвом эквиваленте на день оплаты). Студенты, аспиранты и докторанты, а также неработающие пенсионеры могут принять участие в Конгрессе, заплатив специальный регистрационный взнос в размере 150 евро при представлении документа, подтверждающего указанный статус. Предусмотрено участие делегатов во всех мероприятиях Конгресса (заседания, выставки), кофе-брейки, обеды, экскурсия на Лебединский ГОК.

В рамках Конгресса будет работать **ВЫСТАВКА** аналитического оборудования известных в мире фирм, нацеленных на потребности горнодобывающих, научно-исследовательских и других организаций, деятельность которых связана с прикладной минералогией.

На книжной **ВЫСТАВКЕ** участники смогут приобрести продукцию ведущих издательств.

Для получения дополнительной информации о спонсорстве, пожалуйста, свяжитесь с нами.

Подробная информация
на geo.komisc.ru/icam2019

По всем вопросам можно обращаться:
kotova@geo.komisc.ru

ПОЛЕВЫЕ ЭКСКУРСИИ

Белгородская область

- Лебединский горно-обогатительный комбинат (во время проведения Конгресса, бесплатно для делегатов)
Лебединский ГОК — крупнейшее в России и СНГ предприятие по добыче и обогащению железной руды, производству высококачественного железорудного сырья и металлургической продукции, единственный в России и СНГ производитель горячбрикетированного железа (ГБЖ).



Республика Карелия

- Горная дорога (после проведения Конгресса, платно)

Экскурсия по маршруту Институт геологии КарНЦ РАН – «Рудный парк Тумозерье» – горный парк «Рускеала» по территории Росови, далее на территории Финляндии горный музей в Оуткумпу – национальный парк «Кольо» – музей горняцкого поселения Мёксе.



Подробности, включая стоимость экскурсий, смотрите на сайте Конгресса
geo.komisc.ru/icam2019/fieldtrips

НАУЧНЫЕ ШКОЛЫ

- Роль прикладной минералогии в исследовании индустриальных минералов (опыт работы Комиссии по технологической минералогии РМО).

Лектор: проф., д.г.-м.н. В.В. Шипцов, заведующий отделом минерального сырья Института геологии КарНЦ РАН

Регистрация открыта на geo.komisc.ru/icam2019/APIM

Приглашаем ведущих ученых
к проведению научных школ!

Форму можно найти на сайте Конгресса
geo.komisc.ru/icam2019/workshops

Организаторы



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ



ФГБУН
Центр прикладной минералогии



Институт геологии
КарНЦ РАН



Институт прикладной
минералогии



ФГБУН
Центр прикладной минералогии



ФГБУН
Центр прикладной минералогии



ФГБУН
Центр прикладной минералогии



ФГБУН
Центр прикладной минералогии



ФГБУН
Центр прикладной минералогии

Научное издание

**«Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова»
№ 12, 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 9.11.18. Подписано в печать 22.12.18. Формат 60×84/8
Усл. печ. л. 20. Уч.-изд. л. 21,5
Тираж 500 экз. Заказ 388. 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