

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. В.Г. ШУХОВА

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВЕСТНИК

БГТУ им. В.Г. ШУХОВА

№ 4, 2018 год

Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова

Главный редактор: д-р техн. наук, проф. Е.И. Евтушенко

Зам. главного редактора: канд. техн. наук, доц. Н.И. Алфимова

Редакционная коллегия:

Айзенштадт А.М., д-р хим. наук, проф.;

Баженов Ю.М., академик РААСН, д-р техн. наук, проф.;

Богданов В.С., д-р техн. наук, проф.; Благоевич Деян, PhD, проф.;

Большаков А.Г., д-р арх., проф.; Борисов И.Н., д-р техн. наук, проф.;

Братан С.М., д-р техн. наук, проф.; Везенцев А.И., д-р техн. наук, проф.;

Глаголев С.Н., д-р экон. наук, проф.; Грабовый П.Г., д-р экон. наук, проф.;

Гридчин А.М., д-р техн. наук, проф.; Давидюк А.Н., д-р техн. наук;

Дорошенко Ю.А., д-р экон. наук, проф.; Дуюн Т.А., д-р техн. наук, проф.;

Ерофеев В.Т., академик РААСН, д-р техн. наук, проф.; Зайцев О.Н., д-р техн. наук, проф.;

Ильвицкая С.В., д-р арх., проф.; Козлов А.М., д-р техн. наук, проф.;

Леонович С.Н., иностранный член академик РААСН, д-р техн. наук, проф.;

Лесовик В.С., член-корреспондент РААСН, д-р техн. наук, проф.;

Логачев К.И., д-р техн. наук, проф.; Мещерин В.С., д-р техн. наук, проф.;

Меркулов С.И., член-корреспондент РААСН, д-р техн. наук, проф.;

Павленко В.И., д-р техн. наук, проф.; Павлович Ненад, PhD;

Пивинский Ю.Е., д-р техн. наук, проф.; Потапов Е.Э., д-р хим. наук, проф.;

Рыбак Л.А., д-р техн. наук, проф.; Савин Л.А., д-р техн. наук, проф.;

Семенцов С.В. д-р арх., проф.; Сиваченко Л.А., д-р техн. наук, проф.; Соболев К.Г., PhD, проф.;

Смоляго Г.А., д-р техн. наук, проф.; Строкова В.В., проф. РАН, д-р техн. наук, проф.;

Тарасова Е.Е., д-р экон. наук, проф.; Уваров В.А., д-р техн. наук, проф.;

Фишер Ханс-Бертрам, н. с.; Ханин С.И., д-р техн. наук, проф.;

Шаповалов Н.А., д-р техн. наук, проф.; Шубенков М.В., академик РААСН, д-р арх., проф.;

Юрьев А.Г. д-р техн. наук, проф.; Яцун С.Ф., д-р техн. наук, проф.

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.

Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2018

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Кожухова Н.И., Жерновский И.В., Соболев К.Г. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧИЙ РЕНТГЕНОАМОРФНОЙ ФАЗЫ В СОСТАВЕ НИЗКОКАЛЬЦИЕВЫХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕОПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ	5
Баранов Е.В., Шелковникова Т.И., Хорунжий Т.М. МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ДЕКОРАТИВНЫЙ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БЕТОН С ДОБАВКОЙ ПЛАСТИФИКАТОРОМ И НАПОЛНИТЕЛЕМ	13
Морозова М.В. СОРБЦИЯ ВОДНОЙ ФАЗЫ МИНЕРАЛЬНОЙ САПОНИТ-СОДЕРЖАЩЕЙ ДОБАВКОЙ В МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ БЕТОНЫ	20
Абашин Е.Г. ОЦЕНКА ПЛОЩАДИ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ РАБОЧЕЙ АРМАТУРЫ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛКАХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ВИБРАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ	26
Богачёва С.В., Никулин А.И. РАСЧЕТ ПО ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ	33
Донченко О.М., Дегтев И.А., Тарасенко В.Н. ИЗГИБ И РАСТЯЖЕНИЕ КАМНЯ ПРИ ЦЕНТРАЛЬНОМ СЖАТИИ КЛАДКИ	38
Рымаров А.Г., Агафонова В.В. АДАПТАЦИЯ СТАНДАРТНОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТРУЙ ДЛЯ СЛУЧАЯ ЛАМИНАРНОГО РЕЖИМА ИСТЕЧЕНИЯ	45
Аверкова О.А., Крюков И.В., Крюкова О.С. К ВОПРОСУ О РАЗМЕЩЕНИИ СИСТЕМ МЕСТНОЙ ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ В ПОМЕЩЕНИЯХ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ПЫЛИ	50
Семиненко А.С. СНИЖЕНИЕ ПЫЛЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ПНЕВМОТРАНСПОРТНОЙ ЗАГРУЗКЕ ПОРОШКООБРАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ	56
Перькова М.В. МЕТОДИКА ВЫЯВЛЕНИЯ И РАЗРЕШЕНИЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОТИВОРЕЧИЙ РАЗВИТИЯ НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ	62
Силин Р.В., Касьянов В.Ф. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОБЪЕКТОВ ОЗЕЛЕНЕНИЯ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ В КОНТЕКСТЕ ЗАДАЧИ РАЗВИТИЯ ОЗЕЛЕНЁННЫХ ТЕРРИТОРИЙ г. МОГИЛЕВА	72
Пиров М. С., Банцорова О.Л. ПРОБЛЕМЫ РЕНОВАЦИИ И РЕКОНСТРУКЦИИ ПРОСПЕКТА А. РУДАКИ В г. ДУШАНБЕ	80

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Рахимбаев Ш.М., Черникова И.С. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СООТНОШЕНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ В РАЗЛИЧНЫЕ СРОКИ ТВЕРДЕНИЯ	87
Кочергин Ю.С., Золотарева В.В. СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ДИГЛИЦИДИЛОВЫХ ЭФИРОВ ДИФЕНИЛОЛМЕТАНА	96

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Бешевли О.Б., Дуюн Т.А. ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ФРЕЗЕРОВАНИЯ БАББИТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАНОЧНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ПОДШИПНИКОВ	102
Позевалкин В.В., Парфёнов И.В., Поляков А.Н., ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА ПОСТРОЕНИЯ СТЕПЕННЫХ ИНТЕРПОЛЯЦИОННЫХ ПОЛИНОМОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ В ТЕПЛОВЫХ ИСПЫТАНИЯХ СТАНКОВ	109
Семикопенко И.А., Воронов В.П., Вялых С.В., Маняхин А.С. К ВОПРОСУ О ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ УЗЛА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ МАТЕРИАЛА В ДЕЗИНТЕГРАТОРЕ	119
Петровский Э.А., Соловьёв Е.А., Коленчуков О.А. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТЕШЛАМОВ	124

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Старикова М.С. АДАПТАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ПРЕДПРИЯТИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	133
Демененко И.А., Шавырина И.В. КЛИЕНТООРИЕНТИРОВАННОСТЬ ПЕРСОНАЛА СТРОИТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ	141

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

N.I. Kozhukhova, I.V. Zhernovsky, K.G. Sobolev EFFECT OF VARIATIONS IN VITREOUS PHASE OF LOW-CALCIUM ALUMINOSILICATES ON STRENGTH PROPERTIES OF GEOPOLYMER SYSTEMS	5
E.V. Baranov, T.I. Shelkovnikova, T.M. Khorunzhiy DECORATIVE FINE-GRAINED SMALL-SIZED CONCRETE WITH ADDITIVE PLASTIFICATOR AND FILLER	13
M.V. Morozova SORPTION OF THE WATER PHASE WITH A MINERAL SAPONITE-CONTAINING ADMIXTURE TO FINE-GRAINED CONCRETES	20
E.G. Abashin EVALUATION OF THE CROSS-SECTION AREA OF WORKING REINFORCEMENT IN CONCRETE BEAMS BY THE VIBRATION TESTING RESULTS	26
S.V. Bogacheva, A.I. Nikulin STRENGTH DESIGN OF NORMAL SECTIONS OF THE PRECAST-MONOLITHIC SLABS OF FRAME BUILDINGS	33
O.M. Donchenko, I.A. Degtev, V.N. Tarasenko BENDING AND STRETCHING OF STONE WITH CENTRIC COMPRESSION OF MASONWORK	38
A.G. Rymarov, V.V. Agafonova ADAPTATION OF THE STANDARD ENGINEERING METHOD OF CALCULATING THE MAIN PARAMETERS OF JETS FOR THE LAMINAR FLOW MODE	45
O.A. Averkova, I.V. Kryukov, O.S. Kryukova TO THE QUESTION OF THE PLACEMENT OF LOCAL EXHAUST VENTILATION SYSTEMS IN ROOMS WITH HIGH DUST CONTENT	50
A.S. Seminenko EXPERIMENTAL INSTALLATIONS FOR DETERMINING CONDITIONS OF COANDA FLOWS IMPLEMENTATION	56
M.V. Perkova METHODOLOGY OF IDENTIFYING AND RESOLVING THE URBAN DEVELOPMENT CONTRADICTIONS AT THE REGIONAL LEVEL	62
R.V. Silin, V.F. Kas'janov THE QUALITY ESTIMATION CRITERIA OF PUBLIC GREEN SPACES IN THE CONTEXT OF GREEN SPACES ENHANCEMENT IN THE CITY OF MOGILEV	72
M.S. Pirov, O.L. Bantserova PROBLEMS OF THE RENOVATION AND RECONSTRUCTION OF THE RUDAKI AVENUE IN THE CITY OF DUSHANBE	80

CHEMICAL TECHNOLOGY

S.M. Rakhimbaev, I.S. Chernikova THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE RATIO OF TENSILE STRENGTH OF CEMENT SYSTEMS AT VARIOUS SETTING TIMES	87
Y.S. Kochergin, V.V. Zolotareva PROPERTIES OF COMPOSITES ON THE BASIS OF DIGLYCIDYL ETHERS OF DIPHENYLLMETHANE	96

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

O.B. Beshevli, T.A. Duyun OPTIMIZATION OF THE TECHNOLOGICAL MODES OF MILLING BABBITT WITH THE USE OF A MACHINING MODULE FOR LARGE BEARINGS PROCESSING	102
V.V. Pozevalkin, I.V. Parfenov, A.N. Polyakov RESEARCH OF THE ALGORITHM FOR CONSTRUCTING DEGREE INTERPOLATION POLYNOMIALS AT THE PROCESSING OF EXPERIMENTAL DATA IN THERMAL TESTS OF MACHINE TOOLS	109
I.A. Semikopenko, V.P. Voronov, S.V. Vyalykh, A.S. Manyakhin ON THE QUESTION OF THE CAPACITY OF PRELIMINARY MILLING AND MATERIAL CLASSIFICATION UNIT IN A DISINTEGRATOR	119
E.A. Petrovsky, E.A. Solovyev, O.A. Kolenchukov MODERN TECHNOLOGIES OF OIL SLUDGE PROCESSING	124

ECONOMIC SCIENCE

M.S. Starikova THE ADAPTATION POTENTIAL OF VERTICAL INTERACTIONS OF BUILDING MATERIALS INDUSTRY ENTERPRISES	133
I.A. Demenenko, I.V. Shavyrina THE CUSTOMER ORIENTATION OF CONSTRUCTION ORGANIZATIONS PERSONNEL IN CONDITIONS OF SOCIO-ECONOMIC TURBULENCE	141

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.12737/article_5ac24a276fc102.09159142

¹Кожухова Н.И., канд. техн. наук, доц.,¹Жерновский И.В., канд. г.-м. наук, проф.²Соболев К.Г., PhD¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия²Университет Висконсин-Милуоки, штат Висконсин, США

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧИЙ РЕНТГЕНОАМОРФНОЙ ФАЗЫ В СОСТАВЕ НИЗКОКАЛЬЦИЕВЫХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕОПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ

kozuhova.ni@bstu.ru

Перспектива развития современных энергоэффективных и экологических строительных материалов тесно связана с разработкой вяжущих систем на основе алюмосиликатного сырья природного и техногенного происхождения по технологии атермального синтеза.

Одним из перспективных вяжущих данного типа являются геополимеры, при производстве которых активно используется алюмосиликатное сырье как техногенного происхождения – низкокальциевые золы-уноса ТЭС, получаемые при сжигании каменных углей, так и природные алюмосиликаты. В качестве примера природного сырья может быть отмечена перлитовая порода.

Основной характеристической особенностью отмеченных алюмосиликатов является высокое содержание рентгеноаморфной составляющей (свыше 60 %), являющейся основной компонентой, отвечающей за процесс твердения геополимера – геополимеризацию. Основной стадией процесса геополимеризации является растворение алюмосиликатной компоненты в высокощелочной среде до образования щелочеолюмосилкатной гелеобразной субстанции с последующим ее отверждением. Таким образом, прочностные характеристики затвердевшей геополимерной системы в большей степени зависят от степени растворимости алюмосиликатного сырья под воздействием высокощелочного активатора. На основании данных РФА-анализа, рентгеноаморфная фаза в составе исследуемых низкокальциевых зол-уноса представляет собой наноструктурированную субстанцию, состоящую из силикатных кластеров с различной степенью полимеризации, варьирующихся в широком диапазоне. Зависимость, установленная экспериментальным путем между прочностью на сжатие геополимерного камня и степенью SiO₂-связности в аморфной фазе золы-уноса, составила 0,8158 и может быть описана следующим уравнением регрессии:

$$y = 559,5e^{-8,226x}$$

Таким образом, вариативность концентрации рентгеноаморфной составляющей, а также в степени геополимеризации в составе низкокальциевых алюмосиликатов является доминирующим фактором при формировании структуры геополимера.

В рамках работы проведена сравнительная оценка реакционной активности двух типов наноразмерной составляющей в составе низкокальциевых алюмосиликатов, а именно, стеклофазы в составе техногенных алюмосиликатов – зол-уноса – и наноразмерной кристаллической фазы в составе природного аналога – перлита.

Ключевые слова: низкокальциевые алюмосиликаты, геополимеризация, степень SiO₂-связности.

Введение. Несмотря на широкое использование гидроэнергетики и атомных электростанций, преобладающую долю электроэнергетики во всем мире, в том числе в России, по сей день занимают мощные тепловые электростанции (ТЭС).

По оценке мирового состояния сырьевой базы, доля угольного топлива в производстве электроэнергии в развитых странах колеблется от 52 до 94 %: Австралия – 77 %; Китай – 76 %; Чехия – 67 %; Греция – 69 %; Германия – 52 %;

США – 56 %. Лидерами потребления угольного топлива являются Польша – 94 %, ЮАР – 93 % и Индия – 78 % (рис. 1).

В России находится в эксплуатации более 200 ТЭС, работающих на угле или горючих сланцах. Ежегодно на ТЭС РФ образуется около 50 млн. т. топливных отходов, из которых утилизируется не более 10 %, а остальная часть сбрасывается в отвал. Что касается зол-уноса, то ежегодное производство одной только золы-уноса, вырабатываемой ТЭС и требующей утили-

лизации, в 2010 году составило порядка 800 млн. т (это всего в 2,5 раза меньше, чем сегодня в мире вырабатывается цемента). Уже по состоянию на 2005 год в отвалах российских ТЭС было накоплено не менее 1,3–1,5 млрд. т. топ-

ливных отходов. В тоже время утилизация данного отхода в развитых странах колеблется в широких пределах: Финляндия, Великобритания, Германия – более 60 %; Япония, страны ЕС – не более 50 %; США – 25 % [1].

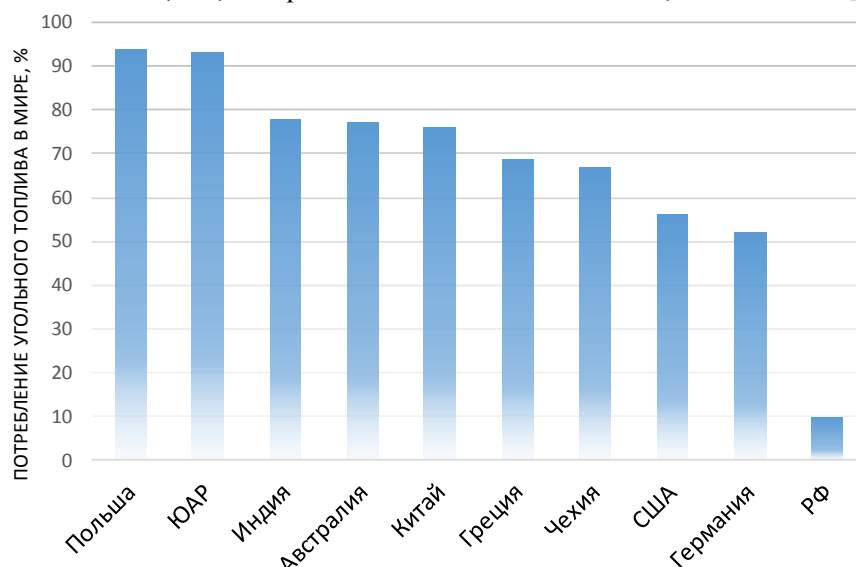


Рис. 1. Основные страны-потребители угольного сырья

Отходы сжигания каменноугольного топлива – низкокальциевые золы-уноса или золы-уноса типа F – представляют собой высокодисперсные порошкообразные материалы алюмосиликатного состава с низким содержанием щелочных оксидов. По ряду источников [2–7] низкокальциевые золы-уноса являются традиционным техногенным материалом для получения геополимерных вяжущих. Эксплуатационные свойства геополимеров сложным образом зависят от многих факторов, в большей степени относящихся к характеристикам алюмосиликатных сырьевых компонентов, таким как соотношение основных оксидов, гранулометрический состав, химический и минеральный состав; концентрация наноразмерной составляющей – скрытокристаллических рентгеноаморфных образований или стеклофазы; величина pH среды затворения; условия термической обработки и др. [8–11].

Различия в химическом составе для алюмосиликатов в основном обусловлены минерально-химическими особенностями вмещающих осадочных горных пород.

Кроме этого, для алюмосиликатного сырья техногенной принадлежности различные соотношения концентрации кристаллических компонентов и наноразмерной составляющей являются причиной различных факторов термической истории материала. К ним следует отнести температуру горения твердого топлива и скорость охлаждения дисперсного алюмосиликатного пирогенного расплава.

К одной из важнейших характеристик алюмосиликатного сырья как основного компонента в геополимервах, прямым образом влияющей на образование структуры вяжущего следует отнести реакционную способность, т.е. растворимость в среде щелочного активатора [12–15]. Важной причиной вариативности свойств геополимерных вяжущих заключаются в различных свойствах их основного наиболее активного алюмосиликатного компонента – наноразмерной кристаллической составляющей (в случае перлита), а также стеклофазы (в случае зол-уноса).

Данная работа направлена на выявление зависимости между реакционной активностью геополимерных вяжущих и степенью SiO₂-связности стеклофазы, как интегральной характеристики ее структурного состояния. В данном случае под SiO₂-связностью стеклофазы следует понимать характеристику степени полимеризации структурообразующих [SiO₄]⁴⁻-элементов.

Согласно ранее проведенным исследованиям [12, 13], такой характеристикой может являться отношение Si/O, определяемое как степень связности кремнезема в силикатных кластерах стеклофазы:

$$f_{Si} = \frac{v_{SiO_2}}{v_{Me_2O} + v_{MeO} + 3v_{Me_2O_3} + 2v_{MeO_2} + 5v_{Me_2O_5}},$$

где v – молярная концентрация оксидов.

Материалы и методы.*Материалы.*

В рамках данного исследования было использовано 5 типов низкокальциевых зол-уноса различного производства: образцы 1 и 2 – из Южно-Африканских ТЭС; образцы 3, 4 – из США; образцы 5–7 – из Российских ТЭС; а также природный представитель – перлит Мухор-Талинского месторождения (респ. Бурятия).

В качестве щелочного компонента использовался гранулированный натр едкий NaOH ЧДА с содержанием NaOH не менее 45,5 % согласно ГОСТ 2263-79 [16].

Методы. Химический и фазово-минеральный составы исследуемых алюмосиликатов определены при помощи рентгенофлуоресцентного и рентгенофазового анализов с использованием дифрактометра ARL 9900 X-ray WorkStation с использованием Co-анода $\lambda_{CoK\alpha 1,2}$.

Количественный полнопрофильный РФА-анализ для зол-уноса и перлита осуществлялся с помощью алгоритма Ритвельда.

Количественная оценка рентгеноаморфной фазы (стеклофазы в случае зол-уноса) была произведена с помощью расчетного DDM-

алгоритма, позволяющего минимизировать влияние фона спектра [17]. Данный алгоритм основан на минимизации производной разностной кривой, полученной от кривых экспериментального и расчетного спектров (за счет снижения уровня осцилляции разностной кривой).

Количественная оценка минерального состава алюмосиликатов и геополимерных вяжущих на их основе осуществлялась с использованием следующих модельных фаз из структурной базы данных: α -кварц (174-ICSD), муллит (66445-ICSD), магнетит (30860-ICSD), гематит (15840-ICSD) и анортит (654-ICSD).

Количественная оценка фазового состава (содержания рентгеноаморфной фазы) в алюмосиликатном сырье и синтезируемых геополимерных вяжущих осуществлялась методом внутреннего эталонирования. В качестве эталонного компонента использовался анатаз (94566-ICSD) в количестве 10 %.

Основная часть. Для возможности осуществления сравнительной оценки используемых низкокальциевых алюмосиликатов были получены результаты химического (табл. 1) и химико-минерального (табл. 2, 3) составов.

Таблица 1

Химический состав исследуемых алюмосиликатов (вес.%)

	ЮАР		США		РФ			Перлит
	1	2	3	4	5	6	7	
SiO₂	53.41	53.44	46.89	47,83	59.43	58.98	60.20	71.52
Al₂O₃	34.55	30.21	22.92	28,7	30.39	28.29	30.92	15.99
TiO₂	1.64	1.74	1.07	1,07	1.10	0.97	1.17	0.16
Fe₂O₃	3.17	2.92	19.23	16,16	4.75	4.63	3.35	1.67
MnO	0.05	0.03	0.04	0,02	0.09	0.08	0.066	0.10
MgO	1.05	1.85	0.80	1,04	0.55	1.00	0.577	0.00
CaO	4.23	6.38	3.76	3,36	1.38	3.74	1.28	0.85
Na₂O	0.10	0.39	0.64	0,87	0.64	0.63	0.52	4.26
K₂O	0.58	0.85	1.68	1,65	0.64	0.65	0.75	4.58
P₂O₅	0.46	0.93	0.33	0,48	0.54	0.36	0.48	0.00
Cr₂O₃	0.04	0.02	0.03	0,02	0.00	0.00	0.00	0.11
NiO	0.01	0.01	0.01	0,01	0.00	0.00	0.00	0.04
V₂O₅	0.03	0.03	0.00	0,05	0.03	0.02	0.02	0.00
ZrO₂	0.05	0.04	0.07	0,03	0.05	0.00	0.02	0.00
LOI	0.76	1.01	1.3	1.9	5.19	6.07	1.85	7.3

Согласно данным химического состава, используемые алюмосиликаты характеризуются низким содержанием CaO (до 6,4 %) и соответствуют требованиям ГОСТ 25818-91 [18], предъявляемым к низкокальциевым системам.

Согласно данным минерального состава исследуемых алюмосиликатов (табл. 2), содержание стеклофазы в золах-уноса составляет более 60 % с минимальным ее содержанием для золы-

уноса № 6 и максимальным – для золы-уноса № 2.

Для природного алюмосиликата – перлита – характерно содержание рентгеноаморфных наноразмерных кристаллитов в составе породы до 100 %, т.е. наиболее высокое содержание наноразмерной фазы в объеме материала (табл. 3) среди всех исследуемых алюмосиликатов.

Таблица 2

Минеральный состав используемых зол-уноса (вес.%)

Фаза	ЮАР		США		РФ		
	1	2	3	4	5	6	7
Кварц	4,7	4,9	6,4	8,3	9,3	10,7	6,3
Муллит	23,8	22,2	13,5	15	18,7	23,5	25,6
Магнетит	–	–	7,2		1,9	1,0	1,8
Гематит	–	–	4,5	11,8	–	–	
Анортит	–	–	–		–	4,3	
Альбит	–	–	–		–		3,9
Рентгеноаморфная фаза	71,5	72,9	68,4	64,6	70,1	60,5	62,6

Таблица 3

Минеральный состав перлита

Содержание компонентов (вес. %)		Размер кристаллитов, нм	
тридимит	кристобалит	тридимит	кристобалит
3	97	1,6	1

Согласно результатам ранее проведенных исследований [8, 10] одним из основных показателей реакционной активности кремнеземсодержащих материалов является степень связности кремнекислородного тетраэдра. Принято считать, что чем ниже степень SiO₂-связности

(Qⁿ) в стеклофазе, тем выше реакционная активность материала. Для расчета степени SiO₂-связности в стеклофазе зол-уноса из величин концентраций оксидов (табл. 1), пересчитанных из весовых в молярные концентрации были вычтены вклады в валовый (общий) химический состав кристаллических минеральных компонентов, согласно табл. 2.

Результаты расчета степени связности стеклофазы проанализированных алюмосиликатов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Степень SiO₂-связности стеклофазы исследуемых алюмосиликатов

Страна / Параметр	ЮАР		США		РФ		
	1	2	3	4	5	6	7
Si/O -соотношение	0,255	0,278	0,323	0,274	0,321	0,332	0,395
Степень полимеризации	Q ⁰⁻¹	Q ⁰⁻¹	Q ¹⁻²	Q ⁰⁻¹	Q ¹⁻²	Q ¹⁻²	Q ²⁻³

Согласно работе [19] и кристаллохимическим представлениям о структуре кремнеземного компонента в силикатах, в интервале Si/O=0,25...0,286 Si-O тетраэдры имеют степень полимеризации Q⁰⁻¹ (ортосиликатное стекло), при Si/O=0,286...0,333 – Q¹⁻² (мелилитовое стекло), при Si/O=0,333...0,4 – Q²⁻³ (воластонитовое стекло) и для Si/O=0,4...0,5 – Q³⁻⁴ (анортитовое стекло). Таким образом, проанализированные золы-уноса можно отнести, по типу стеклофазы (с учетом аналитических погрешностей), к ортосиликатному (образцы № 1, 2, 4), мелилитовому (образцы № 3, 5, 6), воластонитовому (образец № 7) типам. Для перлита параметр степени SiO₂-связности не применим, т.к. он характерен только для стекловатых структур, имеющих место быть в золах-уноса. Для перлита, не смотря на 100 %-ное содержание рентгеноаморфной фазы, типична скрытокристаллическая структура.

Результаты и обсуждения. Степень SiO₂-полимеризации в стеклофазе может быть рассчитана на основе данных валового химического состава (табл. 1) с преобразованием в моляр-

ные концентрации путем вычитания соответствующих кристаллических компонентов из общего объема (табл. 3). Реакционная активность геополимерного вяжущего может быть представлена путем сравнительного анализа прочностных характеристик экспериментальных составов. Для определения прочностных характеристик были заформованы образцы-кубы геополимерного вяжущего на разных видах алюмосиликатного сырья. Подбор составов осуществлялся исходя из необходимости обеспечения следующих параметров постоянными:

– молярное соотношение оксидов Na₂O и Al₂O₃ (Na/Al) = 0,75 для составов 1–4, 6, 7; (Na/Al) = 0,5 – для состава 5; (Na/Al) = 2 – для состава 8;

– подвижность смеси по расплыву конуса – 120–140 мм.

Как следует из полученных данных (табл. 5), явной связи между активностью геополимерных вяжущих с химическим и минеральным составом использованных алюмосиликатов не отмечается.

При сравнении результатов прочности при сжатии минимальные значения характерны перлита.

Известно, что степень растворимости силикатных стекол в растворах щелочных активаторов понижается с ростом степени полимериза-

ции [20]. На рис. 2 приведены линейная и логарифмическая зависимости активности геополлимерных вяжущих в возрасте 28 суток от величины SiO_2 -связности стеклофазы.

Таблица 5

Прочностные характеристики геополлимеров в зависимости от состава

Составы				R _{сж} , МПа
Образец алюмосиликата	Состав вяжущего, %			
	Алюмосиликатный компонент	NaOH	вода	
1	63,3	13,7	12,4	45,2
2	66,5	10,1	17,2	34,1
3	65,7	11,5	22,8	19,7
4	68,8	12,6	18,5	50,3
5	71,3	8	20,7	46,4
6	73,8	8	28,7	50,1
7	72,7	10,5	23	80,1
Перлит	78,4	9,9	10,3	18,4

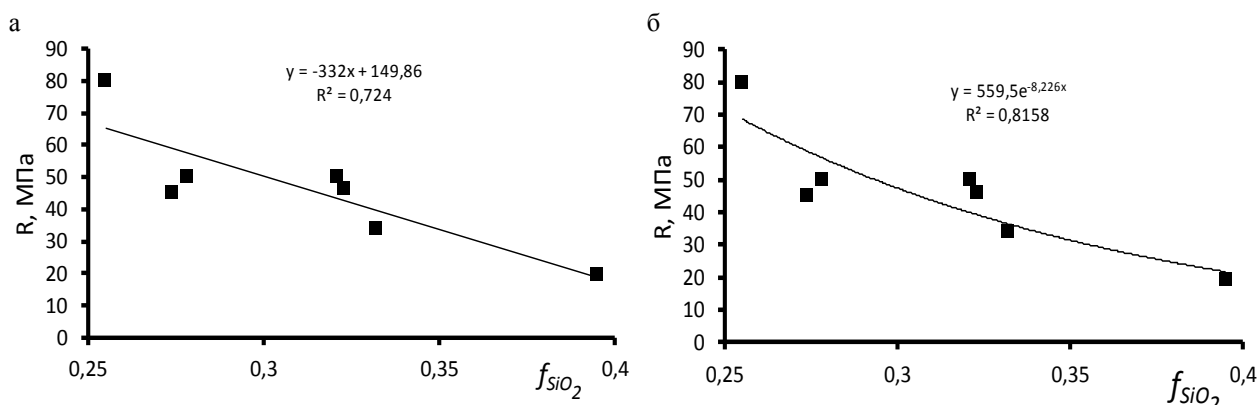


Рис. 2. Зависимость предела прочности при сжатии (R) геополлимерных вяжущих от степени полимеризации стеклофазы в составе зол-уноса: а – линейная; б – логарифмическая

По сравнению с линейной зависимостью, представленной уравнением: $y = -332 \cdot x + 149,86$ имеет коэффициент корреляции $R^2 = 0,724$. В свою очередь, логарифмическая зависимость описывается уравнением: $y = 559,5e^{-8,226 \cdot x}$ и характеризуется более высоким значением коэффициента корреляции $R^2 = 0,8158$. Это связано с тем, что последнее уравнение имеет прогнозную функцию, которая отражает взаимосвязь между максимальным значением прочности геополлимерного камня и минимальным значением SiO_2 -связности, характерной для орто-

силикатов (SiO_2 -связность в данном случае составляет 0,25).

На основании данных РФА-анализа установлено, что в образцах геополлимерного камня на основе зол-уноса и перлита в процессе их твердения наблюдается формирование стеклофазы (что подтверждается увеличением ее концентрации по сравнению с исходными алюмосиликатами), а также цеолитных фаз, таких как содалит $\text{Na}_8(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, канкринит $\text{Na}_7(\text{Al}_6\text{Si}_7\text{O}_{26}) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, цеолит X-типа (табл. 5).

Таблица 5

Фазовый состав новообразований в геополлимерных вяжущих, %

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	Перлит
Содалит	5	—	0,1	10,2	2,1	1,8	1,3	—
Канкринит	—	1,6	—	—	—	—	0,3	—
Цеолит X-типа	—	—	—	—	—	—	—	18
Стеклофаза	—	70,7	70,5	—	78,9	77,6	78	—

Выводы. На основании проведенных исследований было установлено, что степень связности кластеров кремнекислородного тетраэдра – SiO_2 -связность, является важным пара-

метром низкокальциевых алюмосиликатов с высоким содержанием стеклофазы, оказывающим определяющую роль при формировании структуры и прочностных характеристик конечных

консолидированных геополимерных композитов. Сравнительный анализ двух типов низкокальциевых алюмосиликатных компонентов (природного и техногенного) показал, что стеклофаза зол-уноса обладает более высокой реакционной активностью по сравнению с рентгено-аморфной фазой перлита, для которого характерна нанокристалличность структуры.

Источник финансирования. Программа развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова, с использованием оборудования ЦВТ на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зырянов В.В., Зырянов Д.В. Зола уноса. Техногенное сырье. М.: Маска, 2009. 320 с.
2. A. Fernández-Jiménez, A. Palomo, Alkali activated fly ashes: properties and characteristics / Proc. of 11th Int. Cong. Chem. Cem. (ICCC) // G. Grieve, G. Owens (Eds.), Durban (South Africa), 2003. Vol. 3. 3. 1322–1340.
3. Criado M., Fernandez-Jimenez A., de la Torre A.G., Aranda M.A.G., Palomo A. An XRD study of the effect of the SiO₂/Na₂O ratio on the alkali activation of fly ash // Cement and Concrete Research. 2007. № 37. P. 671–679.
4. Duxson P., Provis J.L., Lukey G.C., Mallicoat S.W., Kriven W.M., Van Deventer J.S.J. Understanding the relationship between geopolymer composition, microstructure and mechanical properties // Colloids Surf. 2005. № A 269. P. 47–58.
5. Nuruddin M.F., Qazi S.A., Kusbiantoro A., Shafid N. Utilization of waste materials in geopolymeric concrete // Construction materials. 2011. Vol. 164. Issue CM6. P 315–326
6. Criado M., Fernández-Jiménez A., Palomo A. Alkali activation of fly ash: Effect of the SiO₂/Na₂O ratio. Part I: FTIR study // Microporous and Mesoporous Materials. 2007. № 106. P. 180–191.
7. Shekhovtsova J., Kearsley P. E. Using South African fly ashes as a component of alkali-activated binder / UKIERI Concrete Congress-Innovations in Concrete Construction // University of Pretoria, South Africa. P. 789–798.
8. Palomo A., Grutzeck M.W. and Blanco M. T. Alkali-activated fly ashes A cement for the future. Cement and Concrete Research. 1999. № 29. P. 1323–132.
9. Кожухова Н.И., Жерновский И.В., Фомина Е.В. Фазообразование в геополимерных системах на основе золы-уноса Апатитской ТЭЦ // Строительные материалы. 2015. № 12. С. 85–88.
10. Kozhukhova N.I., Zhernovski I.V., Osadchaya M.S., Strokova V.V., Chizhov R.V. Man-Made Materials for Geo-Polymer Binders // Research Journal of Applied Sciences. 2014. № 9 (12). 1034–1039
11. Калашникова В.А., Жерновский И.В., Кожухова Н.И. Особенности геополимерных вяжущих на основе техногенного алюмосиликатного сырья / Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона // Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Саратов, 2013. С.55–58
12. Kozhukhova N.I., Zhernovsky I.V., Strokova V.V., Kalashnikova V.A. Influence of mechanical and chemoactivation processes on operational characteristics of geopolymer binder // Res J Appl Sci. 2.
13. Fernández-Jiménez A., Palomo A. Characterisation of fly ashes. Potential reactivity as alkaline cements // Fuel. 2003. Vol. 82. № 18. P. 2259–2265(7).
14. Fernández-Jiménez A., de la Torre A.G., Palomo A., López-Olmo G., Alonso M.M., Aranda M.A.G. Quantitative determination of phases in the alkaline activation of fly ash. Part I: Potential ash reactivity // Fuel. 2006. № 85. P. 1960–1969.
15. Škvára F., Jílek T., Kopecký L. Geopolymer materials based on fly ash // Ceramics – Silikáty. 2005. № 49(3). P.195–204.
16. Bockris J., Tomlinson I.W., White I.L. Trans Faraday Soc., 1956. 52 pp.
17. ГОСТ Р 55064-2012. Натр едкий технический. Технические условия. М.:Стенда ртин-форм. 2012. 48 с.
18. Solovyov L.A. Full-profile refinement by derivative difference minimization // Journal of Applied Crystallography. 2004. № 37. P.743–749.
19. ГОСТ 25818-91. Золо-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия. М.: ИПК Издательство стандартов. 1991. 14 с.
20. Глуховский В.Д., Кривенко П.В., Старчук В.Н., Пашков И.А., Чиркова В.В. Шлакощелочные бетоны на мелкозернистых заполнителях. К.: Вища школа, 1981. 224 с.

Информация об авторах

Кожухова Наталья Ивановна, кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и технологии материалов.

E-mail: kozhuhova.ni@bstu.ru; kozhuhovanata@yandex.ru

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

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

Жерновский Игорь Владимирович, кандидат геолого-минералогических наук, профессор кафедры материаловедения и технологии материалов.

E-mail: zhernovsky.igor@mail.ru

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

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

Соболев Константин Геннадьевич, PhD, кандидат технических наук, профессор, зав. кафедрой гражданского строительства и охраны окружающей среды, Школа инжиниринга и прикладных наук

E-mail: k.sobolev@gmail.com

Университет Висконсин-Милуоки, штат Висконсин.

P.O. Box 413, Милуоки, WI 53201, США.

Поступила в январе 2018 г.

© Кожухова Н.И., Жерновский И.В., Соболев К.Г., 2018

N.I. Kozhukhova, I.V. Zhernovsky, K.G. Sobolev

EFFECT OF VARIATIONS IN VITREOUS PHASE OF LOW-CALCIUM ALUMINOSILICATES ON STRENGTH PROPERTIES OF GEOPOLYMER SYSTEMS

Prospective of development of update energy effective and environmentally friendly construction materials are attributed to design of binders based on natural and industrial aluminosilicates with using of athermal technologies of synthesis

For industrial raw based binders, the low-calcium (type F) fly ash is widely used as aluminosilicate component when production of geopolymers. At the same time perlite is promised natural for these binders.

The typical characteristic of this aluminosilicates is high content of vitreous phase (above 60 %), that is the main component for formation of geopolymeric substance. Thereby, strength properties of geopolymer binders depend on solubility degree of aluminosilicate precursors in alkali medium.

According to data of IR-spectroscopy the vitreous phase in this type of raw is nanostructured substance formed from silicate clusters with different polymerization degree.

Empirical relation between compressive strength (MPa) of geopolymer paste and SiO₂ – coherency of vitreous phase is ($R^2=0,8158$) approximated adequate by following regression equation:

$$y = 559,5e^{-8,226 \cdot x}$$

Thus, variety of phase and nano-sized heterogeneity of vitreous component in low-calcium aluminosilicates is dominant factor of monitoring of structure formation in geopolymer binders based on natural and industrial raw.

In this paper the analysis of reactivity of two types of X-ray amorphous phase – vitreous phase in fly ashes and nano-sized crystallinity in perlite was accomplished.

Keywords: low-calcium aluminosilicates, geopolymerization, degree of SiO₂-connectivity.

REFERENCES

1. Zyryanov V.V., Zyryanov D.V. Fly ash – industrial raw, 2009, Moscow, 320 pp.
2. Fernández-Jiménez A., Palomo A., Alkali activated fly ashes: properties and characteristics / Proc. of 11th Int. Cong. Chem. Cem. (ICCC) // G. Grieve, G. Owens (Eds.), Durban (South Africa), 2003, vol. 3, pp. 1322–1340.
3. Criado M., Fernandez-Jimenez A., de la Torre A.G., Aranda M.A.G., Palomo A. An XRD study of the effect of the SiO₂/Na₂O ratio on the alkali activation of fly ash // Cement and Concrete Research, 2007, no. 37, pp. 671–679.
4. Duxson P., Provis J.L., Lukey G.C., Mallicoat S.W., Kriven W.M., Van Deventer J.S.J. Understanding the relationship between geopolymer composition, microstructure and mechanical properties // Colloids Surf, 2005, no. № A 269, pp. 47–58.
5. Nuruddin M.F., Qazi S.A., Kusbiantoro A., Shafid N. Utilization of waste materials in geopolymeric concrete // Construction materials, 2011, vol. 164, Issue CM6, pp. 315–326
6. Criado M., Fernández-Jiménez A., Palomo A. Alkali activation of fly ash: Effect of the SiO₂/Na₂O ratio. Part I: FTIR study // Microporous and Mesoporous Materials. 2007. no. 106. P. 180–191.
7. Shekhovtsova J., Kearsley P.E. Using South African fly ashes as a component of alkali-activated binder / UKIERI Concrete Congress-Innovations in Concrete Construction // University of Pretoria, South Africa, pp. 789–798.
8. Palomo A., Grutzeck M.W., Blanco M.T. Alkali-activated fly ashes A cement for the future. Cement and Concrete Research, 1999, no. 29, pp. 1323–132.
9. Kozhukhova N.I., Zhernovsky I.V., Fomina E.V. Phase formation in geopolymer systems based

on fly ash from Apatite power plants // *Stroitel'nye Materialy*, 2015, no. 12, pp.85–88.

10. Kozhukhova N.I., Zhernovskiy I.V., Osadchaya M.S., Strokova V.V., Chizhov R.V. Man-Made Materials for Geo-Polymer Binders // *Research Journal of Applied Sciences*, 2014, no. 9 (12), pp. 1034–1039

11. Kalashnikova V.A., Zhernovskiy I.V., Kozhukhova N.I. Characteristics of geopolymer binders based on industrial aluminosilicate raw materials / *Proceedings «Source- and energy effective technologies in regional construction complex»* // Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, 2013, pp. 55–58

12. Kozhukhova N.I., Zhernovskiy I.V., Strokova V.V., Kalashnikova V.A. Influence of mechanical and chemoactivation processes on operational characteristics of geopolymer binder // *Res J Appl Sci*, 2015, no. 10(10), pp. 620–623

13. Fernández-Jiménez A., Palomo A. Characterisation of fly ashes. Potential reactivity as alkaline cements // *Fuel*, 2003, vol. 82, no. 18, pp. 2259–2265(7).

14. Fernández-Jiménez A., de la Torre A.G., Palomo A., López-Olmo G., Alonso M.M., Aranda M.A.G. Quantitative determination of phases in the alkaline activation of fly ash. Part I: Potential ash reactivity // *Fuel*, 2006, no. 85, pp. 1960–1969.

15. Škvára F., Jílek T., Kopecký L. Geopolymer materials based on fly ash // *Ceramics – Silikáty*, 2005, no. 49(3), pp. 195–204.

16. Bockris J., Tomlinson I.W., White I.L. *Trans Faraday Soc.*, 1956. 52 pp.

17. Russia Standard 55064-2012. Sodium hydroxide for industrial use. Specifications. Moscow: Standardinform, 2012. 48 pp.

18. Solovyov L.A. Full-profile refinement by derivative difference minimization // *Journal of Applied Crystallography*, 2004, no. 37, pp. 743–749.

19. Russian Standard 25818-91. Thermal plant fly-ashes for concretes. Specifications. Moscow: IPK Standard Publishing House. 1991. 14 pp.

20. Glukhovskiy V.D., Krivenko P.V., Starchuk V.N., Pashkov I.A., Chirkova V.V. *Slag Alkaline Concretes Made with Fine Aggregates*, 1981, Kiev. 224 pp.

Information about the authors

Natalia I. Kozhukhova, PhD, Assistant professor

E-mail: kozhuhova.ni@bstu.ru; kozhuhovanata@yandex.ru

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

Russia, 308012, Belgorod, Kostukov St., 46

Igor V. Zhernovskiy, PhD, Professor.

E-mail: zhernovskiy.igor@mail.ru

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

Russia, 308012, Belgorod, Kostukov St., 46

Konstantin G. Sobolev, PhD, Professor.

E-mail: k.sobolev@gmail.com

University of Wisconsin-Milwaukee.

P.O. Box 413, Milwaukee, WI 53201, USA.

Received in January 2018

**Баранов Е.В., канд. тех. наук, доц.,
Шелковникова Т.И., канд. тех. наук, доц.,
Хорунжий Т.М., магистрант**

Воронежский государственный технический университет

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ДЕКОРАТИВНЫЙ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БЕТОН С ДОБАВКОЙ ПЛАСТИФИКАТОРОМ И НАПОЛНИТЕЛЕМ

baranov.evg@mail.ru

Декоративный мелкозернистый бетон является одним из эффективных отделочных материалов, обладающих необходимым комплексом строительно-технологических и декоративных свойств. Повышение эффективности и качества декоративного мелкозернистого бетона в полной мере может быть успешно решено применением различных видов добавок. Для направленного регулирования свойств мелкозернистой бетонной смеси на основе белого портландцемента и бетона было рассмотрено влияние различных видов добавок суперпластификаторов (с линейной формой полимерной цепи на основе сульфированных нафталинформальдегидных смол и с поперечными связями двух- или трехмерной формы полимерной цепи на основе модифицированного поликарбоксилата), а с целью экономии белого портландцемента при производстве светлых тонов декоративного камня из мелкозернистого бетона предложено в качестве наполнителя использовать карбонаткальцевые отходы.

Ключевые слова: декоративный мелкозернистый бетон, пластифицирующие добавки, карбонаткальцевые отходы.

Введение. В современном промышленном и гражданском строительстве создание ярких, выразительных зданий, городских районов и поселков, отвечающих запросам современных застройщиков, дизайнеров и архитекторов является одной из приоритетных задач для материаловедов и строителей. Цветовые решения для декоративного оформления фасадов могут создаваться за счет использования различных строительных материалов: цветного облицовочного кирпича, керамической плитки, декоративных штукатурных растворов, фасадных красок, природного камня, декоративных бетонов и др.

Одним из перспективных отделочных материалов для цоколей зданий является искусственный декоративный камень из мелкозернистого бетона светлых тонов, получаемый на основе белого портландцемента. Изменение цветовой гаммы изделий традиционно осуществляется путем окрашивания белого цемента щелочестойкими пигментами. Высокое содержание цветного вяжущего в бетоне позволяет получить хорошую цветовую выразительность, гладкую, плотную поверхность изделий, однако, вызывает перерасход дорогостоящего белого цемента.

Достижение требуемой удобоукладываемости бетонной смеси и получение гладкой, бездефектной поверхности изделий возможно путем регулирования реологических свойств мелкозернистой бетонной смеси за счет варьирования составов и введения добавок как минеральных, так и органических или органоминеральных. Одним из наиболее универсальных, до-

ступных и гибких способов управления технологией бетона для получения заданных свойств изделий является применение суперпластификаторов [1–9].

Эффективность суперпластификаторов зависит от структуры молекул, вида функционально активных групп, а также от их расположения в молекулах, длины и формы цепей, молекулярной массы. Адсорбируясь на активных центрах вяжущего, суперпластификаторы снижают внутреннее трение частиц твердой фазы и диспергируют ее, что и обеспечивает получение требуемой удобоукладываемости бетонной смеси при меньшем расходе воды затворения [3–7].

Для направленного регулирования свойств бетонной смеси и затвердевшего мелкозернистого бетона на основе белого портландцемента было изучено влияние добавок – суперпластификаторов двух типов:

- с линейной формой полимерной цепи на основе сульфированных нафталинформальдегидных смол (суперпластификатор С-3);
- с поперечными связями и двух- или трехмерной формы полимерной цепи на основе модифицированного поликарбоксилата (суперпластификатор ViscoCrete®-3088).

Указанные добавки оказывают как пластифицирующий, так и водоредуцирующий эффекты.

Механизм действия добавки С-3 основан на эффекте электростатического отталкивания цементных частиц друг от друга благодаря адсорбции отри-

цательно заряженных молекул на поверхности цементных частиц [3–5].

Действие суперпластификаторов на основе поликарбоксилатов основано на совокупности электростатического и стерического (пространственного) эффекта, который достигается за счет боковых гидрофобных полиэфирных цепей молекул поликарбоксилатного эфира. Именно поперечные звенья молекул поликарбоксилатного эфира создают адсорбционную объемную защитную оболочку вокруг частиц твердой фазы, предотвращая слипание частиц и способствуя их взаимному отталкиванию [3, 4].

Методика. Для изучения влияния пластифицирующих добавок на физико-механические свойства мелкозернистого бетона приготавливалась смесь равной консистенции, следующего состава: вяжущее вещество и кварцевый песок в соотношении 1:3 при распыле основания конуса на встряхивающемся столике равном 110 мм. В качестве вяжущего вещества использовался

белый портландцемент марки М 400, в качестве заполнителя применяли кварцевый песок с модулем крупности М 1,6. Добавки вводились в растворную смесь вместе с водой затворения. Прочностные свойства определялись на образцах-балочках размером 4×4×16 см.

Основная часть. На начальном этапе рассматривался водоредуцирующий эффект от введения добавок суперпластификаторов в мелкозернистую бетонную смесь. Установлено, что введение добавок в мелкозернистую бетонную смесь позволяет снизить расход воды при получении одинаковой консистенции смеси. При использовании добавки С-3 В/Ц снижается с 0,49 до 0,412, а при использовании добавки ViscoCrete®-3088 В/Ц снижается с 0,49 до 0,36. Водоредуцирующий эффект от применения различной дозировки суперпластификаторов в мелкозернистой бетонной смеси представлен на рисунке 1.

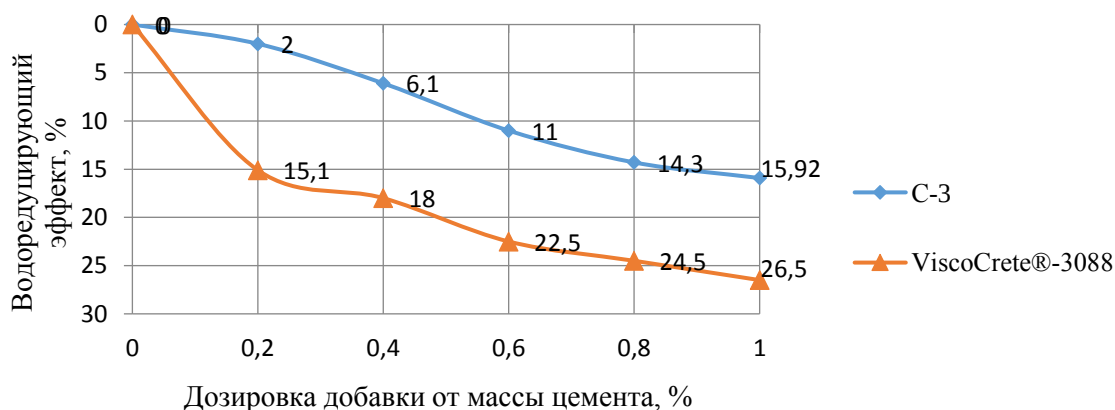


Рис. 1. Влияние дозировки суперпластификаторов на водоредуцирующий эффект в мелкозернистой бетонной смеси

Наибольший водоредуцирующий эффект на мелкозернистую бетонную смесь оказывает добавка ViscoCrete®-3088. Сокращение расхода воды при сохранении подвижности в дальнейшем должно привести к повышению плотности и прочности мелкозернистого бетона.

Обе добавки оказывают также положительное влияние на кинетику набора прочности цементного камня из белого портландцемента в возрасте 3, 7, 28 суток. Наибольшее значение предела прочности при сжатии имеет цементный камень с добавкой ViscoCrete®-3088 (в возрасте 28 суток – до 68 МПа). Благодаря водоредуцирующему действию добавки в цементном тесте снижается объем межзернового пространства и обеспечивается более тесный контакт между оболочками из гидратных продуктов на поверхности соседних зерен вяжущего, что спо-

собствует объединению их в более плотный и прочный конгломерат [3–5].

При использовании суперпластификаторов выявлены оптимальные дозировки добавок для декоративного мелкозернистого бетона:

- оптимальная дозировка добавки С-3 составляет 0,4–0,8 % от массы цемента;
- оптимальная дозировка добавки ViscoCrete®-3088 составляет 0,6–1 % от массы цемента (рис. 2).

Избыточная концентрация добавки (выше установленной оптимальной дозировки) приводит к снижению прочности из-за замедления процесса гидратации и структурообразования цемента. Все частицы твердой фазы покрываются коллоидно-адсорбционными слоями молекул ПАВ, в результате затрудняется доступ воды к поверхности гидратирующих зерен цемента, что и приводит к замедлению процесса гидратации.

Избыточная дозировка добавки в некоторых тонной смеси [3].
случаях может привести даже к расслоению бе-

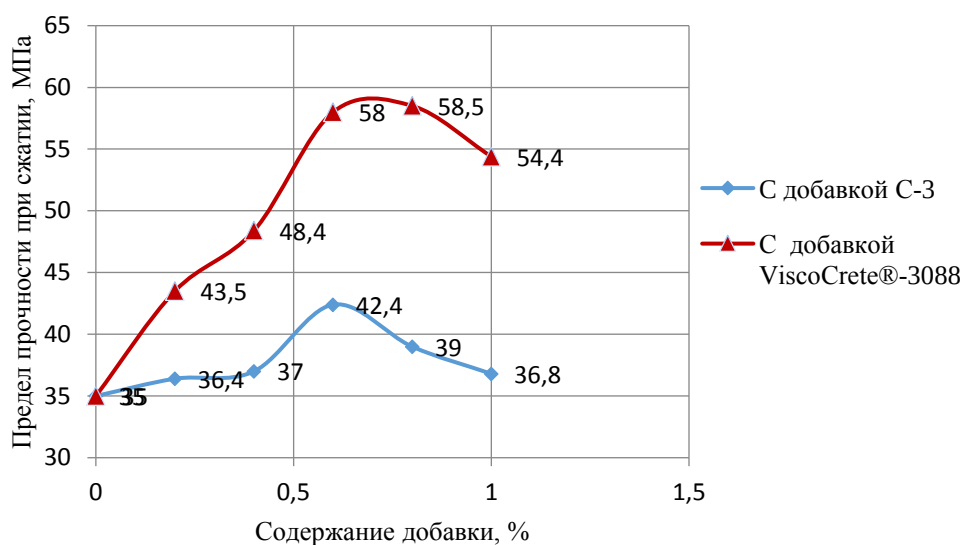


Рис. 2. Влияние количества добавки на прочность мелкозернистого бетона в возрасте 28 суток

Исследуемые добавки оказывают положительное влияние на набор прочности декоративного мелкозернистого бетона на протяжении

всего периода твердения. Кинетика набора прочности мелкозернистого бетона с пластифицирующими добавками представлена на рис. 3.

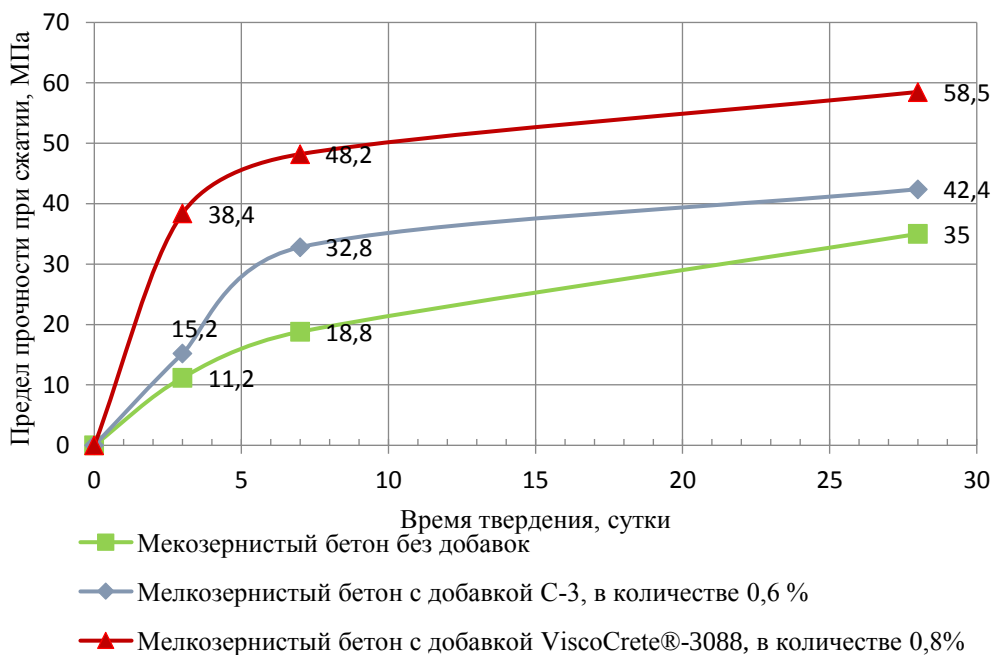


Рис. 3. Кинетика набора прочности мелкозернистого бетона с пластифицирующими добавками

Прирост прочности мелкозернистого бетона при применении суперпластификатора С-3 меньше, чем при использовании добавки ViscoCrete®-3088, что коррелирует с водоредуцирующей способностью этих добавок.

Предел прочности всех видов полученных мелкозернистых бетонов в 2–3 раза превышает требования нормативных документов (не менее 20 МПа). Поэтому для обеспечения прочности декоративного камня из мелкозернистого бетона, соответствующей требованиям нормативных документов, рассмотрена возможность сокра-

щения расхода вяжущего вещества при применении суперпластификаторов. Однако, при малом расходе вяжущего вещества не представляется возможным обеспечить надлежащее качество поверхности изделия, так как удобоукладываемость бетонной смеси улучшается с увеличением объема цементного теста в бетонной смеси. Поскольку для производства декоративного мелкозернистого бетона используется относительно дорогой белый портландцемент, то с целью снижения материальных затрат, представляется целесообразным применять наполни-

тели, заменяя ими часть цемента. Введение наполнителя обуславливает получение необходимого объема теста связующего, обеспечивающего образование достаточной толщины обмазки на поверхности зерен заполнителя, и, благодаря этому, получение заданной удобоукладываемости смеси и гладкой, без раковин поверхности изделия [2, 4, 8, 10, 11].

При использовании белого цемента традиционно, с целью не снижения белизны изделия, в качестве наполнителя применяют измельченные известняки. Известно, что карбонатные частицы способны оказывать положительное влияние на процессы структурообразования компо-

зиционных цементных материалов, играя роль каркасообразующего компонента, служат центрами кристаллизации, выступают в качестве затравок и зонируют новообразования, создавая контактные слои с новыми физико-химическими связями [8, 10].

Для снижения стоимости сырьевых компонентов в качестве наполнителя использовали карбонаткальцевый отход производства нитроаммофоски (конверсионный мел). Химический состав и технологические свойства карбонаткальцевого отхода представлены в таблицах 1, 2 [8, 12–15].

Таблица 1

Химический состав карбонаткальцевого отхода

Содержание вещества, %							
CaCO ₃	NH ₄ NO ₃	SiO ₂ (по сухому)	Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃	Ca(OH) ₂	P ₂ O ₅	Избыточный аммиак	Прочие
86,0	3,66	3,66	0,33-0,35	2,0	5	0,5	0,49–1,5

Таблица 2

Технологические характеристики карбонаткальцевого отхода

Удельная площадь поверхности см ² /г	Истинная плотность, кг/м ³	Межзерновая пустотность, %	Насыпная плотность, кг/м ³	Теплота смачивания, кДж/кг
700–800	2530	54÷55	1160	5,8

Применение данного наполнителя позволит сократить расход цемента и одновременно утилизировать отход производства, улучшая тем самым экологическую обстановку в местах его образования и захоронения [8, 12–15].

Рассмотрено комплексное влияние пластифицирующей добавки ViscoCrete®-3088 и наполнителя – карбонаткальцевого отхода производства нитроаммофоски на прочность декоративного мелкозернистого бетона.

Наполнитель в количестве 10–50 % от массы связующего (цемент + наполнитель) предварительно смешивался с цементом, после чего

приготавливалась смесь для мелкозернистого бетона по выше описанной методике.

При использовании карбонаткальцевого отхода и суперпластификатора ViscoCrete®-3088 водопотребность бетонной смеси снижается по сравнению с бетонной смесью с суперпластификатором, но без наполнителя. При введении 10 % наполнителя В/Т составляет 0,37, а при введении наполнителя 50 % В/Т составляет 0,33.

Влияние минерального наполнителя и суперпластификатора на прочностные показатели декоративного мелкозернистого бетона представлено на рис. 4.



Рис. 4. Влияние содержания наполнителя и пластифицирующей добавки ViscoCrete®-3088 (0,8 %) на прочность декоративного мелкозернистого бетона в возрасте 28 суток

Применение карбонаткальцевого наполнителя привело к снижению прочности уже при введении его в количестве 10 %, что обусловлено снижением цементной составляющей при одинаковом водотвердом отношении. При введении 20–30 % наполнителя дальнейшее снижение прочностных показателей происходит незначительно, что обусловлено уменьшением водотвердого отношения и только при добавлении 40–50 % наполнителя происходит значительный спад прочности до требуемых 20 МПа, что связано с существенным сокращением цементной составляющей. Тот фактор, что карбонатный наполнитель имеет химическое сродство с цементом, по крупности занимает промежуточное положение между цементными и песчаными частицами, позволил получить мелкозернистый бетон с гладкой поверхностью и требуемыми механическими свойствами.

Выводы. В ходе проведения исследований установлено, что исследуемые добавки (С-3 и ViscoCrete®-3088) обладают пластифицирующей водоредуцирующей способностью и наибольшим водоредуцирующим эффектом обладает добавка ViscoCrete®-3088, что обусловлено ее строением; оказывают положительное влияние на прочностные показатели декоративного мелкозернистого бетона на основе белого цемента на протяжении всего периода твердения бетона. Наиболее высокие прочностные показатели получены при использовании добавки ViscoCrete®-3088 (добавка основе поликарбонатов) при оптимальной дозировке 0,6–1 %. С целью экономии белого портландцемента, для декоративного камня на основе мелкозернистого бетона с пределом прочности при сжатии не менее 20 МПа, можно рекомендовать использование карбонаткальцевых отходов с заменой до 30–40 % цемента на карбонаткальцевый отход в сочетании с пластифицирующей добавкой ViscoCrete®-3088.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Дондуков В.Г. Цементы и добавки для производства высокопрочных бетонов // Строительные материалы. 2017. № 7. С. 4–10.
2. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: Изд-во АСВ, 2006. 368 с.
3. Изотов В.С., Соколова Ю.А. Химические добавки для модификации бетона. М.: Изд-во «Палеотип». 2006. 244 с.
4. Касторных Л. И. Добавки в бетоны и строительные растворы учебно-справочное пособие: 2е изд. Ростов н/д: Из-во Феникс. 2007. 211 с.
5. Косухин М.М., Косухин А.М., Богачева М.А., Шаповалов Н.А. Изучение влияния различных по природе суперпластификаторов на реологию водных суспензии клинкерных минералов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №10. С. 129–134.
6. Lothenbach B., Winnefeld F., Figi R. The influence of superplasticizers on the hydration of Portland cement // Proceedings of the 12th International Congress on the Chemistry of Cement. Montreal. 2007. Pp. 211–233.
7. Bullard J.W., Jennings H.M., Livingston R.A., et.al. Mechanisms of cement hydration // Cement and Concrete Research. 2011. № 41. Pp. 1208–1223.
8. Крылова А.В., Ткаченко Т.Ф., Перцев В.Т. Эффективные модификаторы цементных систем на основе техногенных отходов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2012. № 5. С. 61–63.
9. Косухин М.М., Косухин А.М. Теоретические и методологические основы создания полифункциональных модификаторов монолитных бетонов для проведения реконструкционных работ // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №1. С. 23–32.
10. Белов В.В., Куляев П.В. Принципы проектирования мелкозернистых карбонатных бетонов повышенной трещиностойкости // Строительные материалы. 2017. № 7. С. 44–47.
11. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Толстой А.Д., Ковалева И.А. Порошковые бетоны с применением техногенного сырья // Вестник МГСУ. 2015. № 11. С. 101–109.
12. Чернышов Е.М., Акулова И.И., Потамошнев Н.Д., Баранов Е.В. Управление утилизацией техногенных отходов в производстве строительных материалов при формировании территориально-промышленных кластеров региона // Известия юго-западного государственного университета. 2011. №5-2 (38). С. 19–32.
13. Кукина О.Б. Техногенные карбонаткальцевые отходы и технология их использования в строительных материалах с учетом структурообразующей роли: Автореф. дис. канд. техн. наук. Воронеж, 2002. 20 с.
14. Кукина О.Б. Карбонаткальцевые отходы для строительных материалов. Структурообразующая роль карбонаткальцевых отходов в бесклинкерных и клинкерных системах твердения. Саарбрюккен: Изд-во LAP LAMBERT. 2013. 109 с.
15. Чернышов Е.М., Потамошнев Н.Д. Развитие методологии, теории и научно-

прикладных основ строительно-технологической утилизации неорганических техногенных отходов // Вестник центрального

регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. 2016. № 15. С. 124–148.

Информация об авторах

Баранов Евгений Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций.

E-mail: baranov.evg@mail.ru

Воронежский государственный технический университет.

Россия, 394006, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, д. 84

Россия, 394026, г. Воронеж, Московский проспект, 14

Шелковникова Татьяна Иннокентьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций.

E-mail: tschelk@mail.ru

Воронежский государственный технический университет.

Россия, 394006, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, д. 84.

Россия, 394026, г. Воронеж, Московский проспект, 14.

Хорунжий Татьяна Михайловна, магистрант кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций.

E-mail: baranov.evg@mail.ru

Воронежский государственный технический университет.

Россия, 394006, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, д. 84.

Россия, 394026, г. Воронеж, Московский проспект, 14.

Поступила в февраль 2018 г.

© Баранов Е.В., Шелковникова Т.И., Хорунжий Т.М., 2018

E.V. Baranov, T.I. Shelkovnikova, T.M. Khorunzhiy DECORATIVE FINE-GRAINED MODIFIED CONCRETE WITH PLASTIZING ADDITIVE AND FILLER

Decorative fine-grained concrete is one of the effective finishing materials which possess the necessary complex of building-technological and decorative properties. Improving the efficiency and quality of decorative fine-grained concrete can be successfully solved with the use of various types of additives. For the purposeful regulation of the properties of a fine-grained concrete mixture based on white Portland cement and concrete, the influence of various types of superplasticizers used as additives was studied (with a linear form of a polymer chain based on sulfonated naphthalene formaldehyde resins and cross-linked two- or three-dimensional polymeric chain forms based on modified polycarboxylate). In order to save white Portland cement in production of decorative stone of light tones from fine-grained concrete it is proposed to use calcium carbonate waste as filler.

Keywords: decorative fine-grained concrete, plasticizing additives, calcium carbonate waste

REFERENCES

1. Kaprielov S.S., Sheinfel'd A.V., Dondukov V.G. Cements and additives for the production of high-strength concretes // *Stroitel'nye materialy*, 2017, no. 7, pp. 4–10.

2. Bazhenov Ju.M., Dem'janova V.S., Kalashnikov V.I. Modified highquality concrete. Moskva: ASV. 2006, 368 p.

3. Izotov V.S., Sokolova Ju.A. Chemical additives for concrete modification. Moskva: «Paleo-tip». 2006, 244 p.

4. Kastornyh L.I. Additives in concrete and mortar. Rostov n/d: Feniks. 2007, 211p.

5. Kosuhin M.M., Kosuhin A.M., Bogacheva M.A., Shapovalov N.A. The study of the effect of various superplasticizers on the rheology of aqueous suspensions of clinker minerals // *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2017, no. 10, pp. 129–134.

6. Lothenbach B., Winnefeld F., Figi R. The influence of superplasticizers on the hydration of Portland cement // *Proceedings of the 12th International Congress on the Chemistry of Cement*. Montreal, 2007, pp. 211–233.

7. Bullard J.W., Jennings H.M., Livingston R.A., et.al. Mechanisms of cement hydration // *Cement and Concrete Research*, 2011, no. 41, pp. 1208–1223.

8. Krylova A.V., Tkachenko T.F., Percev V.T. Effective modifiers of cement systems based on man-made waste // Scientific bulletin of the Voronezh State Architectural and Construction University. Series: Physico-chemical problems and high technologies of building materials science, 2012, no. 5, pp. 61–63.

9. Kosuhin M.M., Kosuhin A.M. Theoretical and methodological foundations for the creation of polyfunctional modifiers for monolithic concrete for reconstruction works // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2017, no. 1, pp. 23–32.

10. Belov V.V., Kuljaev P.V. Principles of designing fine-grained carbonate concretes with increased crack resistance // Stroitel'nye materialy, 2017, no. 7, pp. 44–47.

11. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Tolstoy A.D., Kovaleva I.A. Powdered concrete using technogenic raw materials // Bulletin MGSU, 2015, no. 11, pp. 101–109.

12. Chernyshov E.M., Akulova I.I., Potamoshneva N.D., Baranov E.V. Managing the utilization

of man-made waste in the production of building materials in the formation of territorial and industrial clusters of the region // Izvestiya of the South-Western State University, 2011, no. 5-2 (38), pp. 19–32.

13. Kukina O.B. Technogenic carbonaceous waste and technology of their use in building materials taking into account the structure-forming role. Voronezh: VGASA. 2002, 20 p.

14. Kukina O.B. Carbonate waste for building materials. Structure-forming role of carbonaceous waste in clinkerless and clinker hardening systems. Saarbrücken: LAPLAMBERT. 2013, 109 p.

15. Chernyshov E.M., Potamoshneva N.D. Development of methodology, theory and scientific and applied principles of construction and technological utilization of inorganic man-caused waste // Bulletin of the Central Regional Branch of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, 2016, no. 15, pp. 124–148.

Information about the author

Evgeny V. Baranov, PhD, Assistant professor.

E-mail: baranov.evg@mail.ru

Voronezh State Technical University.

Russia, 394006, Voronezh, st. 20 let Oktyabrya, 84.

Russia, 394026, Voronezh, Moskovsky as, 14.

Tatyana I. Shelkovnikova, PhD, Assistant professor.

E-mail: tschelk@mail.ru.

Voronezh State Technical University.

Russia, 394006, Voronezh, st. 20 let Oktyabrya, 84.

Russia, 394026, Voronezh, Moskovsky as, 14.

Tatyana M. Khorunzhiy, Master student.

E-mail: baranov.evg@mail.ru

Voronezh State Technical University.

Russia, 394006, Voronezh, st. 20 let Oktyabrya, 84.

Russia, 394026, Voronezh, Moskovsky as, 14.

Received in February 2018

СОРБЦИЯ ВОДНОЙ ФАЗЫ МИНЕРАЛЬНОЙ САПОНИТ-СОДЕРЖАЩЕЙ ДОБАВКОЙ В МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ БЕТОНЫ

m.morozova@narfu.ru

В работе дана оценка сорбционной способности механоактивированного до высокодисперсного состояния сапонит-содержащего отхода алмазодобывающей промышленности Архангельской области, который при добавлении в бетонную смесь способен управлять ее структурообразованием. Исследование сорбционных свойств сапонит-содержащего материала (ССМ) показали, что процесс самонасыщения твердой фазы водяными парами имеет продолжительный характер и сопровождается адсорбционно-десорбционным гистерезисом. Отмеченный дисбаланс в массах исходных образцов и образцов после проведения сорбции и десорбции связан, с увеличением содержания связанной воды. Записанные ИК-спектры показали наличие в материале, после удаления из него остаточной влаги, новообразований в виде аморфных (связанных с водой) силикатных групп. Установлено, что за счёт сорбционных свойств ССМ способен оптимизировать содержание водной фазы в системе. Это способствует улучшению реологических характеристик бетонной смеси на стадии приготовления и положительно сказывается на процессе структурообразования, повышая эксплуатационные характеристики композита. Установлено, что механоактивированный ССМ может проявлять не только свойства сорбента, регулирующего содержание воды в реакционной системе, но и использоваться как активная минеральная добавка в вяжущих композициях.

Ключевые слова: сорбция, механоактивация, удельная поверхность, мелкозернистый бетон, сапонит-содержащий материал.

Введение. Реализация программы развития Северных и Арктических территорий не представляется возможной без использования в строительной индустрии современных материалов и технологий. Одним из наиболее распространенных и востребованных строительных материалов является мелкозернистый бетон [1–5].

В условиях Севера и Арктики важным параметром бетонного композита является морозостойкость, которая напрямую зависит от водоцементного (В/Ц) отношения. Наличие свободной несвязанной воды в бетоне приводит к потере прочности и расслаиванию смеси. При воздействии отрицательных температур не связанная вода замерзает и расширяется в поровом пространстве композита, создавая тем самым избыточное давление, которое приводит к появлению трещин и нарушению целостности бетонной конструкции. Решение этой проблемы сводится к управлению В/Ц отношением с целью уменьшения количества свободной воды в бетонной смеси, а также использованию добавок противоморозного действия и пластификаторов [6–8].

Для повышения эксплуатационных характеристик бетонного композита используют различные химические добавки. Вследствие высокой стоимости и сложности получения суперпластификаторов, все чаще возникает необходимость разработки других более дешёвых добавок, осно-

ванных на минеральном сырье природного и техногенного происхождения.

В последнее время для формирования структуры композита используют высокодисперсные модифицирующие добавки. Особенностью которых является то, что после механического диспергирования материала высвобождается большое количество свободной энергии, которая тратится на образование новых систем [9].

Определяющим фактором для эффективного процесса твердения бетонного композита является реакция гидратации клинкерных минералов, которая сопровождается образованием коллоидно-дисперсных фаз, представленных в виде гидросиликатов кальция разной основности [10–12]. Для получения частиц коллоидных размеров с последующим образованием зародышей новой фазы необходимо достичь определенной степени пересыщения системы этим веществом.

Известно, что формирование коллоидных систем управляется скоростью образования зародышей гидросиликатов кальция и скоростью их роста, что прямо пропорционально степени пересыщения раствора. Следовательно, за счет физической сорбции воды можно регулировать в процессе приготовления и твердения бетона водоцементное отношение (В/Ц). Это позволит стабилизировать степень пересыщения системы относительно новообразований гидросиликатов [13] и приведет к равномерному распределению продук-

тов реакции гидратации клинкерных минералов по всему объему композита.

В качестве такой добавки можно использовать сапонит-содержащий отход (ССО) алмазодобывающей промышленности, образующийся в процессе обогащения кимберлитовых руд и складирующийся в хвостохранилище предприятия. Данный отход в основном представлен сапонитом (60 ... 70 %), который является разновидностью бентонитовых глин и обладает рядом её свойств (набухание при гидратации, образование плотного геля, препятствующего проникновению влаги, нетоксичность, химическая стойкость).

Использование сапонита в качестве добавки, оказывающей комплексное воздействие на свойства бетонной смеси (регулирование подвижности, плотности, повышение прочности, морозостойкости) позволит выделить новое направление использования отходов и уменьшить антропогенную нагрузку на регион, а также снизить стоимость конечной продукции (замена химических составляющих на минеральное сырье), получить новый экологически чистый продукт.

В исследованиях [14, 15] показано, что твердая фаза ССО после ее механоактивации способна выступать также в качестве дополнительного связующего за счет частичной аморфизации поверхности. Причем, этот эффект проявляется только на обезвоженном высокодисперсном образце.

Основным процессом, позволяющим регулировать В/Ц отношение при твердении бетонного композита, является физическая сорбция воды модификатором. Поэтому целью исследований, приведенных в данной работе, является характеристика сорбционно-десорбционных свойств сапонит-содержащего отхода по отношению к воде, и идентификация возможных продуктов реакций гидратации высокодисперсной минеральной добавки.

Методология.

В качестве добавки в бетонную смесь был использован сапонит-содержащий материал, который предварительно выделяли из суспензии оборотной воды методом электролитной коагуляции, основанной на переводе высокодисперсных частиц твердой фазы в состояние, близкое к изoeлектрическому.

Выделенный из оборотной воды сапонит-содержащий материал (ССМ) доводили до постоянной массы при температуре 105 °С.

Для получения высокодисперсной добавки использовали метод механического диспергирования на планетарной шаровой мельнице «Retsch PM100» (сухой помол). Размер частиц определяли на анализаторе размера субмикронных частиц и дзета-потенциала «Delsa Nano C» методом измерения динамического и электрофоретического

светорассеяния.

Полученные высокодисперсные образцы охарактеризовали по величине удельной поверхности $S_{уд}$, определенной методом сорбции азота на анализаторе «Autosorb-iQ-MP».

В центре коллективного пользования «Арктика» (ЦКП «Арктика») на электронном растровом микроскопе «Zeiss Sigma VP» были сделаны фотографии высокодисперстного ССМ (увеличенные до 20000 раз с разрешением до 1,3 нм). Минеральный состав материала определяли на установке «Lab Center XRF-1800» (ЦКП «Арктика») методом измерения интенсивности рентгеновского флуоресцентного (характеристического) излучения.

Процесс сорбции сапонит-содержащего материала изучали путем помещения его навески (100 г), взятой на технических весах, в эксикатор над слоем дистиллированной воды при постоянной температуре окружающей среды 25 ± 1 °С. Влагопоглощение охарактеризовали изменением массы образца, которое определялось через заданные промежутки времени. Результаты измерений основывались на трех параллельных экспериментах.

Для проведения процесса десорбции влагонасыщенный материал помещали в эксикатор над слоем оксида кальция, при температуре среды 25 ± 1 °С. Затем навеску ССМ помещали в сушильный шкаф (температура 105 °С). Для доведенного до постоянной массы образца были записаны ИК-спектры, с использованием ИК-Фурье-спектрометра «Vertex 70v». Запись спектров проводилась в диапазоне $4000-600$ см⁻¹ с разрешением 4 см⁻¹.

Запись рентгеновских дифрактограмм осуществлялась в ЦКП «Арктика» на рентгеновском дифрактометре «Shimadzu XRD-7000 S».

Основная часть. Для каждой исследуемой пробы сапонит-содержащего материала подбирали оптимальные режимные параметры диспергирования, позволяющие получать минимальный размер частиц образцов и высокую воспроизводимость результатов. При этом скорость вращения ротора составила 420 об/мин. Для диспергирования использовали карбидвольфрамовые размольные тела (20 шт.).

В процессе помола на шаровой мельнице были получены пробы ССМ с размерным диапазоном частиц от 1 мкм до 400 нм и удельной поверхностью от 18610 ± 10 м²/кг до 50670 ± 20 м²/кг, соответственно (рис.1, 2).

На основании полученных данных (рис. 1 и 2) отмечен факт резкого возрастания величины удельной поверхности по мере приближения размерных характеристик материала к диапазону, характерному для наносистем. Зависимость меж-

ду $S_{уд}$ сапонит-содержащего материала и временем диспергирования (τ), показала, что увеличение последнего не приводит к возрастанию удельной поверхности. При увеличении времени механообработки более 100 минут наблюдается конгломерация частиц в системе.

Поэтому для дальнейших исследований использовали фракцию с $S_{уд} = 50670 \text{ м}^2/\text{кг}$ (средний размер частиц 445 нм, время помола 90 мин.).

Выполненный химический анализ ССМ показал, что основными элементами используемых образцов (в пересчете на оксиды) являются: SiO_2 , MgO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO и K_2O . Суммарное содержание которых составило 97,4 %.

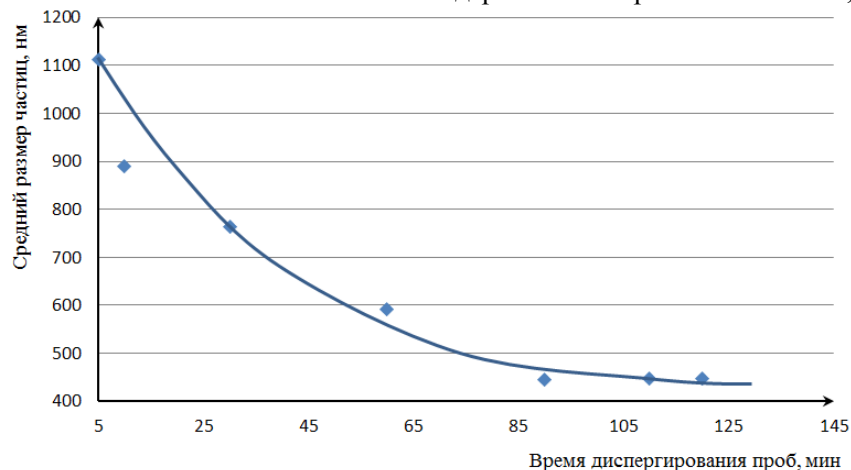


Рис. 1. Зависимость среднего размера частиц ССМ от времени его диспергирования

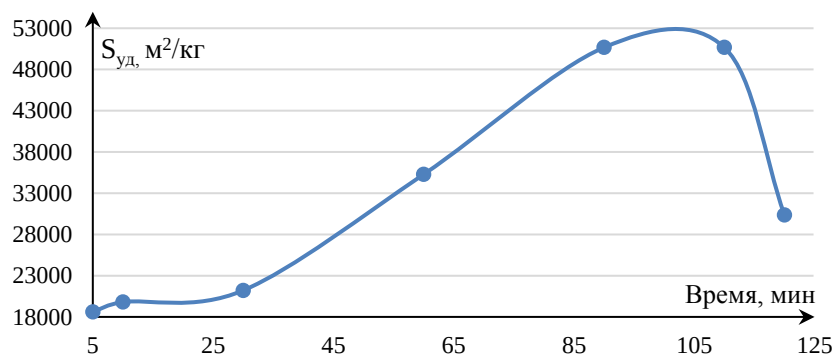


Рис. 2. Зависимость величины удельной поверхности ССМ от времени диспергирования

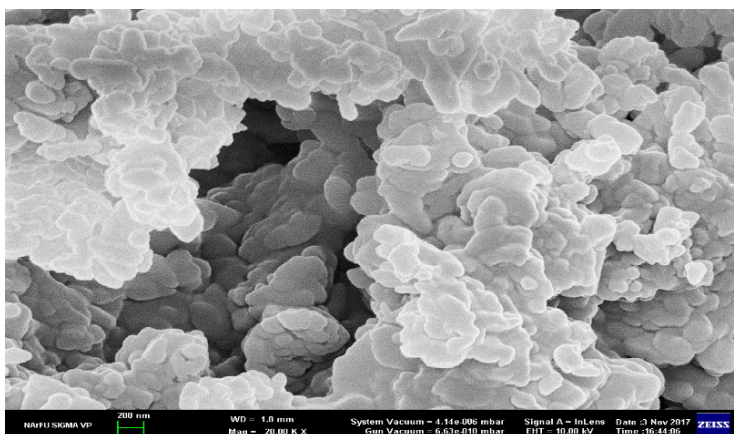


Рис. 3. Микрофотография образца ССМ ($S_{уд} = 50670 \text{ м}^2/\text{кг}$), полученная на растровом электронном микроскопе «Sigma VP»

Анализ микроструктуры сапонита показал, что материал обладает чешуйчатой структурой с многочисленными пустотами способных заполняться водой (рис. 3).

Исследование сорбционных свойств сапонит-содержащего материала ($S_{уд} = 50670 \text{ м}^2/\text{кг}$) показали, что процесс самонасыщения твердой фазы водяными парами имеет продолжительный характер. Полное насыщение поверхности испытуемого

го материала наблюдается спустя 12 суток от начала эксперимента и сопровождается увеличением массы образца на 8 % (насыщение поверхностного слоя навески). Процесс десорбции влаги из анализируемой пробы имеет характер, отличный от изотермы адсорбции.

Анализ результатов проведенного эксперимента показал наличие в системе «ССМ–водяной пар» адсорбционно-десорбционного гистерезиса. Отмеченный при этом дисбаланс в массах исходных образцов и образцов после десорбции связан с увеличением содержания связанной воды.

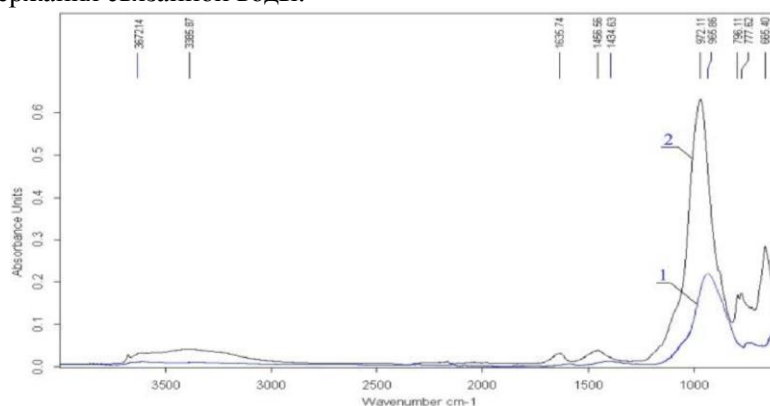


Рис. 4. ИК-спектр образца ССМ: 1 – исходного; 2 – после десорбции

Исследования фазово-структурной гетерогенности опытных образцов сапонит-содержащего материала показали, что содержание аморфной фазы после диспергирования увеличилось в 2 раза по сравнению с исходным (с 20 до 40 %). Это свидетельствует о том, что механоактивированный ССМ может проявлять не только свойства сорбента, регулирующего содержание воды в реакционной системе, но и использоваться как активная минеральная добавка в вяжущих композициях.

Выводы.

1. Установлено, что сапонит-содержащего материала способен проявляет свойства сорбента, оптимизирующего содержание водной фазы в системе. Это может способствовать улучшению реологических характеристик бетонной смеси на стадии приготовления и положительно сказывается на процессе структурообразования, повышая эксплуатационные характеристики бетона.

2. Отмечено, что механоактивированный ССМ может не только регулировать содержание воды в реакционной системе за счёт сорбционных свойств, но и использоваться как активная минеральная добавка в вяжущих композициях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sohail M.G., Wang B., Jain A., Dawood, M., Belarbi, A. Advancements in concrete mix designs: High-performance and ultrahigh-performance

После проведения процессов десорбции и удаления из образцов сапонита остаточной влаги были записаны спектры анализируемых проб. Результаты ИК-спектроскопии (рис. 4) показали наличие в материале новообразований в виде аморфных (связанных с водой) силикатных групп (975 см^{-1}). Однако, для исходного (не механоактивированного) ССМ интенсивность колебаний, при тех же волновых числах, в несколько раз ниже, чем у образцов после десорбции.

concretes from 1970 to 2016 // Journal of Materials in Civil Engineering. 2018. №30(3). Pp. 04017310.

2. Гринёв А.П., Рудченко И.И., Никогда В.О. Мелкозернистый бетон для монолитного строительства // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 58. С. 203-214.

3. Андреева А.В., Буренина О.Н., Давыдова Н.Н., Даваасенгэ С.С., Саввинова М.Е. Мелкозернистый бетон при зимнем бетонировании // Приволжский научный вестник. 2015. №12-1 (52). С. 19-23.

4. Лесовик В.С. Строительные материалы. Настоящее и будущее // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. №1(100). С. 9-16.

5. Иноземцев А.С., Королев Е.В. Высокопрочный легкий бетон как инструмент для развития строительной отрасли // Бетон и железобетон. 2017. №1(16). С. 14-16.

6. Wang H.-J., Wang H.-H., Wei H., Gu, C.-Y. Analysis for frost-resistant durability of C25 level hydraulic concrete in severe cold region, Shenyang Gongye Daxue Xuebao // Journal of Shenyang University of Technology. 2015. №37(2). Pp. 207-211.

7. Davraz M., Ceylan H., Topçu İ.B., Uygunoğlu T. Pozzolanic effect of andesite waste powder on mechanical properties of high strength concrete // Construction and Building Materials. 2018. №165. Pp. 494-503.

8. Морозова М.В., Айзенштадт А.М., Тугугин А.С. Водопоглощение сапонит-содержащих

отходов обогащения кимберлитовых руд // Промышленное и гражданское строительство. 2013. №11. С. 29–31.

9. Перцев В.Т., Леденев А.А., Ноаров В.Б., Халилбеков Я.З. Свойства цементных систем, модифицированных химическими и минеральными добавками // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2017. №1(14). С. 49–52.

10. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Глаголев Е.С., Магомедов З.Г., Воронов В.В., Канева Е.В. Теоретические подходы к созданию оптимальных структур сухих строительных смесей // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. №10. С. 6–11.

11. 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.

12. Толстой А.Д., Лесовик В.С., Новиков К.Ю. Высокопрочные бетоны на композиционных вяжущих с применением техногенного сырья // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2016. № 2 (17). С. 174–180.

13. Морозова М.В., Айзенштадт А.М., Фролова М.А., Махова Т.А. Использование сапонит-содержащих отходов в качестве компонента сухой строительной смеси для мелкозернистых бетонов с улучшенными эксплуатационными характеристиками // Academia. Архитектура и строительство. 2015. № 4. С. 137–141.

14. Массалимов И.А., Волгушев А.Н., Чуйкин А.Е., Хусаинов А.Н. и др. Упрочнение и увеличение водонепроницаемости бетона покрытиями на основе наноразмерной серы // Нанотехнологии в строительстве: науч. интернет-журнал. №2. 2010. С. 54–61.

15. Yanturina R.A., Trofimov B.Ya., Ahmedjanov R.M. Structuring in Cement Systems with Introduction of Graphene Nano-Additives // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. №262(1). Pp. 012017.

Информация об авторах

Морозова Марина Владимировна, ассистент кафедры композиционных материалов и строительной экологии, Высшая инженерная школа.

E-mail: m.morozova@narfu.ru

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова.

Россия, 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17.

Поступила в январе 2018 г.

© Морозова М.В., 2018

M.V. Morozova

SORPTION OF THE WATER PHASE WITH A MINERAL SAPONITE-CONTAINING ADMIXTURE TO FINE-GRAINED CONCRETES

In the work the sorption ability of a saponite-containing waste of the diamond-mining industry of the Arkhangelsk region, mechanically activated to the high-disperse state and capable to regulate the structure formation of a concrete mix when added to it, is assessed. The research of the sorption properties of the saponite-containing material (SCM) has shown that the process of self-saturation of the solid phase with water vapor is prolonged and is accompanied with absorption-desorption hysteresis. The noted disbalance in the mass of the initial samples and the samples after sorption and desorption is due to the increase of the bound water content. The registered IR spectrums have shown the presence of new formations in the form of amorphous (water-bound) silicate groups in the material after removal of the residual moisture from it. It has been established that due to its sorption properties the SCM is capable to optimize the water phase content in the system. It contributes to the improvement of rheological properties of a concrete mix at a stage of its preparation and positively influences the structure formation process, which improves the operational characteristics of a composite. It has been established that the mechanically activated SCM can not only demonstrate the properties of a sorbent regulating the content of water in reaction system but can also be used as an active mineral additive to binders compositions.

Keywords: sorption, mechanical activation, specific surface, fine-grained concrete, saponite-containing material.

REFERENCES

1. Sohail M.G., Wang B., Jain A., Dawood M., Belarbi A. Advancements in concrete mix designs: High-performance and ultrahigh-performance

concretes from 1970 to 2016 // Journal of Materials in Civil Engineering, 2018, no. 30 (3), p. 04017310.

2. GrinYov A.P., Rudchenko I.I., Nikogda V.O. Fine-grained concrete for monolithic construc-

tion // Proceedings of the Kuban State Agrarian University, 2016, no. 58, pp. 203–214.

3. Andreeva A.V., Burenina O.N., Davydova N.N., Davaasenge S.S., Savvinova M.E. Fine-grained concrete with winter concreting // Privolzhsky Scientific Bulletin, 2015, no. 12-1 (52), pp. 19–23.

4. Lesovik V.S. Construction Materials. Present and Future // ICSU Bulletin, 2017, T. 12, no. 1 (100), pp. 9–16.

5. Inozemtsev A.S., Korolev E.V. High-strength lightweight concrete as a tool for the development of the construction industry // Concrete and reinforced concrete, 2017, no. 1 (16), pp. 14–16.

6. Wang H.-J., Wang H.-H., Wei H., Gu C.-Y. Analysis for frost-resistant durability of C25 level hydraulic concrete in severe cold region, Shenyang Gongye Daxue Xuebao // Journal of Shenyang University of Technology, 2015, no. 37 (2), pp. 207–211.

7. Davraz M., Ceylan H., Topçu İ.B., Uygunoğlu T. Pozzolan effect of andesite waste powder on mechanical properties of high strength concrete // Construction and Building Materials, 2018, no. 165, pp. 494–503.

8. Morozova M.V., Ayzenshtadt A.M., Tutiygin A.S. Water absorption of saponite-containing wastes of enrichment of kimberlite ore // Industrial and civil construction, 2013, no. 11, pp. 29–31.

9. Pertsev V.T., Ledenev A.A., Noarov V.B., Halilbekov Ya.Z. Properties of cement systems modified with chemical and mineral additives // Scientific herald of the Voronezh State Architectur-

al and Construction University. Series: Physico-chemical problems and high technologies of building materials science, 2017, no. 1 (14), pp. 49–52.

10. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Glagolev E.S., Magomedov Z.G., Voronov V.V., Kaneva E.V. Theoretical approaches to the creation of optimal structures for dry construction mixtures // Bulletin Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov, 2016, no. 10, pp. 6–11.

11. Strokova V.V., Ayzenshtadt A.M., Sivalneva M.N., Kobzev V.A., Nelyubova V.V. Evaluation of the activity of nanostructured binders by the thermodynamic method // Stroitel'nye Materialy, 2015, no. 2, pp. 3–9.

12. Tolstoy A.D., Lesovik V.S., Novikov K.Yu. High-strength concretes on composite astringents using technogenic raw materials // Izvestiya Vuzov. Investments. Building. The property, 2016, no. 2 (17), pp. 174–180.

13. Morozova M.V., Ayzenshtadt A.M., Frolova M.A., Mahova T.A. Use of saponite-containing waste as a component of a dry building mix for fine-grained concretes with improved performance characteristics // Academia. Architecture and Construction, 2015, no. 4, pp. 137–141.

14. Massalimov I.A., Volgushev A.N., Chuykin A.E., Husainov A.N. Strengthening and increase of waterproofness of concrete with coatings based on nanosize sulfur // Nanotechnologies in construction: scientific. Online Magazine, no. 2, 2010, pp. 54–61.

15. Yanturina R.A., Trofimov B.Ya., Ahmedjanov R.M. Structuring in Cement Systems with Introduction of Graphene Nano-Additives // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017, no. 262(1), p. 012017.

Information about the author

Marina V. Morozova, assistant.

E-mail: m.morozova@narfu.ru

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov.
Russia, 163002, Arkhangelsk, Severnaya Dvina Emb, 17.

Received in January 2018

Абашин Е.Г., канд. техн. наук,
Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина

ОЦЕНКА ПЛОЩАДИ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ РАБОЧЕЙ АРМАТУРЫ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛКАХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ВИБРАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ

evabashin@yandex.ru

В статье показан вариант определения площади поперечного сечения рабочей арматуры в ненапряженных железобетонных балках по основной частоте колебаний балок в упругой стадии работы до образования трещин. На основе математических формул изобретен способ оценки одного из основных показателей качества ж/б балок – площади поперечного сечения арматуры по основной (или первой резонансной) частоте колебаний, определена максимально возможная погрешность предлагаемого способа по методу максимума-минимума, приведены результаты эксперимента на реальных ненапряженных железобетонных конструкциях, произведена корректировка коэффициентов в математических формулах на основании проведенных экспериментальных исследований. Результаты проведенных изысканий подтвердили возможность оценки площади сечения арматуры в железобетонных балках по измеренной основной (или первой резонансной) частоте поперечных колебаний с относительной погрешностью менее 5 %. На основании измеренной основной частоты продольных колебаний ненапряженных железобетонных балок невозможно определить площадь сечения арматуры ввиду высокой относительной погрешности предлагаемого способа.

Ключевые слова: площадь поперечного сечения рабочей арматуры, основная частота, продольные колебания, поперечные колебания, железобетонная балка.

Введение. При производстве сборных железобетонных изделий всегда остро стояла проблема контроля качества выпускаемой продукции. Разработка новых методов неразрушающего пооперационного контроля отдельных параметров качества на заводах изготовителях весьма актуальна. [1, 2, 3].

Площадь сечения рабочей арматуры определяет прочности изгибаемых ж/б элементов и трудно поддается диагностике. Из неразрушающих методов известны методы просвечивания рентгеновским и электромагнитным излучениями [4]. У этих методов существует целый ряд недостатков [5, 6, 7, 8].

Просвечивание конструкции излучением рентгеновского диапазона производится с нескольких точек, по получившимся на фотопленке отпечаткам диагностируют размер защитного слоя бетона и диаметр арматурных прутков при помощи геометрических методов [1]. Данная методика отличается высокой погрешностью, которая растет с увеличением толщины защитного слоя бетона из-за расплывчатости получаемых отпечатков. [5, 9]. Кроме того, излучение рентгеновского диапазона не безопасно для здоровья проверяющего.

Также получил широкое распространение электромагнитный метод [4] на основе которого выпущены приборы – определения расположения и диаметра арматуры, измерители защитного слоя бетона: «ИЗС – 10», «ПОИСК 2.3»,

«ИПА-МГ4». Приборы действуют по принципу фиксации изменения сопротивления датчика при взаимодействии его электромагнитного поля с рабочей арматурой. Перечисленные приборы имеют погрешность более 10 % [1, 4, 10] а при реальной диагностике с их помощью определяют лишь место расположения и направленность арматуры. Затем осуществляют откол бетона в выбранном месте и инструментально измеряют толщину защитного слоя бетона и диаметр арматурного стержня. Эту процедуру отличает высокая трудоемкость.

Исходя из описанного выше сформулируем задачу исследования: разработать и подтвердить экспериментально способ оценки площади сечения продольной рабочей арматуры в ненапряженных железобетонных балках по измеренной основной частоте колебаний с погрешностью ниже, чем у существующих методов.

Разработка способа оценки площади сечения продольной рабочей арматуры в ненапряженных железобетонных балках. Теоретические и экспериментальные исследования, проведенные коллективом ученых под общим руководством Заслуженного строителя России профессора В.И. Коробко, показали область применения вибрационных методов диагностики для оценки интегральных характеристик железобетонных конструкций балочного типа (прочность, жесткость и трещиностойкость) [11, 12, 13, 14]. Был получен целый ряд патентов

[15–18] на основании закономерности, установленной В.И. Коробко [19] подтверждающих работоспособность предложенных методов:

$$w_0 \omega^2 \approx 4/\pi \cdot q/m. \quad (1)$$

В статье [12] продемонстрирована возможность диагностики площади рабочей арматуры в протяженных ненапряженных ж/б балках по основной (первой резонансной) частоте поперечных (формула 2) или продольных (формула 3) колебаний:

$$A_s = \frac{1}{\alpha_s y_s^2} \left(\frac{\ell^4 \omega_{\text{поп}}^2 m}{83,12 E_b} - I_b \right). \quad (2)$$

$$A_s = \frac{1}{\alpha_s} \left(\frac{\omega_{\text{пр}}^2 \ell^2 m}{E_b \pi^2} - A_b \right). \quad (3)$$

В формулах (2) и (3) использованы буквенные обозначения, принятые в теории проектирования и расчета ж/б конструкций [20]. На основе математических моделей (2) и (3) предложен динамический способ оценки площади сечения продольной рабочей арматуры в ненапряженных железобетонных балках по измеренной основной частоте колебаний, который заключается в возбуждении в испытываемом изделии свободных (или вынужденных колебаний) на основной (или первой резонансной) частоте ω , инструментальным определении этой частоты, и определении площади сечения продольной рабочей арматуры по формулам (2) при использовании варианта с возбуждением поперечных колебаний или (3) при использовании варианта с возбуждением продольных колебаний. Реализация данного способа требует измерения геометрических размеров конструкции, ее массы, модуля упругости бетона.

Определение погрешности способа оценки площади сечения продольной рабочей арматуры в ненапряженных железобетонных балках. С целью исследования максимальной погрешности способа используем метод максимума-минимума, который позволяет определить максимально возможную погрешность с учетом всех допусков и первичных погрешностей. Значения первичных погрешностей принимаем по существующим нормативным документам или задаем по результатам проведенных экспериментальных исследований:

$\Delta l = 0,005$ м, по СНиП 3.03.01-87; $\Delta m = 0,5$ кг/м; $\Delta b = 2$ мм, а $\Delta h = 2$ мм, по СНиП 3.03.01-87, $\Delta d_s = 0,4$ мм, по СНиП 3.03.01-87, $\Delta u_s = 3$ мм, по СНиП 3.03.01-87;

$\Delta \omega = 0,2$ %, по результатам статистической обработки результатов измерений частоты колебаний балок в ненагруженном состоянии;

$\Delta E_b = 8$ %, по нормативным документам неразрушающих методов контроля начального модуля упругости бетона.

Методика оценки погрешности с использованием метода максимума-минимума подробно описана в [21].

На рисунке 1 показаны результаты исследования погрешности при оценке площади сечения рабочей арматуры.

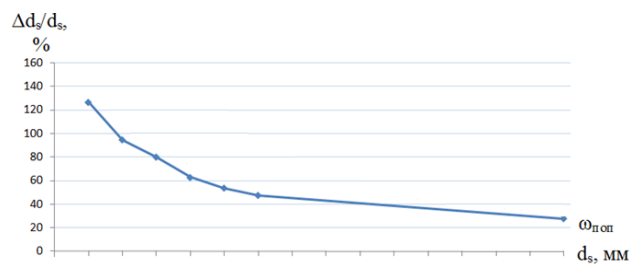


Рис. 1. График изменения относительной погрешности при оценке площади сечения рабочей арматуры при использовании варианта с возбуждением поперечных колебаний ($\omega_{\text{поп}}$)

Анализ графика:

1. Погрешность в исследуемом диапазоне диаметров арматуры значительно варьируется.

2. С ростом диаметра арматуры погрешность снижается: для $d_s = 36$ мм погрешность менее 28 %. Следовательно, имеется возможность использования способа для контроля конструкций с жестким армированием или с высоким коэффициентом армирования.

3. Значительная погрешность вызвана низкими требованиями к определению величины модуля упругости бетона, снижение погрешности его определения определенно снизит и погрешность при диагностике диаметра арматуры.

4. Погрешность при применении продольных колебаний неудовлетворительна и составляет более 100 % [6] метод, основанный на формуле 3, из дальнейшего рассмотрения исключаем.

5. Погрешность определения площади сечения арматуры по формуле 2 сопоставима с погрешностью магнитного метода, а вероятность проявления всех повышающих погрешность факторов одновременно, незначительна, и действительная погрешность может быть значительно ниже. В связи с этим необходимо провести эксперимент на реальных конструкциях.

Экспериментальные исследования ж/б ненапряженных перемычек 2 ПБ 26-4. Были изготовлены 6 типов ж/б ненапряженных балок

(по две каждого типа, всего 12 конструкций) из бетона одного класса с одинаковым модулем упругости $E_b = 23 \cdot 10^3$ МПа: арматура класса А-400 (А III), следующих диаметров: ($d_s = 8; 10; 12; 14; 16$ и 18 мм); $l = 2590$ мм, $b = 120$ мм, $h = 140$ мм; $m \approx 109$ кг.

Опишем методику эксперимента. Балка 1 устанавливается и закрепляется на шарнирных опорах (подвижной 2, выполненной в виде трех стальных дисков, и неподвижной 3 в виде стального уголка). К балке в середине пролета крепят высокочувствительный вибродатчик 5 прибора «Вибран-2.0». Под установленной балкой в середине пролета размещают возбудитель колебаний ударного типа 4, работу которого обеспечивают вспомогательные устройства: генератор сигнала и усилитель мощности. Колебания балки улавливаются вибродатчиком и регистрируются в электронной памяти прибора «Вибран-2.0».

Для проведения динамических испытаний необходимо выполнить ряд технологических операций.

Подготавливают и правильно ориентируют шарнирные опоры (погрешность длины расчетного пролета не должна превышать ± 3 мм), устанавливают балку и фиксируют ее с соблюдением условий плотности опирания. На специальном металлическом каркасе, расположенном между силовыми опорами 6 стенда, устанавливается и надежно фиксируется ударное устройство 4. Вибродатчик крепится на модели при помощи пластилина. Перед его установкой поверхность изделия обрабатывается наждачной бумагой для более плотного прилегания рабочей части датчика. Далее ударом возбуждают свободные колебания в конструкции. Одновременно с ударом производят замер частоты свободных затухающих колебаний прибором 5 «Вибран-2.0».

Схема испытательного стенда, приведена на рисунке 2.

По результатам статистической обработки экспериментальных результатов составлена таблица 1.

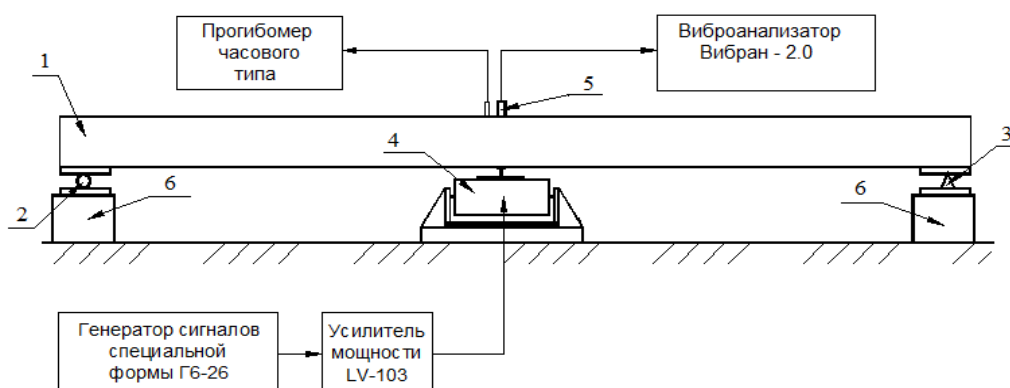


Рис. 2. Схема экспериментального стенда:

- 1 – контролируемое изделие; 2, 3 – опоры по схеме шарнирного опирания (подвижная и неподвижная);
4 – генератор ударного импульса; 5 – вибродатчик частотного спектра «Вибран-2»;
6 – опоры испытательного стенда

Таблица 1

Сопоставление результатов, полученных по формуле 2, и фактических инструментально измеренных значений частоты колебаний ж/б перемычек с различными диаметрами арматур

Диаметр арматуры, d_s , мм	8	10	12	14	16	18
$\omega_{\text{поп}} (\text{эксп}), \text{с}^{-1}$	165	167	182	176	189	190
$\omega_{\text{поп}} (\text{теор}), \text{с}^{-1}$	183,8	185,7	187,9	190,2	192,6	195,1
Отклонение, с^{-1}	18,8	18,7	5,9	14,2	3,6	5,1
Отклонение, %	10,23	10,07	3,14	7,47	1,87	2,63

По результатам анализа табличных значений делаем следующие выводы:

- эксперимент подтвердил наличие зависимости между диаметром арматуры и основной частотой поперечных колебаний перемычки;
- наибольшая погрешность (около 10 %)

наблюдаются при более низких величинах диаметра арматуры (это вызвано тем, что при низком диаметре арматуры пластические свойства бетона значительно выше упругих свойств арматуры);

Корректировка формулы (2) по итогам проведенного эксперимента. Существует возможность повышения точности предлагаемого способа путем корректировки коэффициентов в формуле (2) по итогам испытания конструкций эталонов.

Опишем суть способа корректировки. Перед началом выпуска новых изделий на заводах ЖБИ необходимо изготовить 5...8 эталонных изделий при строгом контроле качества технологических операций, а затем провести их испытание по описанному способу. По результатам следует провести корректировку коэффициентов в предложенных формулах с сохранением структуры математических моделей.

Принимаем результаты эксперимента ж/б перемычек как конструкций эталонов. Для корректировки формулы (2) воспользуемся методом наименьших квадратов [22].

После проведенной корректировки математическая модель (2) приняла вид:

$$A_s = \frac{1}{2,79 \cdot \alpha_s y_s^2} \left(\frac{\ell^4 \omega^2 m}{64,12 \cdot E_b} - I_b \right). \quad (4)$$

Отклонения полученной откорректированной математической модели (4) от значений, полученных в результате экспериментальных исследований приведены в табл. 2.

Таблица 2

Сопоставление значений, полученных по формуле (4) от экспериментальных данных при определении диаметра рабочей арматуры

Диаметр арматуры, d_s , мм	8	10	12	14	16	18
$\omega_{\text{поп}}$ (эксп), с^{-1}	165	167	182	176	189	190
$\omega_{\text{поп}}$ (теор), с^{-1}	167,06	171,49	179,71	181,81	187,26	192,62
Отклонение, с^{-1}	2,06	4,49	2,29	5,81	1,74	2,62
Отклонение, %	1,23	2,62	1,27	3,2	0,93	1,36

Из таблицы (2) отклонение значений, полученных по формуле (4) от экспериментальных данных находятся в пределах 4 %, что значительно ниже существующих методов определения диаметра рабочей арматуры.

Выводы.

1. Представлены функциональные зависимости диаметра рабочей арматуры ненапряженных ж/б перемычек, с первой резонансной (основной) частотой продольных и поперечных колебаний перемычек.

2. Из результатов проведенной оценки погрешности предлагаемого способа следует:

– с ростом диаметра арматуры погрешность снижается: для $d_s = 36$ мм погрешность менее 28 %, следовательно, имеется возможность использования способа для контроля конструкций с жестким армированием или с высоким коэффициентом армирования;

– погрешность при применении продольных колебаний неудовлетворительна и составляет более 100 % метод, основанный на формуле 3, из рассмотрения исключаем.

3. По результатам эксперимента отклонения значений основных частот колебаний конструкций от теоретических, найденных по математической модели 2 составили 10 %.

4. Корректировка формул по разработанной методике снижает отклонение значений, полученных по формуле (4) от экспериментальных данных до 4 %, что значительно ниже суще-

ствующих методов определения диаметра рабочей арматуры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Землянский А.А. Обследование и испытание зданий и сооружений. М. : АСВ, 2004. 240 с.
2. Kisa M. The effects of closure of cracks on the dynamics of a cracked cantilever beam // Journal of sound and vibration. 2000. № 1. Pp. 1–18.
3. Limaye B. Need for non-destructive testing (NDT) of reinforced concrete & various ND tests // National seminar of ISNT Chennai. 2002. Pp. 472–483.
4. Козачек В. Г., Нечаев Н. В., Нотенко С. Н., Римшин В. И. Обследование и испытание зданий и сооружений. М. : Высшая школа, 2004. 447 с.
5. Абашин Е.Г. Определение площади поперечного сечения рабочей арматуры в железобетонных балках вибрационным методом // Строительство и реконструкция. 2011. № 5. С. 3–7.
6. Абашин Е.Г. Определение площади поперечного сечения арматуры в железобетонных балках статическим и динамическим способами // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2011. № 6. С. 160–164.
7. Kim U.A nondestructive testing method for crack in carbon fiber reinforced concrete with infrared thermography // Journal key engineering materials. 2005. № 32. P. 2128–2133.

8. Neild S.A. Using non-linear vibration techniques to detect damage in concrete bridges // Department of engineering science, University of Oxford. 2002. 249 p.

9. Добромыслов А.Н. Диагностика повреждений зданий и инженерных сооружений. МГСУ: АСВ, 2006, 256 с.

10. Gongtian S. Acoustic emission test progress in China // Celebration for the 25th anniversary of chinese society for NDT, nondestructive testing. Beijing. 2003. Vol. 6. Pp. 125–131.

11. Калашников М.О. Диагностика и контроль качества строительных конструкций вибрационными методами: 05.23.01 «Строит. конструкции, здания и сооружения»: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук / Калашников Михаил Олегович; [Орловский гос. техн. ун-т]. Орел. 2011. 23 с.

12. Коробко В.И., Абашин Е.Г. Способы определения площади поперечного сечения продольной арматуры и модуля упругости бетона в железобетонных балках по результатам статических и динамических испытаний // Известия ОрелГТУ. Серия «Строительство. Транспорт». 2010. № 2(28). С. 23–25.

13. Слюсарев Г.В. Развитие и применение неразрушающих методов и средств вибрационного контроля качества железобетонных конструкций: дис. на соиск. учен. степ. д-ра. техн. наук: 05.23.01. : защищена 4.11.03 : / Слюсарев Геннадий Васильевич. Ставрополь; Орел, 2003 г. 370 с.

14. Юров А.П. Нетрадиционные вибрационные методы диагностики и контроля качества протяженных железобетонных конструкций: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: 05.23.01, 05.23.17. : защищена 25.02.05 : утв. 15.06.05 : / Юров Александр Петрович. Орел, 2005 г. 135 с.

15. Пат. 2217748 Российская Федерация, КЛ G 01 N 33/38. Способ определения величины

предварительного напряжения арматуры в нагруженной конструкции балочного типа с передачей усилия преднапряжения на её торцы / Коробко В. И. и др.; заявитель и патентообладатель ОГТУ. № 2002108462/03; заявл. 03.04.02; опубл. 27.11.03, Бюл. № 33. 11 с.

16. Пат. № 2259546 Российская Федерация, МПК7 G 01 M 7/02. Способ неразрушающего контроля качества железобетонных конструкций балочного типа / Коробко В.И., Слюсарев Г.В., Калашников М.О.; заявитель и патентообладатель ОГТУ. 2004111574/28; заявл. 15.04.04; опубл. 27.08.05, Бюл. № 24. 8 с.

17. Пат. № 2354949 Российская Федерация, МПК7 G 01 M 7/02. Способ неразрушающего контроля качества железобетонных конструкций балочного типа / Коробко В.И., Слюсарев Г.В., Калашников М.О.; заявитель и патентообладатель ОГТУ. 2007105315/28; заявл. 12.02.07; опубл. 10.05.09, Бюл. № 13. 9 с.

18. Пат. 75035 Российская Федерация, МПК51 G 01 H 9/00. Устройство для измерения параметров вибрационных колебаний / Плотников С. Н., Богданов Н.Г., Щекотихин С.Н. ; заявитель и патентообладатель Академия ФСО России. № 2008108442/22 ; заявл. 04.03.08 ; опубл. 20.07.08, Бюл. № 20. 7 с.

19. Коробко В. И., Коробко А. В. Контроль качества строительных конструкций: Виброакустические технологии. М.: Изд-во АСВ, 2003. 288 с.

20. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. М.: Стройиздат, 2013. 767 с.

21. Подмастерьев К.В. Точность измерительных устройств: Учебное пособие. Изд. 2-е, доп. и перераб. Орел: ОрелГТУ, 2004. 139 с.

22. Коробко В.И., Коробко А.В. УНИРС для строителей: учебно-научно-исследовательская работа студентов. АСВ, 1998. 302 с.

Информация об авторах

Абашин Евгений Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры агропромышленного и гражданского строительства Инженерно-строительного института.

E-mail: evabashin@yandex.ru

Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина.
Россия, 302016, Орёл, ул. Комсомольская, 142.

Поступила в январе 2018 г.

© Абашин Е.Г., 2018

E.G. Abashin

EVALUATION OF THE CROSS-SECTION AREA OF WORKING REINFORCEMENT IN CONCRETE BEAMS BY THE VIBRATION TESTING RESULTS

The article considers the possibility of determining the cross-sectional area of main reinforcement in nonprestressed reinforced concrete beams according to the results of their dynamic tests at the fundamental frequency of oscillations in the elastic stage of the work. A method was developed to determine the cross-

sectional area of rebar at the main oscillation frequency of reinforced concrete beams based on mathematical formulas, which shows the possible maximum error of the proposed method by means of maximum-minimum method; the experiment was conducted on full-scale reinforced concrete structures beams without prestressing. The coefficients of the mathematical formulas were adjusted according to the results of experimental studies. The results of these studies confirmed the possibility of estimating the cross-sectional area of main reinforcement in reinforced concrete beams at the fundamental frequency of the transverse oscillations with a relative error less than 5%. Determination of the cross-sectional area of main reinforcement at the fundamental frequency of longitudinal vibration is impossible due to the high relative error of the proposed method.

Keywords: cross-sectional area of the working reinforcement, main frequency, longitudinal vibrations, transverse vibrations, reinforced concrete beam.

REFERENCES

1. Zemlyansky A.A. Inspection and testing of buildings and structures. M.: ASV, 2004, 240 p.
2. Kisa M. The effects of closure of cracks on the dynamics of a cracked cantilever beam // Journal of sound and vibration, 2000, no. 1, pp. 1–18.
3. Limaye B. Need for non-destructive testing (NDT) of reinforced concrete & various ND tests // National seminar of ISNT Chennai, 2002, pp. 472–483.
4. Kozachek V.G., Nechaev N.V., Notenko S.N., Rimshin V.I. Inspection and testing of buildings and structures. M.: Higher School, 2004, 447 p.
5. Abashin, E.G., Determination of the cross-sectional area of working reinforcement in reinforced concrete beams by a vibration method, in: Building and Reconstruction, 2011, no. 5, pp. 3–7.
6. Abashin E.G. Determination of the cross-sectional area of reinforcement in reinforced concrete beams by static and dynamic methods // Fundamental and applied problems of engineering and technology, 2011, 6, pp. 160–164.
7. Kim U. A nondestructive testing method for crack in carbon fiber reinforced concrete with infrared thermography // Journal key engineering materials, 2005, no. 32, pp. 2128–2133.
8. Neild S. A. Using non-linear vibration techniques to detect damage in concrete bridges // Department of engineering science, University of Oxford, 2002, 249 p.
9. Dobromyslov A.N. Diagnostics of damages of buildings and engineering structures. MSSU.: ASV, 2006, 256 p.
10. Gongtian S. Acoustic emission test progress in China // Celebration for the 25th anniversary of chinese society for NDT, nondestructive testing. Beijing, 2003, vol. 6, pp. 125–131.
11. Kalashnikov M. O. Diagnostics and quality control of building structures by vibration methods: 05.23.01 "Builds. constructions, buildings and constructions ": the author's abstract. dis. to the scientist. step. Cand. tech. Sciences // Kalashnikov Mikhail Olegovich; [Orel state. tech. un-t]. Orel. 2011, 23 p.
12. Korobko V.I., Abashin E.G. Methods for determining the cross-sectional area of longitudinal reinforcement and the modulus of elasticity of concrete in reinforced concrete beams according to the results of static and dynamic tests // Izvestiya OrelGTU. Series "Construction. Transport". Orel, 2010, no. 2 (28), pp. 23–25.
13. Slyusarev G.V. Development and application of non-destructive methods and means of vibration control of the quality of reinforced concrete structures: dis. to the scientist. step. Dr. tech. Sciences: 05.23.01. : protected by 4.11.03: / Slyusarev Gennady Vasilyevich. - Stavropol; Orel, 2003, 370 p.
14. Yurov A.P. Non-traditional vibration methods of diagnostics and quality control of extended reinforced concrete structures: dis. to the scientist. step. Cand. tech. Sciences: 05.23.01, 05.23.17. : protected on February 25, 2005: approved. 15.06.05: / Yurov Alexander Petrovich. - Orel, 2005, 135 p.
15. Pat. 2217748 Russian Federation, KL G 01 N 33/38. Method for determining the value of prestressing of reinforcement in a loaded beam-type structure with transfer of prestressing force to its ends / Korobko V.I. et al; applicant and patent owner of the OSTU. no. 2002108462/03; claimed. 03.04.02; publ. 27.11.03, Bul. no. 33. 11 p.
16. Pat. No. 2259546 Russian Federation, IPC7 G 01 M 7/02. Method of non-destructive quality control of reinforced concrete constructions of beam type / Korobko V.I., Slyusarev G.V., Kalashnikov M.O.; applicant and patent owner of the OSTU. 2004111574/28; claimed. 15.04.04; publ. August 27, 05, Bul, no. 24. 8 p.
17. Pat. No. 2354949 Russian Federation, IPC7 G 01 M 7/02. A method of nondestructive quality control of reinforced concrete constructions of beam type / Korobko, V.I., Slyusarev G.V., Kalashnikov M.O.; applicant and patent owner of the OSTU. 2007105315/28; claimed. 12.02.07; publ. 10.05.09, Bul. no. 13, 9 p.
18. Pat. 75035 Russian Federation, IPC51 G 01 H 9/00. A device for measuring vibration vibration parameters / Plotnikov S.N., Bogdanov N.G., Schekotikhin S.N.; applicant and patent holder Academy

of the FSO of Russia. no. 2008108442/22; claimed. 04.03.08; publ. 20.07.08, Bul, no. 20, 7 p.

19. Korobko V.I., Korobko A.V. Quality control of building structures: Vibro-acoustic technologies. M.: Publishing House of the DIA, 2003, 288 p.

20. Baykov V.N., Sigalov E. Y. Reinforced Concrete Structures. M.: Stroizdat, 2013, 767 p.

21. Podmaster'yev K.V. Accuracy of Measuring Devices: Textbook. Ed. 2 nd, ext. and pererab. Orel: Orel State Technical University, 2004, 139 p.

22. Korobko V.I., Korobko A. V. UNIRS for builders: Educational and research work of students. ASV, 1998, 302 p.

Information about the authors

Evgenij G. Abashin, PhD, Assistant professor.

E-mail: evabashin@yandex.ru

Orel state agrarian University named after N.V. Parahin.

Russia, 302016, Orel, st. Komsomolskaya, 142.

Received in January 2018

**Богачёва С.В., аспирант,
Никулин А.И., канд. техн. наук, доц.**
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

РАСЧЕТ ПО ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ

sv_bogacheva@mail.ru

Рассмотрены различные виды идеализации поведения перекрытий каркасных зданий: линейно-упругое, пластическое, нелинейное. Описаны стадии напряженно-деформированного состояния сборно-монолитного перекрытия с предварительно-напряженными железобетонными элементами несъемной опалубки. Построена система разрешающих уравнений для расчетной деформационной модели на стадии исчерпания прочности. Для получения аналитических зависимостей, описывающих диаграммы деформирования бетона при неоднородном сжатии и растяжении, приняты энергетические критерии разрушения бетона при сжатии и растяжении. Также выполнен учет процесса ползучести бетона при длительном нагружении с помощью полиномиальной функции Лагранжа, проходящей через заданные точки на диаграмме кратковременного деформирования бетона при неоднородном сжатии.

Ключевые слова: сборно-монолитное перекрытие, железобетонный элемент несъемной опалубки, напряженно-деформированное состояние сечения, нелинейная деформационная модель, ползучесть.

Введение. Определение напряженно-деформированного состояния конструкции плоского безбалочного перекрытия, как для тонкой прямоугольной упругой пластинки постоянной толщины, производится на основе технической теории изгиба, принимая допущения о недеформируемости нормали к срединной плоскости при ее повороте в результате изгиба и отсутствии нормальных напряжений на площадках, параллельных срединной плоскости (гипотезы Кирхгофа). Точное решение для небольшого числа простых задач можно получить, определив функцию прогибов пластинки $\omega(x, y)$, путем интегрирования бигармонического уравнения равновесия изгибаемой пластинки в перемещениях, так называемое уравнение Софи Жермен-Лагранжа, при заданном распределении поперечной нагрузки $q(x, y)$ и граничных условиях на контуре [1, 2, 3, 4]:

$$\frac{\partial^4 \omega}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \omega}{\partial y^4} = \frac{q(x, y)}{D}, \quad (1)$$

где D – цилиндрическая жесткость пластинки.

После этого могут быть вычислены усилия в сечениях, выраженные через прогиб пластинки, и напряжения, выраженные через интенсивности соответствующих моментов:

$$M_x = -D \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right); \quad (2)$$

$$M_y = -D \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \right); \quad (3)$$

$$M_{x,y} = M_{y,x} = -D(1-\nu) \frac{\partial^2 \omega}{\partial x \partial y}; \quad (4)$$

$$\sigma_x = \frac{12z}{h^3} M_x; \quad \sigma_y = \frac{12z}{h^3} M_y; \quad \tau_{x,y} = \frac{12z}{h^3} M_{x,y}, \quad (5)$$

где ν – коэффициент Пуассона.

Для сложных схем перекрытия из-за невозможности решения точными аналитическими методами в явном виде в инженерной практике используют приближенные вариационные методы расчета: Ритца-Тимошенко, Бубнова-Галеркина, Конторовича-Власова и численные методы: метод конечных разностей (метод сеток) и наиболее популярный благодаря широкому распространению автоматизированного проектирования строительных конструкций с использованием дискретных расчетных моделей – метод конечных элементов.

Приближенное решение безбалочного перекрытия каркасного здания с регулярной сеткой колонн под действием равномерно-распределенной нагрузки дано Б.Г. Галеркиным [2] и сводится к задаче об изгибе одной прямоугольной панели, опертой в вершинах, на достаточном удалении от краев упругой пластинки.

Российскими и европейскими нормами проектирования [5, 6] определение действительного распределения усилий в таких плитах допускается производить как для упругих систем методом заменяющих (эквивалентных) рам, либо с учетом пластических деформаций – методом предельного равновесия. При этом для сборно-монолитного перекрытия расчет необходимо производить дважды: до и после приобретения

бетоном омоноличивания заданной прочности, с учетом различного снижения жесткости вследствие ползучести сборного и монолитного слоев перекрытия.

Закон распределения напряжений по высоте сечения без трещин при упругом расчете согласно формулам (1) – (5) линейный и не дает правильной оценки работы перекрытия (рис. 1). Расчет выполняется с большим запасом прочности, не позволяя выявить и реализовать резервы конструкции.

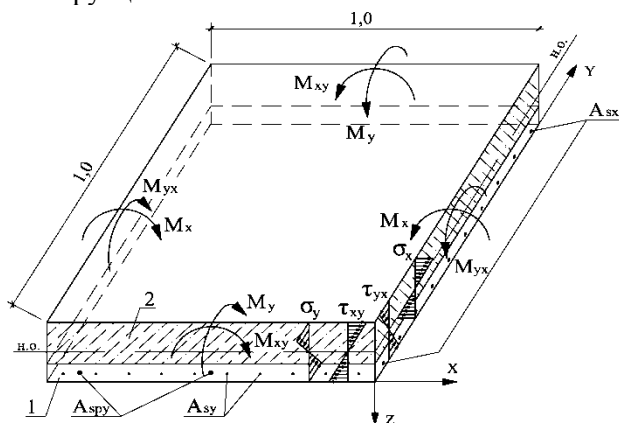


Рис. 1. Схема усилий и распределения напряжений в выделенном элементе сборно-монолитного перекрытия для линейно-упругой модели
1 – предварительно-напряженный элемент несъемной опалубки;
2 - монолитный бетон

Для учета сложного характера перераспределения напряжений между бетоном и арматурой в реальных условиях работы конструкции, вызванного проявлением неупругих деформаций этих материалов (физической нелинейности), истории ее загрузки, уменьшения жесткости сечения вследствие потери преднапряжения и трещинообразования, возраста бетона, неравномерности деформирования необходим расчет по нелинейной деформационной модели.

Методология. В настоящее время имеется значительное количество диаграмм состояния бетона, определяющих связь между напряжениями и относительными деформациями в виде экспоненциальной зависимости, полиномов, степенных, дробных и других функций [7, 8, 9, 10]. В качестве рабочей принята диаграмма бетона при неоднородном сжатии и растяжении, полученная путем трансформирования эталонных диаграмм на основе использования энергетических соотношений [11, 12]. Ее применение позволяет установить вид эпюры распределения нормальных

напряжений в поперечном сечении изгибаемого элемента в условиях неоднородного деформирования, отвечающей фактическому характеру работы. Для снижения количества вычислительных операций, необходимых для описания напряженно-деформированного состояния сечения с учетом ползучести бетона, используется метод, основанный на представлении функции напряжений в виде полинома Лагранжа. Поперечные связи сборного элемента и монолитного бетона по контактному шву считаются абсолютно жесткими.

Основная часть. Рассмотрим последовательно возможные варианты напряженно-деформированного состояния сечения сборно-монолитного перекрытия с предварительным напряжением железобетонных элементов несъемной опалубки на разных стадиях его работы. Техническое описание конструктивного решения перекрытия приведено в [13, 14]. На стадии приобретения бетоном омоноличивания заданной прочности в зависимости от величины нагрузки от его массы и шага монтажных элементов опорной конструкции бетон и арматура элемента несъемной опалубки работают упруго (рис. 2, а), либо с развитием неупругих деформаций в арматуре растянутой зоны и началом процесса погашения предварительного напряжения (рис. 2, б). После приобретения бетоном омоноличивания заданной прочности и приложения эксплуатационных нагрузок при полностью растянутом сечении элемента несъемной опалубки возможны два варианта начала трещинообразования: в самом элементе опалубки (рис. 2, в) или в растянутой зоне монолитного бетона при его относительно низких значениях сопротивления растяжению в сравнении с сборным бетоном (рис. 2, г). Эпюра напряжений двузначная с характерным скачком в зоне контактного шва. Стадия исчерпания прочности характеризуется полным погашением предварительного напряжения с образованием сквозных трещин в элементе несъемной опалубки и трещин небольшой интенсивности в растянутой зоне монолитного бетона, достижением напряжений в сжатом бетоне значений временного сопротивления сжатию (рис. 2, д).

Выполним построение расчетной физической модели нормального сечения на стадии исчерпания прочности. Для этой модели два уравнения равновесия внутренних и внешних сил имеют вид:

$$\sigma_{s1} A_{s1} + \sigma_{sp1} A_{sp1} - b x_c \omega_c R_{b2} + b x_t \omega_t R_{bt2} = 0; \quad (6)$$

$$M_{ult} = b x_c^2 \omega_c R_{b2} (1 - \gamma_c) + b x_t^2 \omega_t R_{bt2} (1 - \gamma_t) + \sigma_{s1} A_{s1} (h - x_c - a_s) + \sigma_{sp1} A_{sp1} (h - x_c - a_{sp}), \quad (7)$$

где σ_{s1} , σ_{sp1} – напряжения в растянутой напрягаемой и ненапрягаемой с учетом потерь предва-

рительного напряжения арматуре площадью сечения A_{s1} и A_{sp1} ; R_{b2} , R_{bt2} – расчетные сопротив-

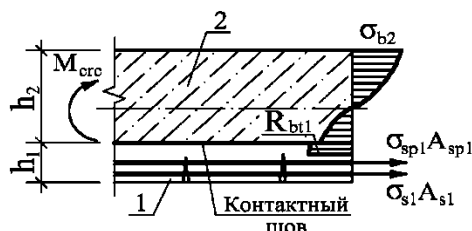
ления монолитного бетона осевому сжатию и растяжению соответственно; x_c , x_t – условная высота сжатой и растянутой зон монолитного бетона соответственно; ω_c , ω_t , γ_c , γ_t – интегральные геометрические характеристики эпюр напряжений сжатой и растянутой зон монолитного бетона, определяемые по формулам:

$$\omega_c = \frac{\int_0^{x_c} \sigma_b dz}{\sigma_{b2} x_c}; \quad \omega_t = \frac{\int_0^{x_t} \sigma_{bt} dz}{\sigma_{bt2} x_t}; \quad (8)$$

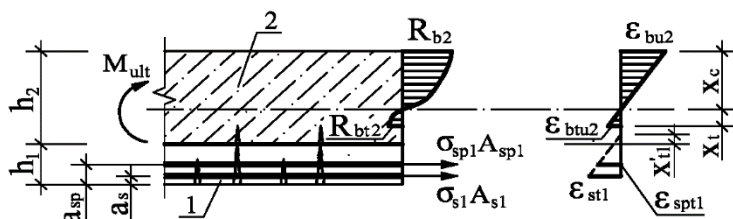
а



в



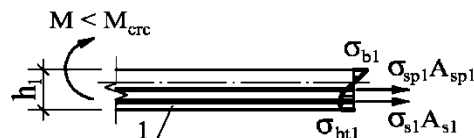
д



$$\gamma_c = \frac{\int_0^{x_c} \sigma_b z dz}{x_c \int_0^{x_c} \sigma_b dz}; \quad \gamma_t = \frac{\int_0^{x_t} \sigma_{bt} z dz}{x_t \int_0^{x_t} \sigma_{bt} dz} \quad (9)$$

Для вывода конкретных алгебраических выражений для вычисления коэффициентов используются соответствующие уравнения, описывающие диаграмму деформирования бетона при неоднородном сжатии [11].

б



г

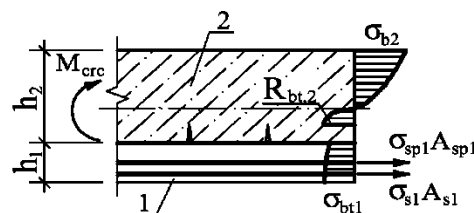


Рис. 2. Схема распределения напряжений и деформаций в нормальном сечении сборно-монолитного перекрытия для нелинейной модели: а, б – стадии приобретения бетоном омоноличивания прочности; в, г, д – стадии эксплуатации; 1 – предварительно-напряженный элемент несъемной опалубки; 2 – монолитный бетон

Значения напряжений σ_{s1} , σ_{sp1} в арматурных стержнях находим из кусочных функций, описывающих диаграммы растяжения стали с физической и условной площадкой текучести [15].

Неизвестные размеры сжатой и растянутой зон получаем в соответствии с гипотезой плоских сечений из условия совместности деформаций:

$$\frac{\varepsilon_{bu2}}{x_c} = \frac{\varepsilon_{bt2}}{x_t}; \quad (10)$$

$$\frac{\varepsilon_{st1}}{\varepsilon'_{bt1}} = \frac{h_1 + x'_t - a_s}{x'_{t1}}; \quad (11)$$

$$\frac{\varepsilon_{sp1}}{\varepsilon'_{bt1}} = \frac{h_1 + x'_t - a_{sp}}{x'_{t1}}, \quad (12)$$

и условия равенства кривизны сборного и монолитного слоев перекрытия, приведенной к одной точке, лежащей на контактном шве:

$$\frac{x_c}{\varepsilon_{bu2}} - x_c + h_2 = \frac{x'_{t1}}{\varepsilon'_{bt1}} \quad (13)$$

Нелинейная ползучесть бетона может быть учтена по предложенной А.Д. Бегловым модели напряженно-деформированного состояния при длительном нагружении, описываемой системой дифференциальных уравнений третьего порядка [8, 16]. Для этого находятся значения полиномиальной функции, которая проходит через заданные точки на диаграмме кратковременного деформирования бетона при неоднородном сжатии. Определяются коэффициенты полинома из решения системы соответствующих алгебраиче-

ских уравнений. Деформации волокон в сечении $\varepsilon_{bi}(t)$ в этих уравнениях уже являются функциями времени, подлежащими нахождению из основного закона нелинейной ползучести.

Выводы. Построена система разрешающих уравнений для расчета прочности нормальных сечений пролетных зон сборно-монолитного перекрытия каркасного здания (без установки дополнительного армирования в слое монолитного бетона) по нелинейной деформационной модели на основе диаграмм состояния бетона при неоднородном сжатии и растяжении, гипотезы плоских сечений и гипотезы о совпадении нейтральных осей деформации и напряжений. Критерием прочности является достижение предельных относительных деформаций в бетоне сжатой зоны или арматуре.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вайнберг Д.В., Вайнберг Е.Д. Расчет пластин. Киев: Будівельник, 1970. 436 с.
2. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки. М.: Изд-во Наука, 1966. 636 с.
3. Погорелов В.И. Строительная механика тонкостенных конструкций. СПб.: БХВ-Петербург, 2007. 528 с.
4. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности / Г.С. Варданян [и др.] М.: Изд-во АСВ, 1995. 568 с.
5. Руководство по расчету статически неопределимых железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1975. 192 с.
6. Алмазов В.О. Проектирование железобетонных конструкций по Евронормам. – М.: Изд-во АСВ, 2011. 216 с.
7. Кодыш Э.Н., Никитин И.К., Трекин Н.Н. Расчет железобетонных конструкций из тяжелого бетона по прочности, трещиностойкости и деформациям. М.: Изд-во АСВ, 2010. 352 с.
8. Беглов А.Д., Санжаровский Р.С. Теория расчета железобетонных конструкций на прочность и устойчивость. Современные нормы и Евростандарты. М.: Изд-во АСВ, 2006. 221 с.
9. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. 416 с.
10. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. Расчетные модели силового сопротивления железобетона. М.: Изд-во АСВ, 2004. 472 с.
11. Прочность и деформативность железобетонных конструкций при запроектных воздействиях / Г.А. Гениев [и др.]. М.: Изд-во АСВ, 2004. 216 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. Пат. 165803 Российская Федерация, МПК E04B 5/38, E04B 5/43. Сборно-монолитное перекрытие каркасного здания / Богачёва С.В.; заявитель и патентообладатель Богачёва С.В. - №2016120732/03; заявл. 26.05.2016; опубл. 10.11.2016, Бюл. №31. 2 с.
14. Пат. 172744 Российская Федерация, МПК E04B 5/17. Сборно-монолитное перекрытие каркасного здания / Богачёва С.В., Никулин А.И.; заявитель и патентообладатель Богачёва С.В. - №2017110553; заявл. 29.03.2017; опубл. 21.07.2017, Бюл. №21. 1 с.
15. Никулин А.И. Универсальная зависимость для аналитического описания диаграмм растяжения арматурной стали // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. №3. С. 157–162.
16. Беглов А.Д., Кузнецов С.В., Санжаровский Р.С., Бондаренко В.М. Нелинейная ползучесть железобетонных балок // Бетон и железобетон. 2005. №3. С. 26–29.

Информация об авторах

Богачёва Светлана Валерьевна, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства.

E-mail: sv_bogacheva@mail.ru.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

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.

Поступила в январе 2018 г.

© Богачёва С.В., Никулин А.И., 2018

S.V. Bogacheva, A.I. Nikulin
STRENGTH DESIGN OF NORMAL SECTIONS OF THE PRECAST-MONOLITHIC
SLABS OF FRAME BUILDINGS

Different ways of optimization of the frame buildings' slabs behavior have been considered: linear-elastic, plastic and non-linear. The stages of stress-strain state of precast-monolithic slabs with the pre-stressed concrete permanent formwork have been described. A set of resolving equations for the calculation deformation model at the stage of strength depletion has been constructed. To obtain the analytical dependences describing the diagrams of concrete deformation at a non-uniform compression and tension, the energy criteria for concrete destruction at compression and tension were taken. The process of creep flow under long-term loading was calculated with the help of the Lagrange polynomial function, passing through given points on the diagram of short-term concrete deformation at the non-uniform compression.

Keywords: precast-monolithic slab, reinforced concrete permanent formwork, stress-strain behavior of a section, non-linear deformation model, creep flow.

REFERENCES

1. Vainberg D.V., Vainberg E.D. Design of plates. Kiev: Budivelnik. 1970, 436 p.
2. Timoshenko S.P., Woinowsky-Krieger S. Plates and shells. M.: Nauka. 1966, 636 p.
3. Pogorelov V.I. Construction mechanics of thin-walled structures. SPb.: BKhV-Peterburg. 2007, 528 p.
4. Vardanjian G.S. Resistance of materials with the fundamentals of the theory of elasticity and plasticity. M.: ASB. 1995, 568 p.
5. Guidance document for the design of statically indeterminate reinforced concrete structures. M.: Stroiizdat. 1975, 192 p.
6. Almazov V.O. Design of reinforced concrete structures by Evronorms. M.: ASV. 2011, 216 p.
7. Kodysh E.N., Nikitin I.K., Trekin N.N. Design of reinforced concrete structures from heavy concrete for strength, crack resistance and deformation. M.: ASV. 2010, 352 p.
8. Beglov A.D., Sanzharovskii R.S. Theory of design reinforced concrete structures for strength and stability. Actual norms and European standards. M.: ASV. 2006, 221 p.
9. Karpenko N.I. General mechanics model of reinforced concrete. M.: Stroiizdat. 1996, 416 p.
10. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. Design models of resistance to reinforced concrete. M.: ASV. 2004, 472 p.
11. Geniev G.A. Strength and deformability of reinforced concrete structures under beyond design impacts. M.: ASV. 2004, 216 p.
12. Nikulin A.I. To clarifying the limiting relative strains of concrete in the compression area of bending reinforced concrete elements // Industrial and Civil Engineering, 2014, no. 8, pp. 12–15.
13. Bogacheva S.V. Precast-monolithic slabs of frame buildings. Patent RF, no. 2016120732/03, 2016.

Information about the author

Svetlana V. Bogacheva, Postgraduate student.

E-mail: sv_bogacheva@mail.ru.

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

Aleksandr I. Nikulin, PhD, Assistant professor.

E-mail: nikulin137@yandex.ru.

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

Received in January 2018

Донченко О.М., канд. техн. наук, проф.,
Дегтев И.А., канд. техн. наук, проф.,
Тарасенко В.Н., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ИЗГИБ И РАСТЯЖЕНИЕ КАМНЯ ПРИ ЦЕНТРАЛЬНОМ СЖАТИИ КЛАДКИ

tarasenko.vn@bstu.ru

Приведен анализ точности различных подходов к определению растягивающих напряжений от изгиба камня в сжатой кладке. Изложен разработанный авторами метод определения растягивающих напряжений в камне в зависимости от его изгиба и разности деформативных свойств материалов.

Приведено объяснение сложного деформативно-прочностного состояния раствора горизонтальных швов в каменной кладке при силовом сжатии. Показаны основные причины их резкой структурной неоднородности, вызывающей изгиб и снижение прочности камня при сжатии. Приведена аналитическая зависимость структурной неоднородности растворной постели от прочности раствора на сжатие и растяжение.

Получены расчетные зависимости разработанного метода и действительные относительные величины поперечных растягивающих напряжений в камне и сжимающих в растворе.

Ключевые слова: каменная кладка, строительный раствор, сжатие кладки, изгиб, структурная неоднородность раствора.

Введение. Неудовлетворительное использование высокой прочности на сжатие традиционного глиняного и силикатного кирпича (камня) в кладке, работающей в условиях силового кратковременного сжатия, является объектом постоянного внимания исследователей, проектировщиков и строителей. Даже в кладке, сжимаемой на опорных гранях однородно – равномерным сжатием, прочность кирпича (камня), определенная при центральном сжатии его стандартного образца, используется всего лишь в пределах 30–40 % и только в исключительно благоприятных случаях (вибрирование) может достигать 60–65 %.

По мнению многих исследователей, такая неэффективность использования высокой прочности камня в сжатой кладке объясняется не его возможными дефектами и системой перевязки швов, а несовершенством принятых в настоящее время нормативных методов расчета каменной кладки [1] с традиционными строительными растворами, основанных на расчетной схеме камня, находящегося в условиях только равномерного центрального сжатия. Действительно, многочисленными экспериментами установлено и уже не является дискуссионным сложное пространственное деформативно-напряженное состояние (НДС) камня в кладке на всех стадиях работы – от начала трещинообразования и до исчерпания ее сопротивления.

Поэтому многие исследователи считают, что камень (кирпич) в кладке работает не на центральное сжатие, а на сжатие с изгибом или внецентренное сжатие с растяжением, а некоторые утверждают, что даже и на срез. Изгиб и

внецентренное сжатие камня в центрально сжатой кладке физически возможны при неоднородных по его площади нагрузке и растворном основании, а срез камня может происходить лишь при протяженных пустотах в растворе горизонтальной постели, что не подтверждается в экспериментах.

Методология. Действительно, многочисленными экспериментами [2–7, 10, 11] установлен и подтвержден существенный изгиб камня (кирпича) даже в центрально сжатой кладке. Этот изгиб кирпича обусловлен общеизвестной резкой структурной неоднородностью раствора горизонтальных швов кладки, которая характерна не только для отдельных рядом расположенных камней, но и для всей площади каждого из них.

Структурная неоднородность растворной горизонтальной постели в каменной кладке вызывается целым рядом закономерных и случайных факторов:

- возможным неудовлетворительным перемешиванием раствора;
- возможной негоризонтальностью укладки камней;
- наличием на некоторых участках под и над камнем отдельных небольших пустот и мест отсутствующего контакта (отслоений) раствора с камнем;

повышенной на отдельных сухих участках всасывающей способностью камня, отбирающего воду у неокрепшего сырого раствора;

отсутствием на отдельных участках раствора необходимой водоудерживающей способности.

О значительной величине такой структурной неоднородности растворной постели свидетельствуют результаты проведенных многочисленных исследований и рентгенограммы, показавшие что даже в пределах одного кирпича плотность раствора изменяется в очень широких пределах: от обычных в 1,5–1,65 и даже до 2,0–2,25 раз. Естественно, что точно также должна изменяться и величина начального модуля деформации E_0 этих участков раствора, а, следовательно, и жесткость, деформация и отпор растворного основания под отдельными участками кирпича, что должно вызывать его изгиб в кладке, нагруженной силовым сжатием.

Попытки определения напряжений растяжения при изгибе кирпича в сжатой кладке осуществлялись многими исследователями. Некоторые из них представляли кирпич как жесткую упругую пластину, лежащую на линейно-упругом однородном Винклеровском основании и нагруженную неравномерно распределенной нагрузкой в виде квадратной параболы, синусоиды или треугольника с центром, совпадающим с центром длины кирпича. Используя классический аппарат для расчета балок на упругом однородном основании в виде дифференциального уравнения $\frac{EJ d^4 y}{dx^4} = g$ и вводя обозначение $\beta = \sqrt[4]{\frac{K}{4EJ}}$, где K – коэффициент основания (постели), они при помощи гиперболических функций находили растягивающие напряжения от изгиба кирпича, синхронно увеличивающиеся с увеличением нагружения кладки. Однако, даже при исчерпании прочности кладки соотношения этих растягивающих напряжений $\alpha = \sigma_p / g$ по сравнению с сжимающими, были столь малы, что они при определении прочности кладки в расчет не принимались.

Другие рассматривали кирпич тоже как жесткую упругую изгибаемую пластину, нагруженную равномерно распределенной нагрузкой и опирающуюся на две крайние симметрично расположенные относительно центра длины кирпича опоры из линейно-упругого Винклеровского основания, пространство горизонтального шва между которыми вообще свободно от какого-либо раствора на длине, составляющей до 70 % от длины кирпича. Получаемые при этом синхронно напряжения растяжения были столь велики по сравнению со сжатием кирпича, что он уже должен был разрушаться не от сжатия, а от растяжения, прочность на которое у него всегда на порядок меньше прочности на сжатие.

Основная часть. Естественно, что такие чисто детерминированные модели НДС кирпича,

как и полное отсутствие раствора на протяженных участках его площади, явно противоречащее физике явления, являются весьма грубыми приближениями к его действительной работе в центрально сжатой кладке и поэтому не могут являться основой для более точных подходов к теоретическому решению искомой задачи. Здесь необходимы новые и более точные приближения к действительной физике явления, учитывающие стохастический характер структурной неоднородности горизонтальной растворной постели кирпича.

Одним из таких новых подходов к аналогичным явлениям может послужить принятый для расчета фундаментных балок крупнопанельных жилых зданий, лежащих на неоднородных грунтах, метод переменных коэффициентов жесткости и отпора неоднородных оснований [8], использующий простейшие стохастические зависимости, отражающие случайный характер распределения этих коэффициентов.

В качестве основной модели такого подхода рассматривается жесткая упругая пластина, лежащая на неоднородном упругом основании с переменными коэффициентами его жесткости, изменяющимися плавно по закону косинуса от крайних опор пластины к центру ее длины, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой. Коэффициенты жесткости основания при этом изменяются – уменьшаются или увеличиваются по величине по простейшим стохастическим зависимостям в пределах от 1,0 до 2,0–2,5 раз в соответствии с соответствующим изменением величины начального модуля деформаций этих участков основания E_0 .

Общая длина участка пластины с изменяющимися коэффициентами жесткости по этой модели не должна превышать $1/\pi$ ее общей длины. Все это приводит к симметричному относительно центра ее длины прогибу или выгибу, как это приведено на рис. 1 и 2.

Таким образом, при расчете отдельных стен или балок здания непрерывное неоднородное основание моделируется совокупностью бесконечного множества не связанных друг с другом опорных стержней, жесткости которых характеризуются соответствующими величинами C и C_{cp} , равными отношению нагрузки g к начальному модулю деформации основания E_0 , т.е.

$$C_{cp} = g / E_0.$$

Аналитический аппарат рассматриваемого метода, использующего два общеизвестных коэффициента постели основания (на сжатие и сдвиг) и тригонометрические функции, достаточно условен и громоздок. Максимальные зна-

чения искомых усилий: изгибающего момента $M_{\max}$ и поперечной силы $Q_{\max}$ определяются по формулам:

$$M_{\max} = \pm 2 \cdot m_i \cdot \lambda_i^2 \text{ и } Q_{\max} = \pm m_i \cdot \lambda_i, \quad (1)$$

где m_i – параметр этого метода, кг/см, при том он равен

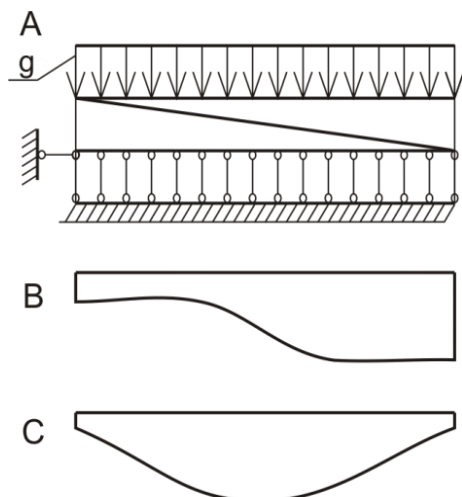


Рис. 1. Расчетная схема неоднородного упругого основания: А – пластина на непрерывном неоднородном основании, сжимаемая равномерно распределенной нагрузкой; В – эпюра коэффициентов жесткости основания при сжатии; С – тоже, при сдвиге.

Остальные вспомогательные величины этого расчета определяются так:

при $\xi \leq 1$

$$C(\xi) = C_{cp}(1 \pm \beta \pi \xi); \quad (3)$$

при $\xi > 1$

$$C(\xi) = C_{cp}(1 \mp \beta), \quad (4)$$

где $\xi = x/\ell$, – безразмерная координата; ℓ , – полудлина участка с переменным коэффициентом жесткости, определяемая по формуле

$$\ell = \pi \cdot \sqrt[4]{\frac{EI}{C_{cp}(1-\beta^2) \cdot (1 + \frac{\pi^2}{4})}} \leq \ell, \quad (5)$$

где ℓ – полудлина пластины (балки); β – стохастический коэффициент, характеризующий степень изменчивости жесткости основания:

$$\beta = \frac{\gamma-1}{\gamma+1}; \quad (6)$$

где γ – степень изменчивости сжимаемости основания в пределах стены (балки)

$$\gamma = \frac{E_0^{\max}}{E_0^{\min}}. \quad (7)$$

$$m_i = \frac{g \cdot \beta}{1 + (1 - \beta^2) \cdot C_{cp} \cdot \left[\left(1 + \frac{\pi^2}{4} \right) \cdot \frac{\lambda_i^4}{E_0 I} + \frac{\lambda_i^2}{G F} \right]}; \quad (2)$$

$E_0 I$ и GF – соответственно, изгибная и сдвиговая жесткость пластины (балки).

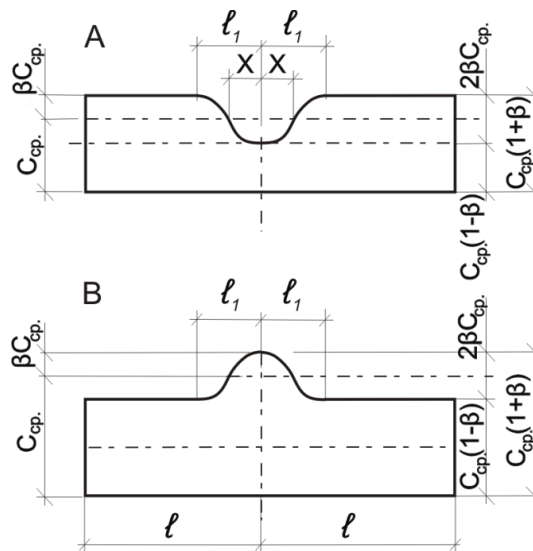


Рис. 2. Расчетные эпюры коэффициента жесткости неоднородного основания:

А – при расчете прогиба;

В – при расчете выгиба

Здесь $E_0^{\max}$ и $E_0^{\min}$ – соответственно, наибольшее и наименьшее значение начального модуля деформации основания в пределах контура стены (балки).

В силу недостаточной приближенности и определенной условности рассматриваемого метода, устанавливающей, что участок изменяющихся коэффициентов жесткости основания не может быть более $1/\pi = 0,318$ длины пластины (балки), получаемые значения растягивающих напряжений от ее изгиба оказываются столь малы, что в расчете пластины могут не учитываться. Да и громоздкость расчетов в тригонометрических функциях усложняет инженерные расчеты.

Более приближенным к действительности и точным, а по форме и менее сложным является разработанный нами после многолетних исследований каменной кладки [2–4] в БГТУ им. В.Г. Шухова метод определения растягивающих напряжений в камне (кирпиче) от изгиба в сжатой кладке, основанный на переменных коэффициентах жесткости не только основания, но и величины распределенной сжимающей нагрузки, что в наибольшей мере соответствует его работе и НДС в кладке. При этом, изменение

коэффициентов жесткости основания и величины неравномерно распределенной сжимающей нагрузки описываются не тригонометрическими нелинейными, а линейными алгебраическими функциями, как это показано на рис. 3.

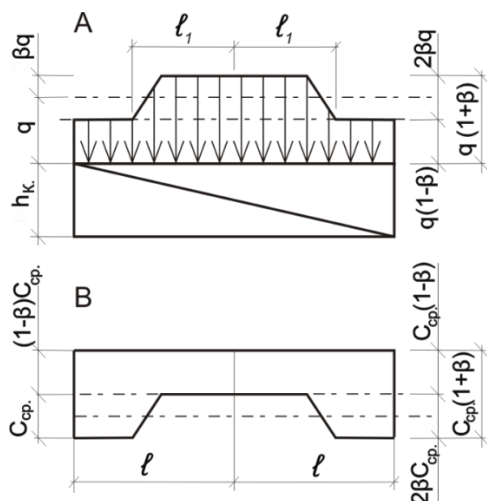


Рис. 3. Расчетные эпюры переменных коэффициентов: А – нагрузки на камень; В – жесткости неоднородного основания

Аналитический аппарат разработанного нами метода основан на использовании только одного коэффициента сжатия основания, линейных функциях изменения переменных коэффициентов жесткости основания, диаметрально для наихудшего положения работы камня противоположного линейному изменению величины сжимающей нагрузки, и уже ранее приведенных простейших случайных функциях изменения переменных коэффициентов жесткости основания и нагрузки.

Максимальное значение изгибающего момента равно

$$M_{\max} = \frac{g(1+\beta)\lambda \cdot \ell_k \cdot c}{24}, \quad (8)$$

где λ – классическая характеристика балки (пластины), лежащей на упругом основании, равная

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{4E_k \cdot I_k}{\eta \cdot E_p^0}} \leq 0,6\ell_k; \quad (9)$$

ℓ_k – длина ложка или тычка кирпича (камня); c – коэффициент перехода от камня к пластине, определяемый согласно теории упругости по зависимости

$$c = 1 + \frac{1}{1 + 0,5\left(\frac{\ell_k}{h_k}\right)^3}; \quad (10)$$

η – коэффициент снижения величины начального модуля упругости раствора при деформировании кладки.

В нашем случае коэффициент β также определяется по зависимости (6), а входящий в нее

коэффициент γ устанавливается по найденной нами ранее зависимости

$$\gamma = 1 + 5 \cdot \sqrt[4]{\frac{R_p}{E_p^0}}, \quad (11)$$

которая характеризует уровень структурной неоднородности раствора горизонтальной постели, зависящей от его деформативно – прочностных свойств.

Получаемые по такому расчету соотношения напряжений растяжения к напряжениям сжатия при изгибе камня (кирпича) в кладке, синхронно увеличивающиеся в зависимости от стадии ее напряженно - деформированного состояния и прочности раствора, изменяются от 0,25 до 0,50, как в продольном, так и в поперечном направлении камня.

Другие менее значительные, но явные растягивающие напряжения в камне в сжатой кладке вызываются разной степенью деформативных свойств раствора и камня. Общеизвестно, что коэффициент Пуассона ν_p у упруго – пластичного раствора значительно больше аналогичного коэффициента ν_k у упругого кирпича (камня), что при сжатии кладки вызывает у кирпича поперечные растягивающие деформации, а у раствора, наоборот, сжимающие.

Поэтому кирпич в сжатой кладке на традиционных строительных растворах подвергается сжатию в вертикальном направлении и растяжению в поперечных направлениях, а раствор при этом находится в сложном трехстороннем пространственном сжатии.

Определение поперечных растягивающих напряжений в кладке, а сжимающих – в растворе можно найти приближенно по следующей расчетной схеме (рис. 4).

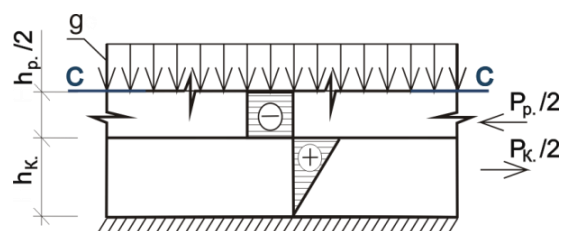


Рис. 4. Характер распределения усилий и напряжений в камне и растворе при однородных основании и нагрузке

Записывая уравнения равновесия и совместности деформаций по линии С – С на контакте двух пластин, имеем

$$P_k = P_p \quad \text{и} \quad \varepsilon_k = \varepsilon_p. \quad (12)$$

Учитывая, что относительные поперечные деформации камня ε_k и раствора ε_p складываются из свободных ε^0 и вынужденных компонентов

ε_k^B и ε_p^B , уравнение (12) можно представить в виде

$$\varepsilon_k^O + \varepsilon_k^B = \varepsilon_p^O - \varepsilon_p^B, \quad (13)$$

решая которое с учетом:

$$\varepsilon_k^O = \frac{v_k^O g}{E_k^O}; \varepsilon_k^B = \frac{P_k}{h_k E_k^O} \text{ и } \varepsilon_p^O = \frac{v_p^O g}{E_p^O}; \varepsilon_p^B = \frac{P_p}{h_p E_p^O} \quad (14)$$

после несложных преобразований в виде

$$\frac{P_k}{h_k} = \sigma_{kp}; \frac{P_p}{h_p} = \sigma_{p.c.}; \alpha_{k.p.} = \frac{\sigma_{k.p.}}{g}; \alpha_{p.c.} = \frac{\sigma_{p.c.}}{g}$$

$$\text{и } n'_k = \frac{E_k^O}{E_p} = \sigma_{kp}, \quad (15)$$

имеем следующие зависимости соотношений напряжений продольного и поперечного растяжения к сжатию в камне и сжимающих напряжений в растворе от разной степени деформативных свойств этих материалов в сжатой кладке в виде

$$\alpha_{k.p.} = + \frac{(v_p^O n'_k - v_k^O)}{1 + \frac{n'_k}{t}} \text{ и } \alpha_{p.c.} = - \frac{(v_p^O n'_k - v_k^O)}{n'_k + t}, \quad (16)$$

где n'_k – соотношение начальных модулей деформации камня и раствора, равное $n'_k = \frac{E_k^O}{E_p}$, t – соотношение высоты горизонтальных растворных швов и высоты камня, равное $t = \frac{h_p}{h_k}$.

Получаемые при этом горизонтальные поперечные растягивающие напряжения в кирпиче в зависимости от прочности раствора составляют от 0,075 до 0,15 от величины его вертикального сжатия при исчерпании прочности кладки, а в растворе, наоборот, сжимающие и уже более значительные, вплоть до 0,45–0,50 от вертикального сжатия.

Выводы. Таким образом, приведенными многолетними экспериментально – теоретическими исследованиями [2–4] подтверждено сложное пространственное деформативно-прочностное состояние камня (кирпича) и раствора горизонтальных швов в сжатой кладке, при котором с ее нагружением вместе с вертикальным сжатием синхронно в поперечных горизонтальных направлениях возникают: в кирпиче двухсторонние растягивающие напряжения от его изгиба и разности деформативных свойств с раствором в соотношении 0,35–0,65, а в растворе от той же разности, но уже сжимающие с соотношением в 0,45–0,75, что и приводит к снижению прочности кирпича и повышению прочности раствора.

И поскольку камень в сжатой кладке находится в сложном состоянии вертикального сжатия и двухстороннего поперечного растяжения, а раствор горизонтальных швов – в состоянии

трехстороннего сжатия, их расчеты должны осуществляться на основании более верных и сложных теорий прочности [8, 9].

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. СНиП II-22-81* Каменные и армокаменные конструкции // Госстрой России. М.: ФГУП ЦПП, 2004.
2. Донченко О.М., Дегтев И.А. Экспериментальные исследования деформирования и сопротивления кладки из силикатного кирпича на различных растворах при центральном сжатии // В сб.: Строительные конструкции и инженерные сооружения. Сборник трудов МИСИ, БТИСМ. М.: МИСИ, 1982. С. 3–10.
3. Донченко О.М., Дегтев И.А. К развитию теории трещиностойкости и сопротивления кладки при сжатии // Известие Вузов. Строительство. 2000. №10. С. 16–20.
4. Construction of a nearly-zero energy house with AAC under different European climate conditions / Torsten Schoch / 5th International Conference on AAC «Securing a Sustainable Future», Poland, Bydgoszcz, September 14–17, 2011. Pp. 21 – 25.
5. Донченко О.М., Пащенко Ж.Н. Прочность и трещиностойкость кладки из пустотелых керамзитобетонных камней при центральном сжатии // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 6. С. 79–86.
6. Онищик Л.И. Прочность и устойчивость каменных конструкций. М.: ОНТИ, 1937. 291 с.
7. Поляков С.В. Длительное сжатие кирпичной кладки. М.: Госстройиздат, 1959. 183 с.
8. Берг О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. М.: Госстройиздат, 1962. 98 с.
9. Гениев Г.А., Кнсюк В.Н., Тюпин Г.А. Теория пластичности бетона и железобетона. М.: Стройиздат, 1974. 316 с.
10. European Union's policy and regulatory perspectives on sustainable Construction / Vicente Leon-Argüelles // 5th International Conference on AAC «Securing a Sustainable Future», Poland, Bydgoszcz, September 14–17, 2011.
11. Promoting AAC solutions for sustainable sustainable Construction challenges in Europe / Jos Cox / 5th International Conference on AAC «Securing a Sustainable Future», Poland, Bydgoszcz, September 14–17, 2011. Pp. 47–52.

Информация об авторах

Донченко Олег Михайлович, кандидат технических наук, профессор кафедры строительства и городского хозяйства.

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

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

Дегтев Илья Алексеевич, кандидат технических наук, профессор кафедры архитектурных конструкций.

E-mail: konstrah@mail.ru

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

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

Тарасенко Виктория Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры архитектурных конструкций.

E-mail: tarasenko.vn@bstu.ru, vell.30@mail.ru

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

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

Поступила в феврале 2018 г.

© Донченко О.М., Дегтев И.А., Тарасенко В.Н., 2018

O.M. Donchenko, I.A. Degtev, V.N. Tarasenko
BENDING AND STRETCHING OF STONE WITH CENTRIC COMPRESSION
OF MASONWORK

The accuracy of various approaches in determination of tensile stresses from the bend of stone in a compressed masonry is analyzed. The method developed by the authors for determining tensile stresses in stone depending on its bending and the difference of deformation properties of materials is presented.

The explanation of the complex deformation-stress condition of the mortar in horizontal joints in the masonry under the force compression is given. The main causes of their sharp structural heterogeneity, which results in bending and reduction of the stone strength under compression, are shown. The analytic dependence of the structural inhomogeneity of the mortar bed on the compressive and tensile strength of the mortar is given.

The calculated dependences of the developed method and the actual relative values of the transverse tensile stresses in the stone and compressive stresses in the mortar are obtained.

Keywords: masonry, building mortar, masonry compression, bending, structural heterogeneity of mortar.

REFERENCES

1. Construction Regulation Standards Building Code II-22-81* Masonry and reinforced masonry structures // Gosstroy of Russia. M.: Federal state unitary enterprise tspp, 2004.

2. Donchenko O.M., Degtev I.A. Experimental study of the deformation and resistance of a laying of a silicate brick in different solutions at the Central compression // Building structures and engineering structures. Proceedings of the IISS, BTIM. Moscow: MISI, 1982, Pp. 3–10.

3. Donchenko O.M., Degtev I.A. To the development of the theory of crack resistance and resistance of masonry under compression // News of higher educational institutions. Construction, 2000, no. 10, Pp. 16–20.

4. Construction of a nearly-zero energy house with AAC under different European climate conditions / Torsten Schoch / 5-th international Conference on AAC "Securing a Sustainable Future", Poland, Bydgoszcz, 2011, pp. 21–25.

5. Donchenko O.M., Pashchenko J.N. Strength and fracture toughness of masonry of hollow light-

weight aggregate stones at the Central compression // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2013, no. 3, pp. 79–86.

6. Onishchik L.I. Durability and stability of stone designs. M.: ONTI, 1937, 291 p.

7. Polyakov S.V. Long compression of a brick-laying. M.: Gosstroizdat, 1959, 183 p.

8. Berg O.Y. Physical bases of the theory of concrete and reinforced concrete strength. M.: Gosstroizdat, 1962. 98 p.

9. Geniev G.A., Kisson V.N., Tyupin, G.A. Theory of plasticity of concrete and reinforced concrete. M.: Stroyizdat, 1974. 316 p.

10. European Union's policy and regulatory perspectives on sustainable Construction / Vicente Leon-Argüelles // 5-th International Conference on AAC "Securing a Sustainable Future", Poland, Bydgoszcz, 2011.

11. Promoting AAC solutions for sustainable sustainable Construction challenges in Europe / Jos Cox / 5-th international Conference on AAC "Securing a Sustainable Future", Poland, Bydgoszcz, 2011, pp. 47–52.

Information about the author

Oleg M. Donchenko, PhD., Professor.

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

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

Ilya A. Degtev, PhD., Professor.

E-mail: konstrarh@mail.ru

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

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

Viktoriya N. Tarasenko, Ph.D., Assistant professor.

E-mail: tarasenko.vn@bstu.ru, vell.30@mail.ru

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

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

Received in February 2018

Рымаров А.Г., канд. техн. наук, доц.,
Агафонова В.В., ассистент

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

АДАПТАЦИЯ СТАНДАРТНОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТРУЙ ДЛЯ СЛУЧАЯ ЛАМИНАРНОГО РЕЖИМА ИСТЕЧЕНИЯ

agafonovavv@mgsu.ru

Повышение эффективности систем вентиляции и кондиционирования воздуха помещений зданий гражданского назначения связано с применением на практике новых типов воздухораспределительных устройств – микроперфорированных текстильных воздухопроводов. Основным преимуществом такого типа воздухораспределителей является подача приточного воздуха быстрозатухающими ламинарными микроструями. В настоящее время существующие подходы по расчету основных параметров приточных струй (осевой, продольной скорости) ориентированы на турбулентный режим истечения и не корректны для определения параметров ламинарных микроструй. В статье представлены результаты по адаптации существующих инженерных методик расчета для решения задач в ламинарной постановке. Уточнены расчетные формулы И.А. Шепелева, путем введения полученных зависимостей аэродинамической характеристики струи m и постоянной c , входящих в расчетную формулу, от кинематического импульса струи K для случая ламинарного истечения микроструй, истекающих из отверстия круглой формы.

Ключевые слова: микроперфорированный текстильный воздухопровод, компактная струя, микроструя, ламинарные струи, аэродинамические характеристики струи.

Одной из основных задач вентиляции гражданских зданий является подача приточного воздуха в нужном объеме и с требуемыми параметрами в зону дыхания человека, что до настоящего времени было сложно осуществить посредством существующих типов воздухораспределителей из-за высоких скоростей приточного воздуха. Преимуществом микроперфорированных текстильных воздухопроводов является возможность подачи приточного воздуха быстрозатухающими ламинарными микроструями, истекающими из микроотверстий ($d=0,0002-0,0006$ м), прожигаемых в ткани лазером [1, 2], что исключает возможность появления эффекта сквозняка в рабочей зоне помещения, способствует формированию требуемых параметров микроклимата [3, 4]. Ряд численных и экспериментальных исследований, выполненных зарубежными авторами [5–9], позволяет сделать вывод, что воздушное душирование рабочих мест способствует улучшению качества воздуха в зоне дыхания работников.

Микроперфорированные текстильные воздухораспределители начали применяться в России относительно недавно, поэтому в справочной литературе отсутствует информация, необходимая для проектирования систем вентиляции с использованием такого вида устройств.

Проведенный анализ существующих инженерных методик расчета основных параметров струй показал, что общим недостатком методик И.А. Шепелева [10], Г.Н. Абрамовича [11], С.-Я.

Чен и W. Rodi [12] является то, что они предназначены для решения задач в турбулентной постановке. Методика Г. Шлихтинга [13] позволяет определять параметры ламинарных струй, однако необходимо для каждого рассматриваемого случая определять полюс струи, находящийся на расстоянии x_0 от приточного отверстия, что повышает трудоемкость расчета.

Анализ возможного сочетания диаметра ($d=0,0002-0,0006$ м) приточных микроотверстий текстильных воздухопроводов и начальной скорости истечения воздуха ($u = 0,9-6,5$ м/с) дает представление о диапазоне варьирования числа Рейнольдса: $Re=3-270$. Таким образом, для микроструй, истекающих из микроотверстий характерен ламинарный режим истечения. В этой связи возникает необходимость в адаптации существующей методики расчета основных параметров струй для случая ламинарного истечения.

За основу был принят инженерный метод расчета, приведенный в работе И.А. Шепелева [5] для расчета скорости струи:

$$u = \frac{m \cdot u_0 \cdot \sqrt{F_0}}{x} \cdot e^{-0,5 \cdot \left(\frac{y}{cx}\right)^2} \quad (1)$$

где u_0 – средняя скорость истечения, u_x – осевая скорость струи, F_0 – площадь приточного отверстия, x и y – координаты точки, c – постоянная, m – аэродинамическая характеристика приточной струи.

Для осевой скорости струи, при $y=0$, формула (1) принимает следующий вид:

$$u_x = \frac{m \cdot u_0 \cdot \sqrt{F_0}}{x} \quad (2)$$

Значение аэродинамической характеристики изотермической турбулентной струи в соответствии с [10] составляет $m=6,88$, вероятное значение постоянной $c=0,082$.

С целью расширения границы применения расчетных формул (1) и (2) необходимо уточнить значения вышеуказанных постоянных.

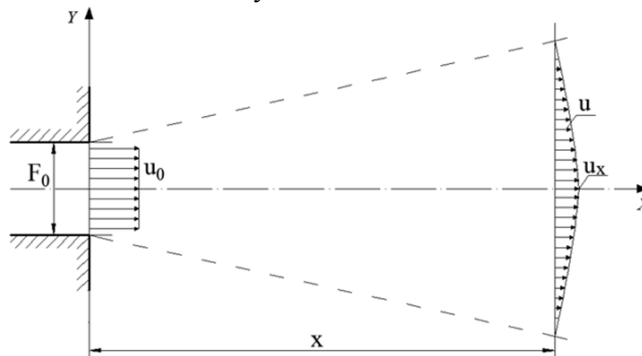
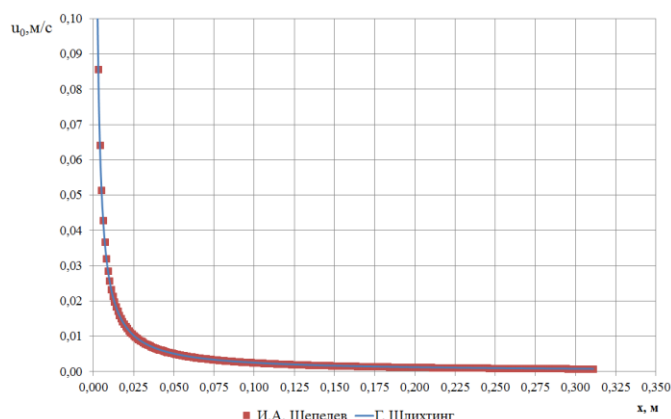
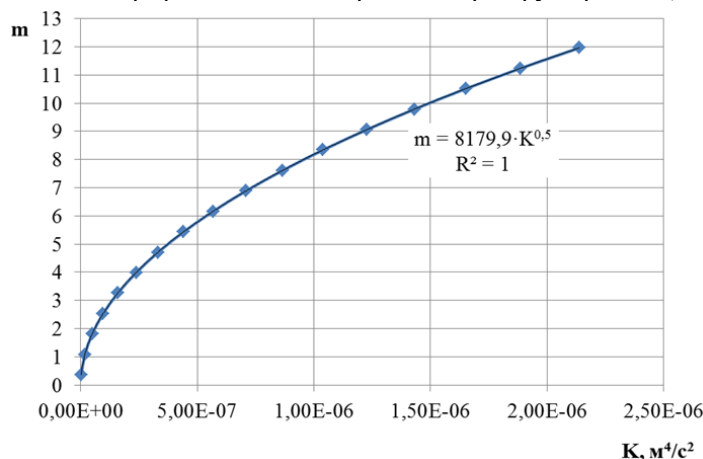


Рис. 1. Схема струи

Была рассмотрена струя (рис. 1) при различных сочетаниях диаметра приточного отверстия ($d=0,00025; 0,0004; 0,0006$ м) и значениях начальной скорости ($u=0,2-6,6$ м/с). Кинематический импульс струи (K) изменялся в пределах от $1,96 \cdot 10^{-9}$ до $1,23 \cdot 10^{-5}$ м⁴/с². Кинематическая вязкость воздуха $\nu=14,6 \cdot 10^{-6}$ м²/с, температура воздуха $t=20$ °С, плотность воздуха $\rho=1,2$ кг/м³, режим истечения – ламинарный.

При уточнении аэродинамической характеристики струи m и постоянной c , входящих в расчетные формулы (1) и (2), были последовательно решены следующие задачи при ламинарном режиме истечения микроструи.

Задача 1. Определено изменение осевой скорости микроструи (u_0 , м/с) от расстояния (x , м) от приточного отверстия при различных вариантах исходных данных по методике И.А. Шепелева [10] и Г. Шлихтинга [13]. Методом последовательного приближения, меняя значение m , выполнено совмещение графика, построенного с помощью расчетной формулы (2) методики [10] с графиком, построенным по результатам расчета в соответствии с методикой [13] (пример - рис. 2). По результатам расчета был построен график изменения значения аэродинамической характеристики струи от кинематического импульса микроструи (K, м⁴/с²) (рис. 3).

Рис. 2. Сопоставление графиков осевой скорости микроструи при $K=0,45216 \cdot 10^{-7}$ м⁴/с²Рис. 3. Изменение значения аэродинамической характеристики струи m в зависимости от кинематического импульса K

В результате аппроксимации получена следующая зависимость:

$$m = 8179,9 \cdot K^{0,5} \quad (3)$$

Задача 2. Были определены профили продольной скорости микроструи на различном расстоянии от приточного отверстия ($x=0,0011$; $0,002$; $0,003$; $0,006$; $0,008$; $0,01$ м) при заданных значениях кинематического импульса микро-

струи. Аналогично алгоритму, представленному при решении задачи 1, методом последовательного приближения, меняя значения постоянной c было выполнено совмещение графиков продольной скорости микроструи (пример – рис. 4). По результатам расчета был построен график изменения значения постоянной c от кинематического импульса микроструи K (рис. 5).

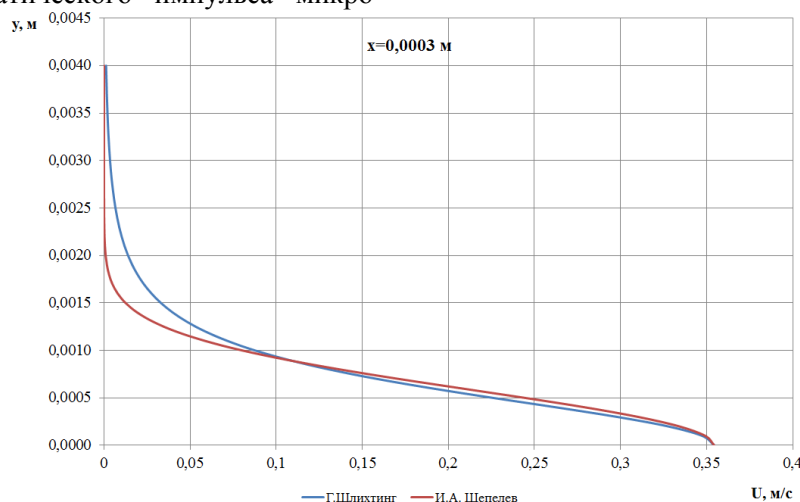


Рис. 4. Сопоставление графиков продольной скорости микроструи при $x=0,0003$ м

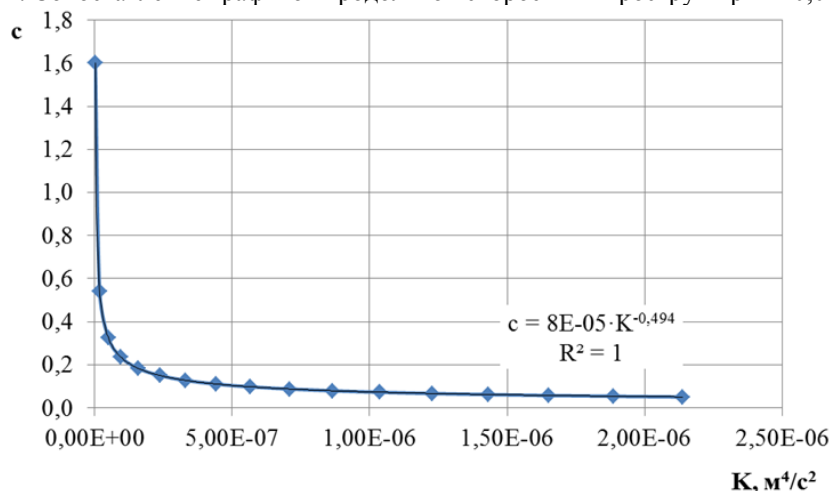


Рис. 5. Изменение значения постоянной c в зависимости от кинематического импульса K

В результате аппроксимации получена следующая зависимость постоянной c от кинематического импульса микроструи K :

$$c = 8 \cdot 10^{-5} \cdot K^{-0,494} \quad (4)$$

Заменив значения аэродинамической характеристики струи m и постоянной c в расчетных формулах (1) и (2) полученными зависимостями (3) и (4), запишем адаптированные формулы для расчета продольной и осевой скорости ламинарной микроструи, получим:

продольная скорость ламинарной микроструи:

$$u = \frac{8180 \cdot K^{0,5} \cdot u_0 \cdot \sqrt{F_0}}{x} \cdot e^{-0,5 \cdot \left(\frac{y}{8 \cdot 10^{-5} \cdot K^{-0,494} \cdot x} \right)^2}$$

осевая скорость ламинарной микроструи:

$$u_x = \frac{8180 \cdot K^{0,5} \cdot u_0 \cdot \sqrt{F_0}}{x}$$

Выводы. В результате проведенного исследования, расширена область применимости инженерной методики И.А. Шепелева применительно к ламинарному режиму истечения струи. Получена зависимость аэродинамической характеристики струи m и постоянной c от кинематического импульса струи K для ламинарных микроструй. Разработанные модификации корреляций, позволяют определять основные параметры микроструй (осевую, продольную скорости) с погрешностью, не превышающей 3 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки. М.: изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2006. 664 с.
2. Парфенов В.А. Лазерная микрообработка материалов: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2011. 59 с.
3. Рымаров А.Г., Агафонова В.В. Особенности истечения воздуха микроструями // Приволжский научный журнал. 2015. №1. С. 60–64.
4. Рымаров А.Г., Агафонова В.В. Исследование возможности применения текстильных воздуховодов в системах вентиляции // Естественные и технические науки. 2015. №2. С. 141–143.
5. Nielsen P.V., Topp C., Sonnichsen M. et al. Air distribution in rooms generated by a textile terminal—comparison with mixing and displacement ventilation //ASHRAE Transaction. 2005. Vol. 8 (1). Pp. 733–739.
6. Nielsen P.V., Hyldgaard C.E., Melikov A. Comparison between different air distribution systems // Aalborg University and International Centre for Indoor Environment and Energy. 2007. Denmark. 17 p.
7. Nielsen P.V. Personal exposure between people in a room ventilated by textile terminals: with and without personalized ventilation // HVAC&R Research. 2007. Vol. 13 (4). Pp. 635–644.
8. Pinkalla C. Fabric duct air dispersion for HVAC systems // Construction Specifier. 2003. Vol. 56 (6). Pp. 57–64.
9. Chen F., Chen H., Xie J. et al. Air distribution in room ventilated by fabric air dispersion system // Building and Environment. 2011. Vol. 46 (11). Pp. 2121–2129.
10. Шепелев И.А. Аэродинамика воздушных потоков в помещении. М.: Стройиздат, 1978. 144 с.
11. Абрамович Т.Н. Теория турбулентных струй. М.: Наука, 1976. 623 с.
12. Chen C.-J., Rodi W. Vertical turbulent buoyant jets: a review of experimental data. NASA STI/Recon Technical Report A 80. 1980. 96 с.
13. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. Пер. Г.А. Вольперта с 5-го нем. изд., испр. по 6-му (амер.) изд. Под ред. Л.Т. Лойцянского. М.: "Наука". 1974. 711 с.

Информация об авторах

Рымаров Андрей Георгиевич, кандидат технических наук, заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции.

E-mail: rymarov@yandex.ru

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

Агафонова Вера Валерьевна, ассистент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции.

E-mail: agafonovavv@mgsu.ru

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

Поступила в январе 2018 г.

© Рымаров А.Г., Агафонова В.В., 2018

A.G. Rymarov, V.V. Agafonova

ADAPTATION OF THE STANDARD ENGINEERING METHOD OF CALCULATING THE MAIN PARAMETERS OF JETS FOR THE LAMINAR FLOW MODE

Increasing the efficiency of ventilation and air conditioning systems in civil buildings is associated with the use of new types of air distribution devices – micro-perforated textile ducts. The main advantage of this type of air distributor is the supply of fresh air with rapidly damping laminar micro-jets. At present, the existing approaches to calculating the main parameters of the supply jets (axial and longitudinal velocity) are oriented to the turbulent flow regime and are not adequate for determining the parameters of laminar micro-jets. The article presents the results of adapting the existing engineering calculation techniques for solving problems in a laminar setting. The Shepelevs formula is adapted to calculate the basic parameters of laminar micro-jets by introducing the obtained dependences of the aerodynamic characteristics of the jet m and the constant c , contained in the calculation formula, on the kinematic momentum of the jet K for laminar micro-jets flowing out of a round opening.

Keywords: microperforated textile air duct, circular jet, micro-jets, laminar jets, aerodynamic characteristics of the jet.

REFERENCES

1. Grigoriants A.G., Shiganov I.N., Misyurov A.I. Technological processes of laser processing. Moscow: Izd-vo MSTU. NE Bauman. 2006. 664 p.
2. Parfenov V.A. Laser microprocessing of materials: Proc. allowance. SPb.: Publishing house SPbGETU «LETI». 2011. 59 p.
3. Rymarov A.G., Agafonova V.V. Features of air discharge by micro-jet // *Privolzhsky scientific journal*, 2015, no. 1, pp. 60–64.
4. Rymarov A.G., Agafonova V.V. Investigation of the possibility of using textile air ducts in ventilation systems // *Natural and technical science*, 2015, no. 2, pp. 141–143.
5. Nielsen P.V., Topp C., Sonnichsen M. et al. Air distribution in rooms generated by a textile terminal—comparison with mixing and displacement ventilation // *ASHRAE Transaction*, 2005, vol. 8 (1), pp. 733–739.
6. Nielsen P.V., Hyldgaard C.E., Melikov A. Comparison between different air distribution systems // *Aalborg University and International Centre for Indoor Environment and Energy*, 2007, Denmark, 17 p.
7. Nielsen P.V. Personal exposure between people in a room ventilated by textile terminals: with and without personalized ventilation // *HVAC&R Research*, 2007, vol. 13 (4), pp. 635–644.
8. Pinkalla C. Fabric duct air dispersion for HVAC systems // *Construction Specifier*, 2003, vol. 56 (6), pp. 57–64.
9. Chen F., Chen H., Xie J. et al. Air distribution in room ventilated by fabric air dispersion system // *Building and Environment*, 2011, vol. 46 (11), pp. 2121–2129.
10. Shepelev I.A. Aerodynamics of air flows in the room. Moscow: Stroizdat, 1978, 144 p.
11. Abramovich T.N. The theory of turbulent jets. M.: Nauka, 1976, 623 p.
12. Chen C.-J., Rodi W. Vertical turbulent buoyant jets: a review of experimental data. NASA STI/Recon Technical Report A 80. 1980, 96 c.
13. Schlichting G. The theory of the boundary layer. Trans. G.A. Volpert with the 5th it. ed., Rev. on the 6th (amer.) ed. Ed. L.T. Loitsyanskogo. M.: "Science". 1974, 711 p.

Information about the author

Andrey G. Rymarov, PhD, Assistant professor.

E-mail: rymarov@yandex.ru

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

Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe sh., 26

Vera V. Agafonova, Assistant.

E-mail: agafonovavv@mgsu.ru

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

Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe sh., 26

Received in January 2018

*Аверкова О.А., д-р техн. наук, проф.,
Крюков И.В., канд. техн. наук, начальник отдела ОНИРС,
Крюкова О.С., аспирант*

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

К ВОПРОСУ О РАЗМЕЩЕНИИ СИСТЕМ МЕСТНОЙ ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ В ПОМЕЩЕНИЯХ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ПЫЛИ

averkova.aa@bstu.ru

Системы местной вытяжной вентиляции широко используются в помещениях с высоким содержанием вредных веществ, образуемых в результате технологического процесса. К таким помещениям можно отнести маникюрные кабинеты, воздух рабочей зоны которых характеризуется такими вредностями как пыль, которая негативно влияет на здоровье мастера. Пылевые аэрозоли, образующиеся при опиливании поверхности ногтей при длительном воздействии на организм мастера, могут привести к риску развития профессиональных заболеваний. В представленной работе исследованы условия труда в маникюрных кабинетах и определены причины возникновения пылевых аэрозолей. Измерены концентрации пылевых аэрозолей в маникюрном кабинете. Проведен химический анализ пылевых аэрозолей и определены вредные компоненты, содержащиеся в них. Обсуждается необходимость использования систем местной вытяжной вентиляции в маникюрных кабинетах для удаления образуемых вредных веществ.

Ключевые слова: местная вытяжная вентиляция, обеспыливающая вентиляция, ногтевая пыль, вентиляция маникюрного кабинета.

При проектировании системы вентиляции в помещениях с высоким содержанием пыли, образующейся в результате технологического процесса, основной задачей является создание комфортных условий труда для рабочих, а также обеспечение санитарно-гигиенических требований, предъявляемых к воздуху рабочей зоны помещения. К таким помещениям можно отнести маникюрные кабинеты.

Воздух рабочей зоны в таких кабинетах, чаще всего характеризуется такими вредностями как пылевые аэрозоли и летучие вредные вещества (ацетон, этилацетат). Образование пыли происходит в результате опиливания ногтей, которое проводится с целью придания им формы, обработки их поверхности для последующего нанесения покрытия или с целью снятия старого. Чаще всего к таким покрытиям относятся лак, гель-лак, акрил. Характер воздействия пылевых аэрозолей на организм человека зависит от таких факторов как форма частиц пыли, их дисперсность и химический состав. При наличии грибковых заболеваний ногтя пыль может причинять бактериологический вред здоровью, т.к. вместе с ней в организм могут попадать болезнетворные микроорганизмы.

Мелкие частицы пыли размером менее 5 мкм при вдыхании могут глубоко проникать в легкие вплоть до альвеол [1, 2]. Более крупные частицы, в свою очередь, оседают на слизистых оболочках в верхних дыхательных путях, не проникая в легкие [1].

Впервые влияние ногтевой пыли было рассмотрено и описано в литературе в начале 70-х годов [3]. Воздействию этих пылевых аэрозолей подвергались медицинские работники, занимающиеся обработкой поверхности ногтей с целью устранения грибковых инфекций. Было установлено, что при длительном воздействии на организм ногтевая пыль может стать причиной развития профессиональных заболеваний. К таким заболеваниям относят различные аллергические реакции, ринит, астму и др., а при воздействии на кожные покровы возможно развитие контактного дерматита, экземы, на органы зрения – конъюнктивита [4, 5, 6, 7]. Согласно источнику [8] ногтевая пыль определяется как респираторное сенсибилизирующее вещество, которое при воздействии на организм может вызвать необратимые аллергические реакции в дыхательной системе. Сенсибилизация – повышение чувствительности организма к воздействию раздражителей происходит не сразу, а обычно после нескольких месяцев или лет непрерывного воздействия вредного компонента.

Маникюрные кабинеты, по сравнению с медицинскими, характеризуются не только воздействием ногтевой пыли, но и пылевыми аэрозолями, образуемыми при опиливании окрашенной или наращенной поверхности ногтя. Наращивание производится, например, акрилом или гелем для устранения недостатков внешнего вида ногтей. В состав данных веществ могут входить вредные химические компоненты, которые отрицательно воздействуют на организм мастера

маникюра и приводят к заболеваниям, указанным выше.

Стоит отметить следующий факт – пыль оказывает негативное воздействие на здоровье не только мастера маникюра, но и на здоровье посетителя, хотя это воздействие по сравнению с первым незначительное.

Для защиты органов дыхания мастера маникюра от пылевых аэрозолей рекомендуется использование защитной маски или респиратора. В работе [9] было обнаружено, что многие маски были не в состоянии отфильтровать мелкие частицы размером менее 5 мкм. К тому же маска может затруднять работу мастера маникюра, оказывая в большей степени неудобство в использовании.

Для снижения концентрации пыли в воздухе рабочей зоны рационально использование систем местной вытяжной вентиляции [10, 11].

Требования СанПин [12] подразумевают наличие на рабочих местах маникюрных кабинетов системы местной вытяжной вентиляции. Однако, в большинстве кабинетов данным пунктом пренебрегают. Связано это с такими факторами как:

- стоимость вентиляционного оборудования;
- затраты на эксплуатацию оборудования, включая замену и обслуживание фильтрующих элементов;
- неудобство его размещения;
- малая эффективность пылеулавливания;
- высокий шум и т.д.

Научный и практический интерес, в первую очередь, представляет исследование реальных условий труда в маникюрных кабинетах, связанных с качеством воздуха рабочей зоны.

Целью работы является определение качества воздуха рабочей зоны маникюрного кабинета, измерение концентрации пылевых аэрозолей в помещении, а также проведение количественного химического анализа пыли на содержание вредных компонентов, которые могут оказывать негативное влияние на здоровье мастера маникюра.

Определение концентрации пыли в воздухе рабочей зоны. Измерение концентрации пыли в воздухе рабочей зоны маникюрного кабинета проводилось при помощи аспиратора для отбора проб воздуха модели 822. Установленные на данном аспираторе ротаметры позволяют осуществлять замеры прямым методом, снижая величину ошибки по сравнению с косвенными методами. Погрешность измерений устройства составляет 5 %.

Прежде чем приступить к проведению измерений проводилась подготовка фильтров. В

качестве фильтрующих элементов использовались волокнистые фильтры марки АФА. Фильтры помещались в эксикатор для высушивания до постоянной массы m_0 , а затем взвешивались на электронных весах с точностью до 0,0001 г. Отбор проб проводился в салоне-парикмахерской «Вояж», расположенной в городе Белгород, в маникюрном кабинете. Измерение проводилось в области дыхания мастера маникюра. Всасывающий патрубок для отбора проб воздуха располагался на расстоянии 30 см от поверхности рабочего стола. Наибольшее выделение пыли происходит как раз в процессе опиливания ногтей. Спустя время, часть пыли оседает, и концентрация загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны будет в этом случае значительно меньше. Однако мельчайшие пылевые аэрозоли могут находиться в воздухе до 10 часов после опиливания ногтей [9, 13]. Опиливание выполнялось мастером маникюра при помощи пилки для ногтей. Для спиливания гелевой поверхности используются пилки с абразивностью 180–240 grit [14]. Грит – размер зерна абразивного материала на шлифовальной поверхности, которой производится обработка. Мастер обрабатывал поверхность окрашенных гель-лаком ногтей с целью последующего нанесения нового слоя лака. Измерение проводилось при расходе всасываемого воздуха 20 л/мин в течение 10 мин. (средняя продолжительность процесса опиливания). Отбор проб проводился согласно рекомендациям [15]. После проведения эксперимента фильтры снова помещались для сушки в эксикатор. Спустя некоторый промежуток времени фильтры взвешивались. Разность между полученными до и после проведения эксперимента значениями показывала массу уловленных фильтрами частиц пыли. Концентрация пыли определялась по формуле:

$$C = \frac{m - m_0}{V \cdot t},$$

где m – масса запыленного фильтра после отбора проб, мг; m_0 – масса фильтра до отбора проб, мг; V – расход всасываемого воздуха аспиратором, л/мин; t – время работы аспиратора, мин.

Концентрация пыли по результатам 3 замеров, выполненных в один и тот же день, составила:

$$C_1 = 14,5 \text{ мг/м}^3;$$

$$C_2 = 8 \text{ мг/м}^3;$$

$$C_3 = 23,5 \text{ мг/м}^3;$$

Такой разброс полученных значений можно объяснить тем, что во время опиливания ногтей

в зависимости от интенсивности работы мастера выделяется различное количество пыли.

Значения ПДК воздуха рабочей зоны для ногтевой пыли в нормативном документе [16] не установлены. В работе [17] приводятся предельно допустимые концентрации пылевых аэрозолей, установленные гигиеническими стандартами OSHA PEL и ACGIH TLV, которые равны 15 и 10 мг/м³ соответственно. Полученные в ходе измерений значения, по сравнению с представленными в стандартах, достаточно высокие, что подтверждает необходимость использования систем местной вентиляции на рабочих местах маникюрных кабинетов.

Определение химического анализа пыли.

Исследование выполнялось с целью определения вида и количества вредных веществ, содержащихся в отобранном образце пыли. Исследования проводились на базе независимой лаборатории ООО «ЦЭСиЭ». В качестве проб были

представлены спилы ногтей. Так как опиливание представленного образца проводилось с поверхности окрашенных гель-лаком ногтей, было предложено исследовать образец на содержание таких вредных веществ как формальдегид и фенол летучий, которые могут входить в состав лаков и вспомогательных компонентов. Формальдегид классифицируется как потенциальный канцероген, а также он может вызывать раздражение дыхательных путей [18].

В качестве средств измерения использовались весы электронные лабораторные ВЛ-II (ВМ 2202), весы лабораторные ВЛ-210, спектрофотометр СПЕКС ССП-705. Исследования проводились согласно методикам [19, 20], которые позволяют определить содержание таких вредных веществ как формальдегид и фенол летучий. Полученные значения представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты количественного химического анализа спила ногтей

№	Определяемая характеристика, ед. изм.	Наименование документа на МВИ, метод	Результаты КХА
1.	Влажность, %	ПНД Ф 16.1:2.2:2.3:3.58-80, ГМ	0,64
2.	Фенол летучий, мг/кг	ПНД Ф 16.1:2.3:3.44-05, ФМ	14,2
3.	Формальдегид, мг/кг	ПНД Ф 16.1:2.3:3.45-05, ФМ	9,4

Данные вещества относятся ко 2-му классу опасности – высоко опасные. Согласно СП 2.1.7.1386-03 для данного класса опасности веществ устанавливается ПДК воздуха рабочей зоны 0,1–1 мг/м³ [21].

Согласно требованиям ГН 2.1.5.1315-03 устанавливается следующее ПДК воздуха рабочей зоны [12]: для формальдегида 0,05 мг/м³, для фенола летучего 0,1 мг/м³. Данные значения установлены для паров, а не для пылевых аэрозолей, но неоспоримой является необходимость оборудования рабочего места косметолога системой местной вытяжной вентиляции.

Вывод. По результатам проведенных исследований было установлено следующее:

- исследованы реальные условия труда в маникюрных кабинетах и определены причины возникновения пылевых загрязнений;
- измерены концентрации пылевых аэрозолей, имеющие достаточно высокие показатели;
- определены вредные компоненты, содержащиеся в ногтевых спилах, которые согласно нормативным документам относят ко 2-му классу опасности и для которых установлено ПДК воздуха рабочей зоны 0,1–1 мг/м³.

– показана необходимость использования систем местной вытяжной вентиляции для удаления пыли и создания комфортных условий в маникюрном кабинете.

Источник финансирования. Грант Президента РФ МД-95.2017.8.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Штокман Е.А. Очистка воздуха. М.: Изд-во: АСВ, 1998. 320 с.
2. Abramson C., Rupp M.J., McCarthy D.J. Inhalation of nail dust: A podiatric hazard. Infectious Diseases of the Lower Extremities. Williams & Wilkins, Baltimore, 1990. Pp. 293–298.
3. Pugh J., Skone J.F. The health of the chiropodist in a developing community service // The Chiropodist. 1972. №27 (2). Pp. 53–55.
4. Donaldson K., Gilmour P.S., Brown P.S., Carline T., Donaldson CL: Toenail dust particles: a potential inhalation hazard to podiatrists // Ann Occup Hyg. 2003, Vol. 46. Pp. 365–368.
5. Burrows J.G., McLarnon N.A. World at work: evidence based risk management of nail dust in chiropodists and podiatrists // Occup Environ Med. 2006. Vol. 63. Pp. 713–716. 10.1136/oem.2006.027565.

6. Dutch Expert Committee on Occupational Safety: Endotoxins: health based recommended exposure limit. A Report to the Health Council of the Netherlands. 2010. The Hague: The Netherlands: Health Council of the Netherlands Publication No 2010/040SH.
7. Millar N.A. The ocular risks of human nail dust in podiatry. PhD Thesis, Glasgow Caledonian University, 2000.
8. McLarnon N.A., Burrow J.G., Price P., Aidoo K.E., MacLaren W., Harper M., Nephew M., Edwards G. (2005). The controls of airborne hazardous substance in the healthcare environment, IOHA Pilannesberg: paper E1-1, Pp. 1–6.
9. Purkiss R. An assessment of the airborne dust in podiatric treatment areas, and its relevance to the use of respiratory protective equipment. // Brit Pod Med. 1997. Vol. 52. Pp. 129–136.
10. Логачев И.Н., Логачев К.И. Аэродинамические основы аспирации. СПб: Химиздат, 2005. 659 с.
11. Логачев И.Н., Логачев К.И. Аверкова О.А. Энергосбережение в аспирации. М.: РХД, 2013. 504 с.
12. СанПиН 2.1.2.2631-10 Санитарно-эпидемиологические требования к размещению, устройству, оборудованию, содержанию и режиму работы организаций коммунально-бытового назначения, оказывающих парикмахерские и косметические услуги.
13. Abramson C., Wilton J: Inhalation of nail dust from onychomycotic toenails. Part 1. Characterization of particles // Am Podiatr Med Assoc. 1992. Vol. 75. Pp. 563–567.
14. Пилим и полируем: пилки для маникюра гель-лаком [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://etogel.ru/пилим-и-полируем-пилки-для-маникюра-ге/> (дата обращения: 10.01.2018).
15. Иванищенко О.И., Староверов С.В. Охрана воздушного бассейна: методические указания к выполнению лабораторных работ. Белгород: Изд-во БГТУ, 2007. 40 с.
16. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
17. Roelof C., Do T. Exposure Assessment in Nail Salons: An Indoor Air Approach // ISRN Public Health. 2012. Vol. 2012. Pp. 1–7.
18. Liteplo R.G., Meek M.E. Inhaled formaldehyde: exposure estimation, hazard characterization, and exposure-response analysis // Toxicol. Environ. Health B Crit. Rev. 2003. Vol. 6. Pp. 85–114.
19. ПНД Ф 16.1:2.3:3.45-05 Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли формальдегида в пробах почв, осадках сточных вод и отходов фотометрическим методом с хроматропной кислотой.
20. ПНД Ф 16.1:2.3:3.44-05 Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли летучих фенолов в пробах почв, осадках сточных вод и отходов фотометрическим методом после отгонки с водяным паром.
21. СП 2.1.7.1386-03 "Санитарные правила по определению класса опасности токсичных отходов производства и потребления".

Информация об авторах

Аверкова Ольга Александровна, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции.

E-mail: olga_19572004@mail.ru

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

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

Крюков Илья Валерьевич, кандидат технических наук, начальник отдела организации НИР студентов.

E-mail: iliya.krukov@yandex.ru

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

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

Крюкова Ольга Сергеевна, аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции.

E-mail: iliya.krukov@yandex.ru

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

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

Поступила в декабре 2017 г.

© Аверкова О.А., Крюков И.В., Крюкова О.С., 2018

O.A. Averkova, I.V. Kryukov, O.S. Kryukova

TO THE QUESTION OF THE PLACEMENT OF LOCAL EXHAUST VENTILATION SYSTEMS IN ROOMS WITH HIGH DUST CONTENT

Local exhaust ventilation systems are widely used in rooms with a high content of hazards, generated as a result of technological process. These rooms include manicure rooms, in which the air of the working area is characterized with such hazards as dust, which adversely affects the health of a manicurist. Dust aerosols formed at filing the nails surface, at the prolonged exposure of a manicurist's body to it, can lead to the risk of developing occupational diseases. In this paper the working conditions in manicure rooms were researched and the causes of dust aerosols formation were determined. The concentrations of dust aerosols in the manicure room were measured. A chemical analysis of dust aerosols was carried out and the harmful components contained in them were identified. The necessity of using local exhaust ventilation systems in manicure rooms for removing the formed hazards was discussed.

Keywords: local exhaust ventilation, dedusting ventilation, nail dust, ventilation of manicure room.

REFERENCES

1. Shtocman E.A. Air cleaning. Moscow: ASV. 1998, 320 p.
2. Abramson C., Rupp M.J., McCarthy D.J. Inhalation of nail dust: A podiatric hazard. Infectious Diseases of the Lower Extremities. Williams & Wilkins, Baltimore, 1990, pp. 293–298.
3. Pugh J, Skone J.F. The health of the chiropodist in a developing community service // The Chiropodist, 1972, no.27(2), pp. 53–55.
4. Donaldson K., Gilmour P.S., Brown P.S., Carline T., Donaldson CL: Toenail dust particles: a potential inhalation hazard to podiatrists. Ann Occup Hyg, 2003, vol. 46, pp. 365–368.
5. Burrows J.G., McLarnon N.A. World at work: evidence based risk management of nail dust in chiropodists and podiatrists // Occup Environ Med. 2006, vol. 63, pp. 713–716. 10.1136/oem.2006.027565.
6. Dutch Expert Committee on Occupational Safety: Endotoxins: health based recommended exposure limit. A Report to the Health Council of the Netherlands. 2010. The Hague: The Netherlands: Health Council of the Netherlands Publication No 2010/040SH.
7. Millar N.A. The ocular risks of human nail dust in podiatry. PhD Thesis, Glasgow Caledonian University, 2000.
8. McLarnon N.A., Burrow J.G., Price P., Aiddoo K.E., MacLaren W., Harper M., Hepher M., Edwards G. (2005). The controls of airborne hazardous substance in the healthcare environment, IOHA Pilannesberg: paper E1-1, pp. 1–6.
9. Purkiss R: An assessment of the airborne dust in podiatric treatment areas, and its relevance to the use of respiratory protective equipment. // Brit Pod Med, 1997, vol. 52, pp. 129–136.
10. Logachev I.N., Logachev K.I. Aerodynamic basics of aspiration. Sankt-Peterburg: Himizdat. 2005, 659 p.
11. Logachev I.N., Logachev K.I., Averkova O.A. Energy saving in aspiration. Moscow: RHD. 2013, 504 p.
12. Sanitary rules and standards 2.1.2.2631-10 Sanitary and epidemiological requirements for the placement, arrangement, equipment, maintenance and operation of public and domestic organizations providing hairdressing and cosmetic services.
13. Abramson C., Wilton J: Inhalation of nail dust from onychomycotic toenails. Part 1. Characterization of particles. // Am Podiatr Med Assoc, 1992, vol. 75, pp. 563–567.
14. Filing and polishes: manicure files for gel lacquer [Internet source] URL: <http://etogel.ru/>
15. Ivanishenko O.I., Staroverov S.V. Protection of air pool. Belgorod: BGТУ. 2007, 40 p.
16. Hygienic standards 2.2.5.1313-03 Permissible exposure limit (PEL) of harmful substances in the air of the working area.
17. Roelof C., Do T. Exposure Assessment in Nail Salons: An Indoor Air Approach // ISRN Public Health, 2012, vol. 2012, pp. 1–7.
18. Liteplo R.G., Meek M.E. Inhaled formaldehyde: exposure estimation, hazard characterization, and exposure-response analysis // Toxicol. Environ. Health B Crit. Rev, 2003, vol. 6, pp. 85–114.
19. Environmental regulatory documents are federative 16.1:2.3:3.45-05 Quantitative chemical analysis of soils. Method for performing measurements of the mass fraction of formaldehyde in soil samples, sewage sludge and waste by photometric method with chromotropic acid.
20. Environmental regulatory documents are federative 16.1:2.3:3.44-05 Quantitative chemical analysis of soils. Method for performing measurements of the mass fraction of volatile phenols in soil samples, sewage sludge and waste by photometric method after distillation with water vapor.
21. Sanitary rules 2.1.7.1386-03 Sanitary rules for determining the hazard class of toxic production and consumption wastes.

Information about the author

Olga A. Averkova, PhD, Professor.

E-mail: olga_19572004@mail.ru

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

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

Ilia V. Kryukov, PhD.

E-mail: iliya.krukov@yandex.ru

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

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

Olga S. Kryukova, Postgraduate student.

E-mail: iliya.krukov@yandex.ru

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

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

Received in December 2017

СНИЖЕНИЕ ПЫЛЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ПНЕВМОТРАНСПОРТНОЙ ЗАГРУЗКЕ ПОРОШКООБРАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ

seminenko.as@bstu.ru

При загрузке технологических емкостей (бункеров) основным условием пылеобразования является взаимодействие загружаемого потока с преградой (удар падающего материала о дно бункера, о слой ранее складированного (уложенного) материала и т.д.). Основные факторы, влияющие на интенсивность пылеобразования можно разбить на три группы: конструктивные характеристики бункерных хранилищ; технологические параметры перегрузки; физико-механические свойства сыпучего материала. Интенсивность распространения облака взвешенной пыли зависит от состояния воздушной среды вблизи источника пылеобразования, которое в свою очередь зависит от количества энергии, вносимой падающим материалом. Данная работа посвящена снижению пылеобразования при пневмотранспортной загрузке порошкообразных материалов за счет использования разработанного загрузочного устройства. Приведены результаты промышленных испытаний предлагаемого технического решения в условиях загрузки цементного силоса.

Ключевые слова: пылеобразование, эффект Коанда, Coanda effect, загрузка бункеров, аэродинамика.

Введение. При загрузке технологических емкостей (бункеров) основным условием пылеобразования является взаимодействие загружаемого потока с преградой (удар падающего материала о дно бункера, о слой ранее складированного (уложенного) материала и т.д.). Процессам пылеобразования посвящено значительное количество научно-исследовательских трудов, в частности установлению условий и последствий образования пыли при перегрузках посвящены работы Бобровникова Н.А. [1], Ларина Ю.А. [2], Логачева И.Н. [3, 4], Минко В.А. [5], Самсонова В.Т. [6], Сервацка З. [7], в которых выделены следующие особенности процесса: взаимодействие падающего материала с преградой; динамическое взаимодействие потока ускоренно падающего потока сыпучего материала и окружающей среды; эжекционная способность потока падающего материала; аэрирование падающего потока материала; влияние влажности сыпучего материала на его пылеобразующую способность; оседание частиц пыли. Этому явлению посвящено существенное число работ, учитывающих частные условия перегрузок: при работе конвейеров ленточного типа [3–5, 8–9], грейферных кранов [10–11], а также при различных условиях взаимодействия падающего сыпучего материала (из трубопроводов пневмотранспортных установок или лент конвейеров) и преграды (дно технологических емкостей: бункера, вагона, трюма) [1, 6–7, 11–12] и т.д.

Методология. Для повышения эффективности работы системы вентиляции, обеспечивающей снижение пылевых выбросов из бункеров разработано устройство для снижения пылеоб-

разования при загрузке сыпучих материалов. Подтверждение работоспособности, которого необходимо выполнить экспериментально.

Основная часть. В работах [13–14] интенсивность пылеобразования, характеризующаяся концентрацией g (мг/с) пыли при взаимодействии материала с преградой в общем случае выражается:

$$g = f \left(E, \frac{v_k}{v_n}, Q_g, d, W \right), \quad (1)$$

где E – кинетическая энергия взаимодействия материала и преграды; $\frac{v_k}{v_n}$ – отношение конечной и начальной скоростей материала; Q_g – количество эжектируемого воздуха; d , W – характерный размер и влажность материала.

В работе [15] рассмотрено явление вертикального распределения концентрации g_h (мг/м³) пыли по высоте:

$$g_h = g_0 \exp(-n), \quad (2)$$

где g_0 – концентрация пыли в месте удара материала и преграды, приводящего ко взмыванию материала; n – коэффициент распределения концентрации материала.

Эжектируемый расход воздуха Q_z (м³/ч) при падении свободной струи, согласно работе [13], определяется из выражения

$$Q_z = Q_0 + Q_m, \quad (3)$$

где Q_0 – начальный расход воздуха в транспортирующем потоке, м³/ч; Q_m – расход воздуха,

увлекаемого материалом, м³/ч. Величины Q_0 и Q_m определяются из выражений:

$$Q_0 = l \cdot q_g, \quad (4)$$

$$Q_m = v_g \cdot F \cdot 3600, \quad (5)$$

где l – характерная геометрическая характеристика поверхности потока; q_g – удельный расход воздуха, приходящийся на 1 м поверхности потока; v_g – скорость воздуха; F – площадь поперечного сечения потока материала.

Отметим, что величины, входящие в уравнения (4) и (5) определяются по таблицам, данные для которых получены экспериментально, на моделях, как правило, в лабораторных условиях. Подобие (адекватность) моделируемых и натуральных процессов пылеобразования определяется критериями, основанными на теории размерностей и подобия, что характерно для физического моделирования. Они (методы) рассматриваются как приближенные, однако их значимость увеличивается при решении поисковых задач, когда структура и состав уравнений, описывающих процесс, не полны или не надежны. К числу таких задач относится пылеобразование при перегрузках порошкообразных материалов.

При физическом моделировании определяются факторы (физические параметры), позволяющие устанавливать подобие процессов, протекающих в условиях модель – натура при различных пропорциональных характеристиках. Качественные и количественные связи подобных явлений устанавливают в виде критериев подобия (укрупненных множителей основных физических параметров процессов). В соответствии с первой теоремой подобия численное равенство критериев подобия является необходимым условием подобия объектов [16–17].

В работе [2] указывается: «количество пыли, выделяющееся при свободном падении измельченного материала, зависит от расхода этого материала, его дисперсности, высоты падения и скорости организованного потока воздуха». Принятые автором критерии подобия предполагают использование в модельных исследованиях не основной материал, перегружаемый в том или ином производстве, а подобный натурному, т.е. его характеристики также должны соответствовать условию подобия. Такой подбор модельного объекта перегрузки связан с дополнительными исследованиями.

При определении скорости взмывающихся потоков необходимо учитывать результаты исследований [6] в которых принято, что скорость потоков воздуха, образованных при ударе

материала о преграду, будет близка к скорости свободного падения при столкновении с преградой. Самсонов В.Т. указывает: «основной причиной пылеобразования при падении сыпучего материала является резкое уменьшение его пористости при встрече с преградой. Это приводит к образованию потоков воздуха, которыми и взвешиваются пылевидные частицы и распространяются в плоскости удара» [6]. При этом в качестве основных критериальных условий принимается геометрическое подобие модели и натуре, а также критерий Фруда, отражающий соотношение инерции и сил тяжести для пылевоздушных потоков.

Известно исследование [2], посвященное оценке пылеобразования в результате соударения пневмотранспортного потока загружаемого материала и преграды в условиях загрузки судовых трюмов. Автор этой работы выделил три фазы процесса пылеобразования, аналитически определив концентрации пылевых потоков для каждой из них. Работа [2] основана на модельных исследованиях, в качестве условий подобия приняты геометрическое подобие и критерий Фруда. Однако использован натурный сыпучий материал, что является нарушением модельного исследования принципа подобия явлений. Поэтому результаты исследований можно считать поисковыми, и требуют количественной оценки процесса пылеобразования в натуральных условиях.

Таким образом, основные рекомендации проведения модельного физического экспериментального исследования процессов пылеобразования при работе пневмотранспортных систем можно сформулировать так: выполнение модели геометрически подобной натурному объекту; использование натурального материала; соблюдение условий подобия падения и истечения материала в модели и натуре; соблюдение условий подобия взаимодействия пневмотранспортного потока о преграду, взмывания пылевых частиц в натуре и модели [18]; соблюдение численно равных скоростей потоков.

В соответствии с данными исследованиями, основные факторы, влияющие на интенсивность пылеобразования можно разбить на три группы: конструктивные характеристики бункерных хранилищ; технологические параметры перегрузки; физико-механические свойства сыпучего материала.

Интенсивность распространения облака взвешенной пыли зависит от состояния воздушной среды вблизи источника пылеобразования, которое в свою очередь зависит от количества энергии, вносимой падающим материалом.

Значительное влияние на интенсивность пылеобразования оказывают технологические параметры перегрузки: начальная степень истечения, расход материала и транспортирующего воздуха, эжекционное давление, степень запол-

нения бункера. В таблице 1 приведены параметры выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от склада хранения цемента цементного завода ЗАО «Белгородский цемент».

Таблица 1

Параметры выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от склада хранения цемента

№ силоса	кол-во часов работы в год	характеристика источника			характеристика выбросов			характеристика обеспыливающей установки				выбросы				
		источник выброса	высота источника, м	Диаметр, м	Скорость, м/с	Объем, м³/с	Температура, °С	тип газоочист. установок	коэф. обесп. газоочист., %	средняя степень очистки, %	макс. степень очистки, %	загрязняющее в-во	г/с	мг/м³	т/год	валовый выброс по источнику, т/год
1-6	8300	труба	21	0,5	9,48	1,86	30	ФРКИ-180	100	98,8	99,5	пыль неорганическая 70-20 % SiO₂	0,41	220,43	11,414	11,414
7-10	200	труба	21	0,5	14,43	2,831	19	ФРКИ-180	100	95,7	99,5		1,83	646,4	1,3176	
	300												1,021	360,65	1,1026	
													1,83	646,4		2,4202
11-14	6920	труба	21	0,5	13,94	2,736	40	ФРКИ-180	100	98,6	99,5		0,33	120,6	6,265	6,265
16	3460	труба	20	1	2,41	1,88	28	6 ЦН-15 ФРКИ-180	100	99	99,8	0,505	269,6	3,334	3,334	
17	3360	труба	20	1	3,71	2,94	38	6 ЦН-15 ФРКИ-180	100	99	99,8	0,598	203,4	5,737		
	100											0,58	197,3	0,1656		
												0,598	203,4		5.9026	

Конструктивные характеристики бункерных хранилищ (геометрические характеристики бункеров, загрузочных устройств и т.п.) также вносят вклад на условия пылеобразования. Поэтому, с целью снижения количества образующейся пыли целесообразно, снижать не только высоту падения, начальный диаметр струи путем загрузки сыпучего материала несколькими струями меньших диаметров, но и предусматри-

вать возможность организации воздухораспределения в полости бункера [19–20].

Конструкция загрузочного узла модернизирована в соответствии с разработанным и запатентованным устройством для снижения пылеобразования при загрузке сыпучих материалов [21]. Техническое решение для цементного силоса приведено на рисунке 1.

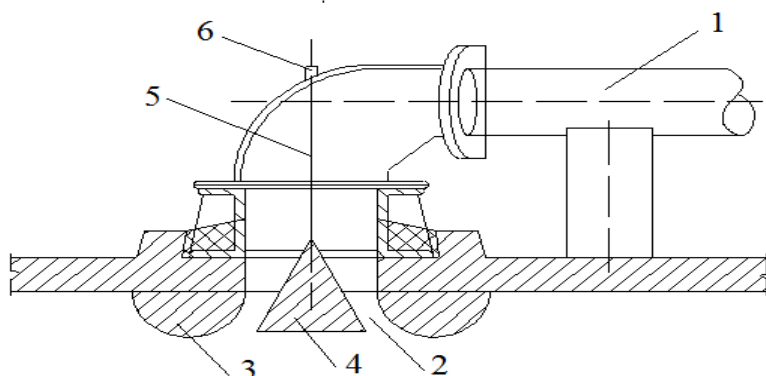


Рис. 1. Конструкция загрузочного узла цементного бункера:
1 – трубопровода системы пневмотранспорта, 2 – сопло, 3 – обтекатель (тор),
4 – разделитель потока (конус), 5 – стрелен, 6 – контргайка

Конструкция предлагаемого устройства обеспечивает разделение пневмотранспортного потока на составляющие: сыпучий материал, направляемый в место складирования, а также воздушный поток, который согласно эффекта Коанда, изменяет свое направление и движется у крышки бункера. Что обеспечивает снижение пылеобразование при контакте с ранее складированным (уложенным) материалом, а соответственно и концентрацию пылевых частиц в аспирационном воздухе.

Устройство для снижения пылеобразования при загрузке сыпучих веществ прошло промышленные испытания в условиях загрузки силоса № 11, входящего в группу их 4-х бункеров цементного завода ЗАО «Белгородский цемент». В таблице 2 приведены результаты замеров запыленности аспирационного воздуха перед и после рукавного фильтра до и после установки предлагаемого устройства.

Таблица 2

Результаты замеров запыленности воздуха промышленного эксперимента

Параметры замера	температура, °С	разрежение, мм. в. ст.	кол-во аспира- ционного воз- духа, м³/ч	подсосы, %	запыленность, мг/Нм³	кол-во пыли в аспирационном воздухе, г/с	степень о чистки, %
перед рукавным фильтром	49	64	10527,322	5,05	8998,016	22,202	98,8
после рукавного фильтра	44	108	10840,952		102,713	0,266	
замеры с предлагаемым устройством:							
перед рукавным фильтром	47	63	10625,548	7,09	5886,50	14,660	98,6
после рукавного фильтра	43	109	11002,224		78,019	0,205	

Представленные результаты промышленных испытаний доказывают работоспособность способа повышения эффективности работы системы обеспыливающей вентиляции при пневмотранспортной загрузке сыпучих материалов в бункер. Предлагаемое устройство [21] обеспечивает снижение концентрации пылевых частиц в аспирационном воздухе до рукавного фильтра. При этом, несмотря на некоторое снижение степени очистки пылеочистного оборудования, концентрация загрязняющих веществ в атмосферу от рассматриваемого источника также снижается, что обеспечивает экологический и экономический эффект для предприятия и общества.

Выводы. В ходе проведения аналитических исследований были выявлены основные факторы, влияющие на пылеобразование при загрузке сыпучих материалов в технологические емкости (бункера). Предложенное устройство для снижения пылеобразования обеспечивает разделение потоков сыпучего материала и транспортирующего воздуха. В результате чего снижается количество вносимой энергии падающим потоком и уменьшается количество взмываемого материала. Проведены промышленные испытания предлагаемого устройства, подтверждающие его работоспособность.

Источник финансирования. РФФИ (код проекта 16-08-00074 а); Программа развития

опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бобровников Н.А. Защита окружающей среды от пыли на транспорте. Москва: Транспорт, 1984.
2. Ларин Ю.А. Исследование методов борьбы с пылеобразованием при погрузке порошкообразных материалов в трюмы судов, Ленинград, дис. канд. техн. наук: 05.22.19 1973.
3. Логачев И.Н., Логачев К.И. Аэродинамические основы аспирации: монография. Санкт-Петербург: Химиздат, 2005. 659 с.
4. Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А. Энергосбережение в аспирации: монография. М.: РХД, 2013. 504 с.
5. Минко В.А., Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А., Шумилов Р.Н., Ильина Т.Н., Староверов С.В., Феоктистов А.Ю., Феоктистов Ю.А., Шаптала В.Г. и др. Обеспыливающая вентиляция. Т. 2. Белгород: БГТУ, 2010. 565 с.
6. Самсонов В.Т. Обеспыливание воздуха в промышленности: методы и средства: монография. Москва: ИНФРА-М, 2016. 234 с.
7. Сервацка З. Отдельные рекомендации по предотвращению пыления массовых сыпучих грузов // Научные труды Морской институт ПНР. 1981. Т. 662. С. 142 - 149.

8. Сухарева А.И. Вентиляция и пневмотранспорт в полиграфии. Москва: Книга, 1971. 30 с.
9. Logachev I.N., Logachev K.I., Averkova O.A., Kryukov I.V. Methods of Reducing the Power Requirements of Ventilation Systems. Part 1. Derivation of Hydrodynamic Equations of Air Ejection by a stream of Free-Flowing Material in a Perforated Trough with Bypass Chamber // *Refractories and Industrial Ceramics*. 2014. №1. Pp 70–75.
10. Отделкин Н.С., Отделкин М.С. Прогнозирование пылеобразования при перегрузке пылящих материалов грейферными кранами на основе подобия и моделирования // *Научные труды Горьковского института инженерного водного транспорта*. 1999. Т. 283. № 4. С. 108–116.
11. Отделкин Н.С. Прогнозирование пылеобразования при различных способах перегрузки пылящих навалочных материалов в морских и речных портах // *Вестник Волжская гос. академия водн. трансп. «Надежность и ресурс в машиностроении»*. 2003. Т. 4. С. 107–120.
12. Степанов А.Л. Портовое перегрузочное оборудование. Москва: Транспорт, 1996. 328 с.
13. Обухов А.М. О распределении энергии в спектре турбулентного потока // *«Изв. АН СССР»*: Серия географическая и геофизическая, 1941. № 4-5.
14. Hinds W.C. Size characteristics of cigarette smoke // *American Industrial Hygiene Association Journal*. 1978. Vol. 38. №. 1. Pp. 48–54.
15. Vu Duc. Measurements of pollutants emitted during manual arc welding with coated electrodes in an experimental chamber // *Staub*. 1983. Vol. 43. №. 2. Pp. 55–57.
16. Кирпичев М.В. Теория подобия. Москва: Академия наук СССР, 1953. 182 с.
17. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. Москва: Гостехиздат, 1981. 375 с.
18. Logachev K.I., Averkova O.A., Kryukov I.V. Simulation of air flows in ventilation shelters with recirculation // *Refractories and Industrial Ceramics*. 2015. №4. Pp. 428–434.
19. Семиненко А.С., Логачев И.Н. Снижение пылеобразования при загрузке бункеров сыпучими материалами // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2006. № 14. С. 251–254.
20. Logachev I.N., Logachev K.I. Industrial air quality and ventilation: controlling dust emissions. BocaRaton: CRC Press, 2014. Pp. 417.
21. Патент РФ 48318 Логачев И.Н., Овсянников Ю.Г., Семиненко А.С., Никитенко Б.Л. Устройство для снижения пылеобразования при загрузке сыпучих материалов. Патент на полезную модель Заявка: №2005117396/22, 06.06.2005; Опубл. 10.10.2005, Бюл. № 28.

Информация об авторах

Семиненко Артем Сергеевич, старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции.

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

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

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

Поступила в февраль 2018 г.

© Семиненко А.С., 2018

A.S. Seminenko

**EXPERIMENTAL INSTALLATIONS FOR DETERMINING CONDITIONS
OF COANDA FLOWS IMPLEMENTATION**

When loading process bunkers, the main condition for dust formation is the interaction of a feed flow with the obstacle (impact of the falling material on the bottom of the hopper, a layer of the previously stored material, etc.). The main factors influencing the intensity of dust formation can be divided into three groups: the structural characteristics of bunker storage facilities; technological parameters of the overload; physical and mechanical properties of bulk material. The intensity of propagation of a suspended dust cloud depends on the state of air environment near the dust source, which in its turn depends on the amount of energy introduced by the falling material. This paper deals with reducing the dust generation during pneumatic transport of powdered materials through the use of a developed loading device. The results of industrial tests of the proposed technical solution in conditions of loading the cement silo are given.

Keywords: dust formation, aerodynamics, bunker loading, Coanda effect, Coanda flow

REFERENCES

1. Bobrovnikov N.A. Zashchita okruzhaiushchei` sredy` ot py`li na transporte. Moskva: Transport, 1984.
2. Larin Iu.A. Issledovanie metodov bor`by` s py`leobrazovaniem pri pogruzke poroshkoobrazny`kh materialov v triumy` sudov, Lenin-grad, dis. kand. tekhn. nauk: 05.22.19 1973.
3. Logachev I.N., Logachev K.I. Ae`rodynamicheckie osnovy` aspiratsii: monografiia. Sankt-Peterburg: Himizdat, 2005, 659 p.
4. Logachev I.N., Logachev K.I., Averkova O.A. E`nergoberezhenie v aspiratsii: monografiia. M.: RKHD, 2013, 504 p.
5. Minko V.A., Logachev I.N., Logachev K.I., Averkova O.A., Shumilov R.N., Il`ina T.N., Staroverov S.V., Feoktistov A.Iu., Feoktistov Iu.A., Shaptala V.G. i dr. Obespy`livaiushchaia ventilatsiia. T. 2. Belgorod: BGTU, 2010, 565 p.
6. Samsonov V.T. Obespy`livanie vozduha v promy`shlennosti: metody` i sredstva: monografiia. Moskva: INFRA-M, 2016. 234 p.
7. Servatcka Z. Otdel`ny`e rekomendatsii po predotvrashcheniiu py`leniia massovy`kh sy`puchikh грузов // Nauchny`e trudy` Morskoj` institut PNR, 1981, vol. 662, pp. 142–149.
8. Suhareva A.I. Ventilatsiia i pnevmotransport v poligrafii. Moskva: Kniga, 1971, 30 p.
9. Logachev I.N., Logachev K.I., Averkova O.A., Kryukov I.V. Methods of Reducing the Power Requirements of Ventilation Systems. Part 1. Derivation of Hydrodynamic Equations of Air Ejection by a stream of Free-Flowing Material in a Perforated Trough with Bypass Chamber // Refractories and Industrial Ceramics, 2014, no. 1, pp. 70–75.
10. Otdelkin N.S., Otdelkin M.S. Prognozirovanie py`leobrazovaniia pri peregruzke py`liashchikh materialov grei`ferry`mi kranami na osnove podobiiia i modelirovaniia // Nauchny`e trudy` Gor`kovskogo instituta inzhenerenogo vodnogo transporta, 1999, vol. 283, no. 4, pp. 108–116.
11. Otdelkin N.S. Prognozirovanie py`leobrazovaniia pri razlichny`kh sposobakh peregruzki py`liashchikh navalochny`kh materialov v morskikh i rechny`kh portakh // Vestnyk Volzhskaiia gos. akademiia vodn. transp. «Nadezhnost` i resurs v mashinostroenii», 2003, vol. 4, pp. 107–120.
12. Stepanov A.L. Portovoe peregruzochnoe oborudovanie. Moskva: Transport, 1996. 328 p.
13. Obuhov A.M. O raspredelenii e`nergii v spektre turbulentnogo potoka // «Izv. AN SSSR»: Seriia geograficheskaiia i geofizicheskaiia, № 4-5, 1941.
14. Hinds W.C. Size characteristics of cigarette smoke // American Industrial Hygiene Association Journal, 1978, vol. 38, no. 1, pp. 48–54.
15. Vu Duc. Measurements of pollutants emitted during manual arc welding with coated electrodes in an experimental chamber // Staub, 1983, vol. 43, no. 2, pp. 55–57.
16. Kirpichev M.V. Teoriia podobiiia. Moskva: Akademiia nauk SSSR, 1953. 182 s.
17. Sedov L.I. Metody` podobiiia i razmernosti v mehanike. Moskva: Gostehizdat, 1981. 375 p.
18. Logachev K.I., Averkova O.A., Kryukov I.V. Simulation of air flows in ventilation shelters with recirculation // Refractories and Industrial Ceramics, 2015, no. 4, pp. 428–434.
19. Seminenko A.S., Logachev I.N. Snizhenie py`leobrazovaniia pri zagruzke bunkerov sy`puchimi materialami // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2006, no. 14, pp. 251–254.
20. Logachev I.N., Logachev K.I., Industrial air quality and ventilation: controlling dust emissions. BocaRaton: CRC Press, 2014, pp. 417.
21. Patent RF 48318 Logachev I.N., Ovsiannikov Iu.G., Seminenko A.S., Nikitenko B.L. Ustroistvo dlia snizheniia py`leobrazovaniia pri zagruzke sy`puchikh materialov. Patent na poleznuiu model` Zaiavka: №2005117396/22, 06.06.2005; Opubl. 10.10.2005, Biul. no. 28.

Information about the author

Semenenko Artem Sergeevich, Senior lecturer.

E-mail: semenenko.as@bstu.ru.

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

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

Received in February 2018

МЕТОДИКА ВЫЯВЛЕНИЯ И РАЗРЕШЕНИЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОТИВОРЕЧИЙ РАЗВИТИЯ НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ

perkova.margo@mail.ru

Разработана комплексная методика выявления и разрешения градостроительных противоречий на региональном уровне и апробирована на примере Белгородской области. Рассмотрено архитектурно-градостроительное развитие Белгородской области в исторической ретроспективе как результат возникающих и эволюционирующих конфликтов, повлекших градостроительные противоречия развития на территории. Осуществлена периодизация пространственного развития территории исследуемого региона в XVI – начале XXI веков. Предложены общие рекомендации по разрешению градостроительных противоречий, включающие блок сохранения неизменных свойств территории (природное и историко-культурное своеобразие территории) и блок развития изменяемых свойств территории (транспортный и социально-экономический каркас).

Ключевые слова: региональная система расселения, методика, характеристика территории, Белгородская область, градостроительные конфликты, рекомендации.

Введение. Результатом активной индустриализации и бурным ростом городов, начиная с середины XIX века, стало резкое сокращение роли природного каркаса и, как следствие, утрата экологической устойчивости на планете. Глобальным внешним фактором, определяющим развитие современных городов в планетарном масштабе, является переход к постиндустриальному обществу. Противоречивости городского развития в градостроительстве уделялось немного внимания в связи с преобладанием функциональной парадигмы. Исследования, затрагивающие в той или иной степени городские конфликты, можно найти в работах В. Глазычева, Л. Когана, А. Крашенинникова, Е. Ещиной, Е.О. Фрейдина, А. В. Нефедова, Т. Дридзе, Л. Цой, А.Г. Большакова, К. Линча, Д. Форрестера, С. Бозри, Г. Эдельмана, Б. Де Мелдера, Л. Вирта, Э. Берджесса, М. Кастельса, Г. Эдельмана и др. Ю.М. Моисеев рассматривал конфликты в контексте градостроительного развития [1]. Однако до сегодняшнего дня исследования в области градостроительной конфликтологии не были обобщены и представлены как конфликтологический подход в градостроительстве.

Наибольшую глубину изучения градостроительных конфликтов мы видим в исследовании А.Г. Большакова [2]. Он рассматривает планировочное разрешение конфликтов, классифицирует мотивации использования ландшафтов, предлагает схему разрешения планировочных конфликтов социального воспроизводства как условия устойчивого развития территории. Однако, по мнению автора, цели экономического и социального развития города должны учитывать все многообразие государственных, общественных и частных интересов согласно требованиям без-

опасности, рационального природопользования и сохранения объектов культурного наследия. В больших и малых городах как РФ, так и зарубежных стран неизбежны противоречия при решении задач нового строительства, реконструкции территории, развития транспортной, инженерной и социальной инфраструктур и задач оздоровления окружающей среды, защиты природных и озелененных территорий, охраны памятников истории и культуры, сохранения стабильных и комфортных условий для жителей населенных пунктов.

Методология. В связи с вышесказанным, автором предлагается новый подход в теории, методологии и практике градостроительной деятельности, который предполагает механизм разрешения градостроительных противоречий путем выявления, классификации и разрешения градостроительных конфликтов для достижения целей устойчивого развития, повышения эффективности территориального планирования и управления территорией региональной системы расселения в условиях рыночных отношений. Сформулированы основные факторы и причины конфликта, социальные ценности и градостроительные мотивации. Определены понятие и типология градостроительных конфликтов, разработана классификация градостроительных конфликтов.

Основная часть. В рамках разрабатываемого конфликтологического подхода сформулированы основные принципы градостроительного развития региональной системы расселения:

1. *Принцип территориальной обусловленности* раскрывает зависимость состава и качественного выражения региональных особенностей.

2. *Принцип градостроительной интеграции и ландшафтообразности* раскрывает зависимость развития территории от природных и историко-культурных факторов.

3. *Принцип преемственности* раскрывает функционально-структурное соответствие и архитектурно-планировочное обеспечение выполнения актуальных задач проектирования в региональном контексте. Предполагает использование традиционных для региона схем функциональной и планировочной организации, присущих региональным историческим, национальным типам зданий и сооружений, а также пространственной организацией территории

4. *Принцип сохранения идентичности* направлен на выявление локальной идентичности населенных мест, в том числе переориентация мышления жителей на организацию малой родины.

5. *Принцип разрешения градостроительных противоречий* реализуется путем гармонизации частных, общественных интересов и интересов природного каркаса решается с помощью разрешения конфликтов интересов, ценностей и пространственных структур.

В исследовании предлагается комплексная многоуровневая методика выявления, разрешения и прогнозирования градостроительных конфликтов на региональном, муниципальном и местном уровнях.

Все три части многоуровневой методики (региональный, муниципальный и местный) состоят из четырех вертикальных блоков:

1) выявление уровня устойчивого развития территории в исторической динамике; 2) качественный и количественный анализ ресурсного потенциала территории;

3) картографическое моделирование и выявление градостроительных конфликтов; 4) разработка рекомендации по развитию территории путем разрешения градостроительных противоречий с помощью методов и приемов решения конфликтов интересов и ценностей.

Рассмотрим методическую последовательность выявления и разрешения градостроительных противоречий на региональном уровне. Она включает пять этапов.

1 этап. Изучение особенностей и периодизация пространственного развития в исторической динамике как результат:

1) конструктивных конфликтов, способствующих устойчивому развитию территории и обеспечению качества искусственно-естественной среды региона;

2) деструктивных конфликтов, повлекших градостроительные противоречия развития на территории.

2 этап. Количественная оценка уровня устойчивости территории в исторической динамике. Рассматриваются неизменные (природные) и изменяемые (антропогенные) характеристики территории. Природный каркас должен обладать признаками устойчивости в процессе эволюционного развития территории (количество водных ресурсов, лесных массивов, плодородных земель и т.д.). *Устойчивое развитие территории региональной системы расселения*, по мнению автора - это отношение совокупности частных характеристик территории, отражающих ее пространственное развитие в конкретный период времени («код» идентичности) к адаптивному развитию территории за конкретный промежуток времени. Выражается в виде относительной величины структурных изменений территории [3].

3 этап. Анализ и оценка пространственных, социальных и экономических характеристик на современном этапе развития. Количественный анализ эволюционного развития пространственных, социальных и экономических характеристик территории предлагается проводить на основе адаптированного метода Э.К. Трутнева посредством сопоставления темпов изменения показателей количества и показателей разнообразия. Для субъекта РФ автором исследования разработаны следующие группы характеристик:

1) пространственные характеристики: протяженность дорог; площадь жилых помещений на 1 чел, кв. м; ввод в действие общей площади жилых домов, тыс. кв. м;

2) социальные характеристики: количество дошкольных учреждений; количество общеобразовательных учреждений; количество культурно-досуговых учреждений;

3) экономические характеристики: занятые в промышленности, занятые в сельском хозяйстве, занятые в сфере услуг.

Сопоставляются два показателя (путем деления первого на второй):

1) скорость изменения средних значений соответствующего параметра за определенные периоды времени;

2) скорость изменения показателей распределения (показателей разнообразия) значений того же параметра за те же периоды времени;

3) абсолютное значение соотношения скоростей изменения средних значений и показателей распределения (разнообразия) соответствующего параметра за соответствующий период времени.

В результате составляется график эволюционных траекторий для различных характеристик [4].

4 этап. Построение пространственных моделей с целью выявления и классификации градостроительных конфликтов федерального и регионального уровня: природный потенциал; историко-культурный потенциал; туристско-рекреационный потенциал; транспортная сеть; потенциал территории по категории использования земель; характеристика территории по степени нарушенности ландшафтов. На территориях с пересечением интересов и ценностей участников градостроительной деятельности выявляются и классифицируются градостроительные конфликты.

5 этап. Разработка рекомендаций по разрешению градостроительных противоречий развития территории включает разработку стратегии развития региональной системы расселения и разработку рекомендаций в отношении неизменных и изменяемых свойств территории с целью гармонизации интересов и ценностей (рис. 1).

Разработанная методика апробирована на примере Белгородской области.

Рассмотрено архитектурно-градостроительное развитие Белгородской области в исторической ретроспективе как результат возникающих и эволюционирующих конфликтов, повлекших градостроительные противоречия развития на территории. Осуществлена периодизация пространственного развития исследуемого региона в XVI – начале XXI веков:

Первый период – (XVI – XVII вв.) – интенсивного заселения территории, создание военно-хозяйственной системы расселения «южного порубежья» России. Военный конфликт конструктивно повлиял на освоение Южного порубежья России. Белгородская черта явилась прямой пространственно-исторической предшественницей Белгородской региональной системы расселения, большинство городов-крепостей получили свое развитие как центральные места локальных систем расселения. Белгородская региональная система расселения получила свое начало от Белгородской черты (1636–1658 гг.), которая представляла собой систему специально построенных оборонительных сооружений различного вида: городов-крепостей, валов, рвов, острогов, надолбов, засек, а также естественных препятствий: рек, оврагов и лесов. Начиналась от города Ахтырки, шла в северо-восточном направлении по территории современных Белгородской, Воронежской, Липецкой и Тамбовской областей, имела общую протяженность почти 800 км. Элементы широтной системы расселения на территории современной Белгородской области формировались с целью преградить путь от набегов крымских и ногайских татар на

Русь Первой татарской дорогой был Муравский шлях или сакма (дорога) (Жигалов В.М.) [5, 6].

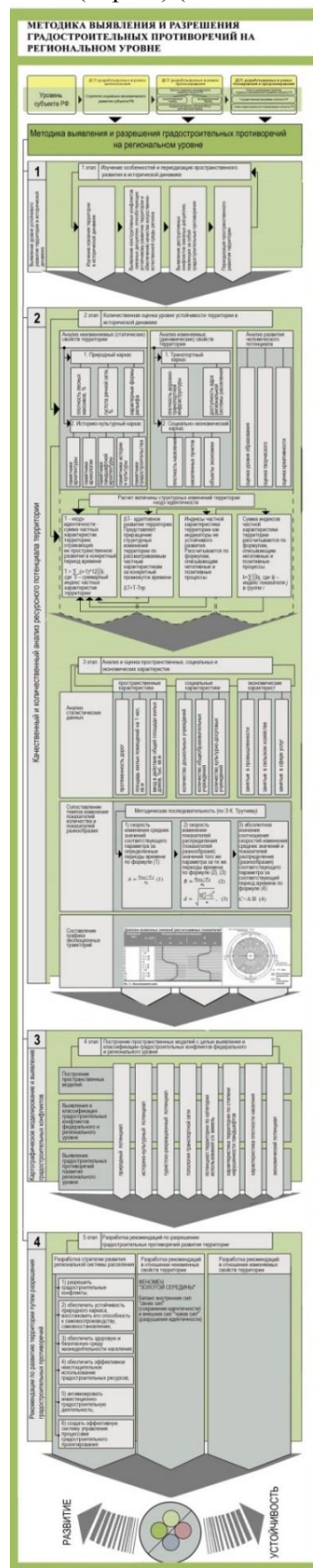


Рис. 1. Методика выявления и разрешения градостроительных противоречий на региональном уровне

Несколько позднее возникли два новых Изюмский и Кальмиусский. По ним татары совершали регулярные нападения на южную часть Московского государства вплоть до начала 18 века (на протяжении более 200 лет). С оборонительной целью на южных рубежах целенаправленно формировалась система фортификационных сооружений, которая позволила защитить южные рубежи и колонизировать значительные по площади территории. Города Белгородской черты, согласно принятой в историографии XVII века классификации, делились на

1. Города в черте (Старый Оскол).

2. Города по черте (1 этап: Белгород, Козлов, Яблонов, Усерд, Короча, Хотмыжск, Вольный, Костёнок, Ольшанск, Усмань; 2 этап: Карпов, Болховец, Орлов, Новый Оскол, Коротояк, Верхососенск, Добрый, Сокольск, Урыв, Острогжск, 3 этап: Нежегольск).

3. Города за чертой (Валуйки) (Е.В. Кривцова, Н.Ф. Тюремских, Т.И. Утенина) [7].

В 1658 г. сформировали Белгородский полк, город Белгород определён главным городом на черте, утверждён Белгородский разряд как новая военно-административная единица. Каждый город-крепость на Белгородской черте имел свой военный гарнизон и свой участок, своеобразную военную зону, обслуживаемую служилыми людьми каждого конкретного города Белгородской черты. Во всех «украинных» городах планировочным и композиционным центром города была крепость как ядро города. Помимо основной функции – оборонительной, население занималось земледелием и ремесленным производством. Постепенно утрачивая оборонительные функции, пять городов-крепостей приходит в упадок, превращается в селения или исчезает вовсе (Нежегольск, Карпов, Яблонов, Усерд, Верхососенск), остальные стали развиваться как центральные населенные пункты.

Второй период – XVIII в. – начало XIX в. – период расселения населения по всей территории края и формирование административно-торговых систем городских поселений. Освоение территории под сельскохозяйственное использование послужило возникновению конфликта экономики и экологии, способствовало резкому снижению обесценности и обводненности территории.

На становления среды, развитие архитектуры и территориального устройства юга России, согласно исследованиям Г.В. Есаулова, оказывают влияние главные природные пространственные свойства региона: «пограничность», «периферийность» и «проницаемость», которые определили своеобразие исторического пути формирования

архитектурных культур [8]. Второй период характеризуется формированием главных узловых элементов Белгородской региональной системы расселения. В конце XVII века крепости и слободы, в которых жители занимались торговлей и промыслами, стали узловыми элементами региональной системы расселения (Белгород, Старый Оскол, Алексеевка, Бирюч, Грайворон, Валуйки, Новый Оскол, Короча). Закономерности освоения территории заключаются в последовательной смене способов освоения среды: от локальных форм приспособления местности (рельефа, водоемов, рек) к преобразованию природной среды и созданию исторического культурного ландшафта. Государственные тракты и региональные дороги преимущественно меридионального направления вели к государственной границе между Россией и Украиной. Вторая половина XIX – начало XX вв. – время капитализации экономики, развития промышленных центров и транспортной инфраструктуры. Особенностью экономической деятельности на территории региона является создание полных технологических циклов сельскохозяйственной деятельности. Например, все владение Ребендеров представляло собой 12 экономий, каждая из которых являлась специализированным хозяйством и объединялась с другими в единый хозяйственный комплекс. Территория региона получает урбанистическую форму, формируются локальные системы расселения, уплотняется сеть населенных пунктов [9].

Рассматриваемый период развития характеризуется зарождением значимого эколого-экономического конфликта. Массовая вырубка лесов и распашка земель под пашни послужила фактором развития экономики, однако достаточно сильно претерпел изменения природный каркас (в 4 раза уменьшилось количество лесов, на 40 % уменьшились поверхностные водные ресурсы). С точки зрения пространства – площадный.

Третий период пространственного развития (1917 г.–1954 г) характеризуется сменой политического строя и военными событиями, которые привели к стагнации городов. Второй значимый военный конфликт в истории приостановил развитие территории региона. Во время Великой Отечественной войны (1941–1945 гг.) на территории Белгородской области проходили ожесточенные бои, изменившие ход войны. В истории страны Прохоровское поле называют Третьим ратным полем России, наряду с Куликовым и Бородинским. Второй значимый военный конфликт приостановил развитие

территории. Восстановление народнохозяйственной деятельности в городах и селах Белгородской области потребовало больших усилий и времени.

Четвертый период (1954–1991 гг.). В 1954 г. была образована Белгородская область, в состав которой вошли 23 района Курской области, 9 районов Воронежской области, 7 городов (Белгород, Старый Оскол, Новый Оскол, Валуйки, Шебекино, Грайворон, Короча), пять рабочих поселков и 602 сельских Совета. Территория области составила 27,1 тыс. кв. км с населением 1 млн. 255 тыс. человек, из которых 956 тыс. человек – сельские жители и 299 тыс. человек – жители городов. Территории характеризуются большим количеством пахотных земель (до 70 % в отдельных районах) и ярко выраженным овражно-балочным ландшафтом. Развитие сельскохозяйственной отрасли происходит путем формирования колхозов и совхозов на базе сельских населенных пунктов. Развитие промышленного сектора в 70–80-е годы прошлого века привело к изменению соотношения с/х, промышленного производства и горнодобывающей отрасли в области и способствовало образованию городов: Губкин, Строитель и укрупнению районов.

Четвертый период характеризуется эволюционированием эколого-экономического конфликта. Освоение минерально-сырьевой базы региона, в частности открытая добыча железной руды, привело к формированию техногенных ландшафтов и геотектонических проблем территории. С точки зрения освоения пространства – точечный, позднее перешедший в площадный.

Пятый период (с 1992 по 1999 гг., переходный) характеризуется структурными изменениями в управлении развитием территории области. На переходном этапе разработан индивидуальный подход к социально-экономическому реформированию регионального агропромышленного комплекса (Савченко Е.С.), который способствовал инновационному развитию экономики. Колхозы и совхозы советского периода сменили вертикально-интегрированные структуры агрохолдингов и фермерские хозяйства («Семейные фермы Белогорья») [10]. Период характеризуется продолжающимся эволюционированием эколого-экономического конфликта в отношении сельскохозяйственных земель и техногенных ландшафтов. Происходит перераспределение людей в более крупные сельские населенные пункты из хуторов и деревень. При этом компактная сеть населенных пунктов в условиях средне и высокоурбанизированной среды рассматриваемого региона является фактором, способствующим

фрагментарному формированию поляризованного ландшафта в будущем с целью сохранения природного каркаса.

Шестой период (с 2000 г. – по наст. время) характеризуется активным формированием субурбии в пригородах путем строительства микрорайонов с индивидуальной жилой застройкой. На границе крупных городов и их пригородов строятся промышленные парки. Основные градостроительные конфликты данного периода развития заключаются в эволюционировании конфликта экономики и экологии: 1) формировании новых биоценозов на отвалах горных пород вследствие добычи полезных ископаемых открытым и закрытым способом; 2) обеднением черноземных почв в результате с/х деятельности; 3) оврагообразованием; 4) деградации приречных территорий малых рек.

Основные градостроительные противоречия староосвоенного региона заключаются в достаточно динамичном градостроительном развитии территории (формировании плотной сети населенных пунктов и транспортной инфраструктуры, освоении черноземных земель и минерально-сырьевой базы, инновационной экономики) и неустойчивостью природного каркаса, отсутствием у него возможности к самовоспроизводству, саморегуляции и самовосстановлению. В результате антропогенной деятельности человека исходный природный каркас на протяжении 300 лет претерпел значительные структурные изменения: количество лесов уменьшилось в 4 раза, протяженность речной сети сократилась на 40 %, 70 % территории относится к сельскохозяйственным ландшафтам (А.Н. Петин, Белеванцев В.Г., Чендев Ю.Г., Ф.Н. Лисецкий, А.В. Дегтярь и др.) (рис. 2, 3) [11, 12, 13, 14, 15].

Следовательно, при определении перспектив развития территории важно изучать причины возникновения градостроительных противоречий, выявлять конфликты и разрешать их в современном использовании территории. При этом первостепенное значение имеют интересы природного каркаса, сохранение экологического баланса.

В результате качественного и количественного анализа пространственных, социальных и экономических характеристик за 60 лет развития территории Белгородской области выявлено:

1. Изменилась структура занятости населения: резко возросла численность работающих в сфере услуг (с 19,2 % до 62,7 %); сократилось количество трудящихся в сельском хозяйстве (с 72 % до 14,3 %); динамика количества занятых на производстве составила 8,75% в 1954 г. и 22,8 % в 2014 г.

2. Изменилась соотношение сельского и городского населения (от 87 % сельского и 13 % городского в 1954 г. до 34 % сельского и 66 % городского в 2014 г.).

3. Произошло укрупнение городских и сельских населенных пунктов за счет переселения жителей из хуторов и деревень.

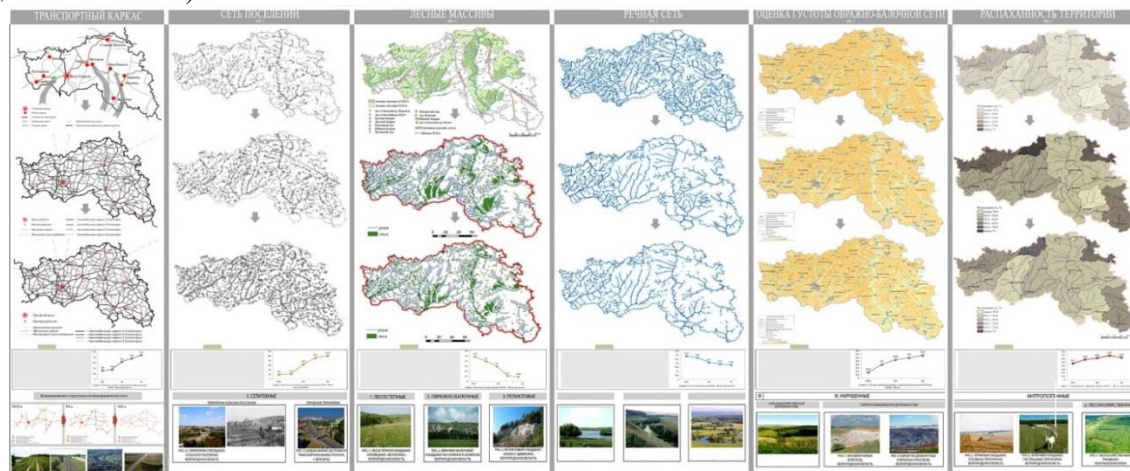


Рис. 2. Характеристика исторической динамики неизменных свойств территории Белгородской области (облесенность, обводненность территории, овражно-балочная сеть) и изменяемых свойств территории (транспортный каркас, сеть поселений, распаханность территории под с/х использование).

Сост. Перькова М.В., Трибунцева К.М., Букин А. [14, 16]

Протяженность транспортной сети увеличилась в 60 раз.

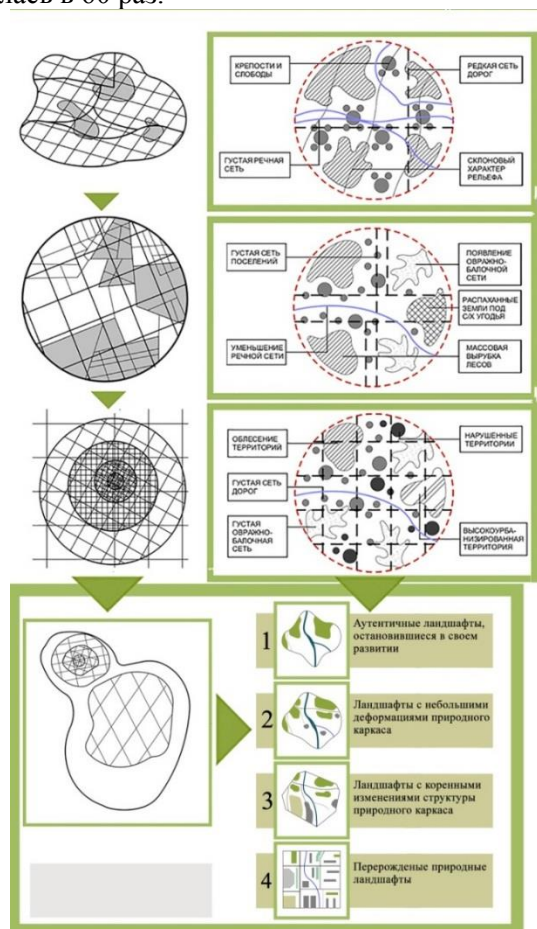


Рис. 3. Характеристика освоенности ландшафтов Белгородской области в исторической динамике

Построен график развития пространственных, социальных и экономических характери-

стик, который позволил проследить эволюционные траектории количественных и структурных изменений с 1954 по 2014 г. Выявлено, что 40 лет социалистического периода (1954–1980 гг.) характеризуется наращиванием количественных изменений, а переходный период к рыночной экономике (1980–2000 гг.) – структурными изменениями пространственных характеристик в 2000–2014 гг., частности, в сельском хозяйстве. Наибольшие проблемы развития показали группы социальных и экономических характеристик. Промышленное производство не прошло фазу структурных преобразований на переходном этапе развития. Это прогнозирует возможные кризисные явления (при входе трех графиков экономических характеристик в отрицательную зону произойдет рост безработицы и/или перераспределение самодельной группы населения в соседние регионы). Социальные характеристики находятся в минусовой зоне количественных изменений, что свидетельствует о необходимости разработки целевых социальных программ [4].

Разработаны картографические модели и выявлены градостроительные конфликты федерального и регионального уровня. Выделены существующие и перспективные зоны функциональных, экологических, природоохранных, историко-культурных, экономических, транспортных и инженерных совместных интересов и основные зоны конфликтов интересов и противоречия градостроительного развития. К конфликтам федерального значения можно отнести экономический рост и сырьевую специализацию,

постоянный площадный конфликт экономической и природной подсистем – Ямская степь государственного биосферного заповедника «Белогорье» граничит с техногенными ландшафтами, интенсивно развивающимися в результате добычи железной руды открытым способом в г. Губкин. Конфликтом экологии и экономики регионального значения является истощительная деятельность агропромышленного комплекса: эродированные земли; загрязненные почвы и подземные воды; сброс неочищенных

сточных вод в реки. Структура центрального ядра региона – г. Белгорода обладает агломерационными признаками, характеризуется «сливанием» субурбии с городом и требует разрешения противоречий в части снижения маятниковых трудовых и социально-бытовых миграций населения, проживающего в пригородных поселках с формирующимися микрорайонами ИЖС – социально-пространственный конфликт регионального значения (рис. 4).

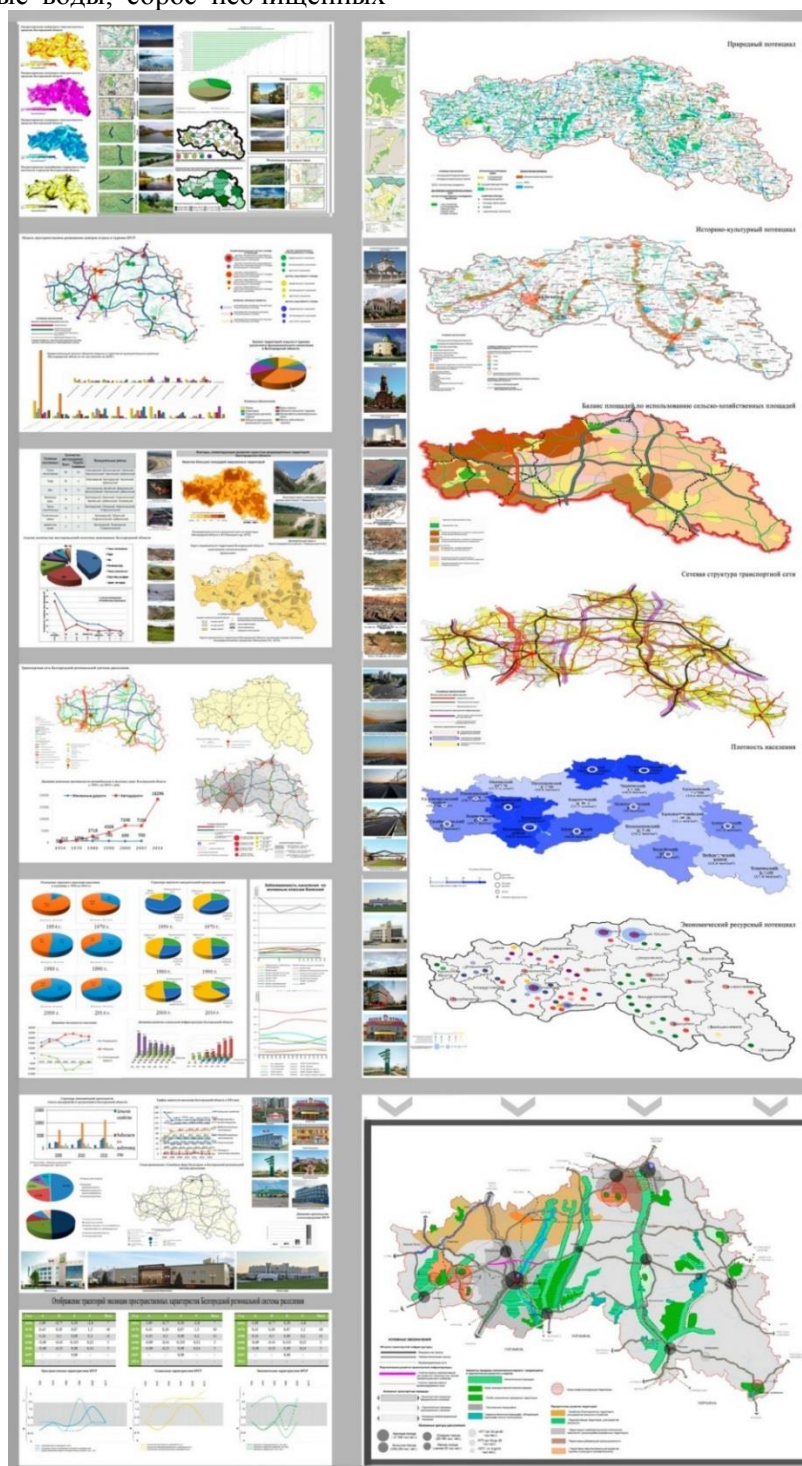


Рис.4. Количественная оценка элементов Белгородской региональной системы расселения (слева) и ее картографическое моделирование с целью выявления градостроительных конфликтов (справа) [по 3, 4, 6, 9, 17].

Выводы. Выявлены градостроительные противоречия регионального уровня: динамично развивающийся АПК и неустойчивость природного каркаса, улучшение качества жизни и потеря идентичности среды, активная жилищная политика в области индивидуального строительства и недостаточное развитие социальной инфраструктуры формирующихся субурбий.

Предложенная методика позволит разработать стратегию развития Белгородской региональной системы расселения, целью которой является создание материально – пространственных условий для устойчивого развития региональной системы расселения путем разрешения градостроительных противоречий развития. Основные цели стратегии: 1) разрешить градостроительные конфликты; 2) обеспечить устойчивость природного каркаса, восстановить его способность к самовоспроизводству, самовосстановлению; 3) обеспечить здоровую и безопасную среду жизнедеятельности населения; 4) обеспечить эффективное неистощительное использование градостроительных ресурсов; 5) активизировать инвестиционно-градостроительную деятельность; 6) создать эффективную систему управления процессами градостроительного проектирования.

Определены зоны опережающего развития и полюса роста с целью инновационного социально-экономического развития области, привлечения и эффективного использования инвестиций и улучшения экологической ситуации: 1) Белгородская промышленно-производственная и технико-внедренческая; 2) Грайворонская, Новооскольская и Красногвардейская туристско-рекреационная, 3) агропромышленная Алексеевская, Красногвардейская, Корочанская, 4) горнодобывающая Губкинская и Яковлевская. Территориальные аспекты развития социальной инфраструктуры определяют три фактора: формирование локальных систем расселения, масштабы нового жилищного строительства и сфера обслуживания.

При этом геополитическая ситуация является мощным внешним фактором развития либо стагнации пограничной территории Белгородской региональной системы расселения. В связи с этим предлагается разработка двух сценариев развития территории: *интеграции и замкнутости*. Необходима также разработка и принятие специальных законодательных актов, регулирующих трансграничное развитие территорий.

Разработаны рекомендации по разрешению градостроительных противоречий, включающие два блока.

1. Блок сохранения неизменных свойств территории (природное и историко-культурное

своеобразие территории) включает регенерацию и воссоздание природного каркаса, рекультивацию нарушенных территорий в результате горнодобывающей и сельскохозяйственной деятельности: 1) определение «нейтральной полосы», которая является своего рода буферной зоной, позволяющей предотвратить разрастание зоны добычи железной руды и сохранить аутентичные ландшафты государственного биосферного заповедника «Белогорье»; 2) разработать программу воссоздания исторических ландшафтов деградированных лугово-пойменных территорий; 3) разработать программу развития исторических малых городов;

2. Блок развитие изменяемых свойств территории, обеспечивающих комфортность и качество среды жизнедеятельности, развитие социально-экономической структуры и нормативной базы.

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Моисеев Ю.М. Пороги неопределенности в системе градостроительного планирования // дисс. на соис. уч.ст. док. арх., Москва, 2017. С. 33–36.
2. Большаков А.Г. Градостроительная организация ландшафта как фактор устойчивого развития территорий: дис. ... д.-ра арх.: 18.00.01 / Большаков Андрей Геннадьевич. Иркутск, 2003. 489 с.
3. Перькова М.В., Большаков А.Г. Теоретическая модель развития региональной системы расселения // Вестник БГТУ им. Шухова. №1. 2017. С. 105–112.
4. Перькова М.В. Закономерности эволюционного развития Белгородской региональной системы расселения // Архитектура и строительство России. 2015. Вып. 11-12. С. 11–15.
5. Жигалов В.М., Бобов А.Г. О земляном вале Белгородской черты, построенном в 1646 г, от Северного Донца до Ворсклы // от Донца до Ворсклы: сб. статей и материалов по истории Белгородской оборонительной черты. Белгород: Константа, 2016, 128, С. 3–17.
6. Чендев Ю.Г. Геннадиев А.Н., Белеванцев В.Г., Жидкин А.П. Татарские шляхи в географическом ландшафте Белгородской области // Научные ведомости Белгородского государственного университета: естественные науки. 2015. №. 3(200). С. 141–149.
7. Административно-территориальное деление Белгородского края. Конец XVI – начало XXI вв. Справочник. Сост. Л.В. Горбачева, Е.В.

Кривцова, А.А. Кривчиков и др. // Белгород, 2011 г. 536 с.

8. Есаулов Г.В. Архитектурно-градостроительное наследие юга России: автореф. дис. ... д-ра арх.: 18.00.01 / Есаулов Георгий Васильевич. М., 2004. 57с.

9. Перькова М.В. Градостроительное развитие Белгородской региональной системы расселения и ее элементов // Архитектура и строительство России. 2016. Вып.4. С. 12–17.

10. Савченко Е.С. Экономическое регулирование агропромышленного производства: вопросы теории и практики: автореф. дис. ... д-ра арх.: 08.00.05 / Савченко Евгений Степанович. М., 2001.

11. Дегтярь А.В., Григорьева О.И., Татаринцев Р. Ю. Экология Белогорья в цифрах. Белгород: КОНСТАНТА, 2016. 122с.

12. Петин А.Н., Сердюкова Н.С., Шевченко В.Н. Малые водные объекты и их экологическое состояние. Уч. методическое пособие. Белгород: Изд-во БелГУ, 2005. 240 с.

13. Лисецкий Ф.Н., Дегтярь А.В., Бурак Ж.А. [и др.]; Реки и водные объекты Белогорья.

по дред. Ф.Н. Лисецкого ; ВОО «Рус. геогр. о-во, НИУ «БелГУ». Белгород: КОНСТАНТА, 2015. 362 с.

14. Белеванцев В.Г., Чендев Ю.Г. Картографический анализ социальных и природных явлений на территории Белгородской области в XVIII, XIX и XX вв. // Отчет по проекту РФФИ № 13-05-41158 РГО_a.

15. Чендев Ю.Г. Природные комплексы докультурного периода (XVI век) // Атлас «Природные ресурсы и экологическое состояние Белгородской области». Белгород, 2005. С. 18-19.

16. Перькова М.В. Исторический процесс формирования региональной системы расселения на территории Белгородской области // Вестник БГТУ им. Шухова. № 12. 2017. С. 103–109.

17. Отчет о научно-исследовательской работе на разработку «Схемы территориального планирования Белгородской области» (выполненной по Государственному контракту № 1-ГК/06 от 25 мая 2006 г. с Управлением архитектуры и градостроительства администрации Белгородской области).

Информация об авторах

Перькова Маргарита Викторовна, кандидат архитектуры, доцент, заведующий кафедрой архитектуры и градостроительства.

E-mail: perkova.margo@mail.ru

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

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

Поступила в январе 2018 г.

© Перькова М.В., 2018

M.V. Perkova

METHODOLOGY OF IDENTIFYING AND RESOLVING THE URBAN DEVELOPMENT CONTRADICTIONS AT THE REGIONAL LEVEL

The complex technique of identification and resolution of town-planning contradictions at the regional level is developed and tested on the example of the Belgorod region. The article considers the architectural and urban development of the Belgorod region in historical retrospect as a result of emerging and evolving conflicts that led to urban development contradictions in the territory. Periodization of spatial development of the researched region territory in the XVI – early XXI centuries is carried out. General recommendations on the resolution of town-planning contradictions, including a block of preserving the invariable properties of the territory (natural, historical and cultural originality of the territory) and a block of developing the changeable properties of the territory (transport and social and economic framework) are offered.

Keywords: regional settlement system, methodology, territory characteristics, Belgorod region, urban conflicts, recommendations.

REFERENCES

1. Moiseyev Yu.M. Uncertainty thresholds in the system of town-planning planning//yew. to Sais. уч. Art. dock. arkh., Moscow, 2017, pp. 33–36.

2. Bolshakov, A.G. Town-planning organization of a landscape as factor of sustainable development of territories: yew.... па the arkh.: 18.00.01

/ Bolshakov Andrey Gennadyevich. Irkutsk, 2003. 489 p.

3. Perkova M.V., Bolshakov A.G. Theoretical model of development of regional system of resettlement // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2017, no. 1, pp. 105–112.

4. Perkova M.V. Regularities of evolutionary development of the Belgorod regional system of

resettlement//Architecture and construction of Russia, 2015, issue 11-12, pp. 11–15.

5. Zhigalov V.M., Bobov A.G. On the earthen rampart of the Belgorod line, built in 1646, from the Northern Donets to Vorskla // from the Donets to Vorskla: Sat. articles and materials on the history of the Belgorod defensive line. Belgorod: Constant, 2016, 128, pp. 3–17.

6. Chendev Yu.G. Gennadiyev A.N., Belevantsev V.G., Zhidkin A.P. The Tatar ways in a geographical landscape of the Belgorod region // Scientific sheets of the Belgorod state university: natural sciences, 2015, no. 3(200), pp. 141–149.

7. Administrative-territorial division of the Belgorod region. The end of XVI – the beginning of the 21st centuries. Reference book. Сост. L.V. Gorbachev, E.V. Krivtsov, A.A. Krivchikov, etc. Belgorod, 2011, 536 p.

8. Esaulov G. V. Architectural and town-planning heritage of the South of Russia: av-toref. yew. ... Dr.s arkh.: 18.00.01 / Esaulov Georgy Vasilyevich. M, 2004, 57 p.

9. Perkova M.V. Town-planning development of the Belgorod regional system of resettlement and her elements//Architecture and construction of Russia. 2016, issue 4, pp. 12–17.

10. Savchenko E.S. Economic regulation of agro-industrial production: questions of the theory and practice: avropeф. yew. ... Dr.s Arkh.: 08.00.05/Savchenko Evgeny Stepanovich. M, 2001.

11. Degtyar A.V., Grigoriev O.I., Tatarintsev of R.Yu. Ekologiya of Belogorie in figures. Belgorod: CONSTANT, 2016, 122 p.

12. Petin A.N., Serdyukov N.S., Shevchenko V.N. Small water objects and their ecological state. Belgorod: Publishing house of BELGU, 2005, 240 p.

13. Lisetsky F.N., Degtyar A.V., Buryak Zh.A. [etc.]; Rivers and water objects of Belogorie. on dreadlocks. F.N. Lisetsky; SBI "Russian reorp. about-in, NIU "BELGU". Belgorod: CONSTANT, 2015, 362 p.

14. Belevantsev V.G., Chendev Yu.G. The cartographical analysis of the social and natural phenomena in the territory of the Belgorod region in XVIII, 19th and 20th centuries // Report on the project of the Russian Federal Property Fund no. 13-05-41158 PFO_a.

15. Chendev Yu.G. Natural complexes of the dokulturny period (16th century)//Atlas "Natural resources and ecological condition of the Belgorod region". Belgorod, 2005, pp. 18-19.

16. Perkova M.V. Historical process of formation of regional system of resettlement in the territory of the Belgorod region // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2017, no. 12, pp. 103–109.

17. The report on research work on development of "The scheme of territorial planning of the Belgorod region" (executed under the Government contract No. 1-GK/06 of May 25, 2006 with Management of architecture and town planning of administration of the Belgorod region).

Information about the authors

Margarita V. Perkova, Ph.D., Assistant professor.

E-mail: perkova.margo@mail.ru

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

Received in in January 2018

© Perkova M.V., 2018

¹Силин Р.В., магистр,²Касьянов В.Ф., д-р техн. наук, проф.¹Белорусско-Российский университет, г. Могилёв²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОБЪЕКТОВ ОЗЕЛЕНЕНИЯ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ В КОНТЕКСТЕ ЗАДАЧИ РАЗВИТИЯ ОЗЕЛЕНЁННЫХ ТЕРРИТОРИЙ г. МОГИЛЕВА

silinruslan@gmail.com

Рассмотрено современное состояние, проблемы и перспективы озеленённых территорий общего пользования города Могилёва. Сделан вывод, что одним из путей совершенствования городской системы озеленения является повышение качества рекреационных объектов города, создаваемых на озеленённых территориях общего пользования. Авторами предложена структурно-логическая модель, учитывающая известные и новые факторы качества озеленённых объектов рекреации, а также система критериев оценки функций озеленённых территорий общего пользования и устойчивости их положения в городской среде. Представлены, разработанные авторами на базе методов количественной оценки, начальные ярусы дерева показателей качества озеленённых территорий общего пользования, что послужит основой создания методики оценки городских озеленённых объектов рекреации для получения инструмента предпроектных изысканий и административных решений в градостроительной деятельности.

Ключевые слова: город, озеленённые территории общего пользования, уровень озеленённости, качество озеленённых территорий, квалиметрия.

Введение. Экологические проблемы современных крупных городов Беларуси вынуждают их жителей уделять всё большее внимание озеленённым территориям как фактору оздоровления собственной среды обитания. Одновременно с этим растёт потребность в рекреации, обусловленная ростом интенсивности психологической нагрузки в условиях городской жизни. Озеленённые территории эффективно выполняют эстетические, психофизиологические и санитарно-гигиенические функции. Особое положение в этой системе занимают озеленённые территории общего пользования, выполняющие роль мест рекреации населения. В связи с необходимостью комфортного пребывания на этих территориях человека, приобретает актуальность вопрос качества этих объектов (парков, садов, скверов, бульваров). Что требует прояснения самого понятия качества в приложении к озеленённым территориям, а также поиска показателей, характеризующих качество озеленённых объектов, построение иерархической системы показателей, дающей возможность применить к этим территориям хорошо известные методы получения интегральной количественной оценки качественных свойств объекта. Разработка системы критериев оценки функций и построение на её основе иерархии показателей для оценки качества объекта озеленения общего пользования выполнены на результатах анализа состояния и перспектив развития существующей системы озеленённых территорий г. Могилёва.

Основная часть. В настоящее время вопрос построения качественной системы озеленённых территорий актуален для всех крупных городов Беларуси. Быстрый рост областных центров республики в период в советский период, а также их преимущественно микрорайонная планировка, где на смену межквартальным паркам и садам пришли озеленённые участки в жилой застройке, привёл к дефициту озеленённых территорий общего пользования [1]. В этом ряду, город Могилёв, оказался, пожалуй, в наиболее неблагоприятной ситуации по обеспечению объектами озеленения общего пользования.

Так согласно [2] в Могилёве насчитывается 2 парка, 2 лесопарка, 8 бульваров, 31 сквер. Но, обращает на себя внимание отсутствие в инвентарной описи к [2] сведений о состоянии насаждений на территории парка им. «60 лет Октября». И хотя его площадь составляет внушительные 82,74 Га, но установленная в результате натурных обследований крайняя недостаточность облеснения территории парка и отсутствие инфраструктуры делают его неудобным и нефункциональным. Парк им. Горького, в настоящее время роль общегородского парка утратил в силу малой площади, составляющей 1,18 Га, и удалённости от современного центра города и основных пешеходных потоков.

Суммарная площадь имеющихся в городе скверов и бульваров для областного центра с численностью населения 368 тыс. чел. [3, 4] весьма невелика.

Общая картина озеленённости города в целом приведена в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1

Структура системы озеленённых территорий г. Могилёва по данным за 2014 год [5]

Элементы озеленения	Структура озеленения, Га	Уд. Вес, %
Общая площадь объектов озеленения, в том числе:	1 798,3	15,65
- объекты озеленения общего пользования	533,6	4,64
- ограниченного пользования	441,3	3,84
- специального назначения	104,4	0,91
- на улицах	59,6	0,52
- прочие объекты озеленения	659,4	5,74
Неозеленённые территории	9 690,7	84,35
Общая площадь города	11 489,0	100%

Обеспеченность жителей объектами озеленения составляет 48,9 м²/чел., что соответствует нормативу 25-30 м²/чел. [6]. Уровень озеленённости города составил 15,65 %, что меньше нормативного требования 40 % озеленённости внутри городской черты [6].

Как видим, особенностью структуры озеленения г. Могилёва является значительный удельный вес площадей объектов озеленения ограниченного пользования 24,54 % и прочих объектов озеленения 36,67 % [2] в общем объёме озеленённых территорий. Это объясняется значительными площадями, занятыми усадебной застройкой. В настоящее время именно декоративные и плодовые деревья и кустарники усадебных хозяйств, в том числе и оставшиеся после сноса строений, обеспечивают равномер-

ность распределения озеленения по территории города, включая и районы близкие к центру. Эти растения смягчают микроклимат, а также в значительной степени нивелируют влияние на жителей химического и шумового загрязнения от резко возросших в последнее десятилетие транспортных потоков. Однако согласно генеральному плану развития [7] часть этих территорий в ближайшем будущем подлежит освоению. И хотя в долине реки Днепр часть индивидуальной жилой застройки планируется заместить парковыми и спортивными объектами, но тенденция по замещению усадебной застройки многоэтажной является очевидной, а в условиях необходимости обеспечения экономической эффективности хозяйственных решений, - неизбежной.

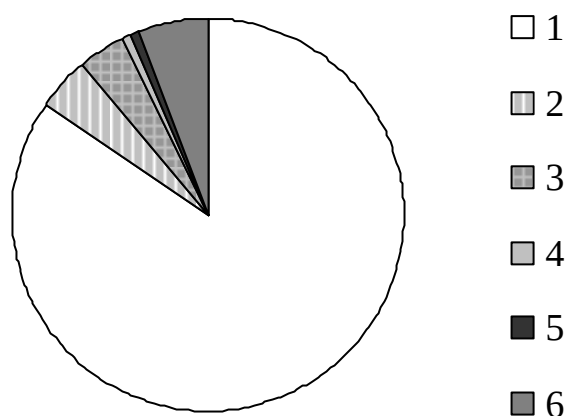


Рис. 1. Структура озеленения г. Могилёва

1 – неозеленённые территории; 2 – озеленённые территории общего пользования; 3 – озеленённые территории ограниченного пользования; 4 – озеленённые территории специального назначения; 5 – озеленение на улицах; 6 – прочие озеленённые территории

Как следствие, озеленённые городские территории если не сократятся в процентном отношении, (на смену усадебному придёт озеленение в жилой застройке), то могут быть заменены на не равноценные по своим санитарно-

гигиеническим и рекреационным характеристикам. Что может снизить их оздоравливающее воздействие на физическую и социальную среду города. Поэтому актуализируется задача построения системы городских озеленённых террито-

рий, способной стать равноценной заменой усадебному озеленению. Под равноценностью понимается достаточность площади озеленения города и его структура, прежде всего равномерность распределения по территории. Из вышеприведенных расчётов очевидно, что современная обеспеченность города озеленёнными территориями (озеленённость) не является достаточной, этот же вывод следует и из приведенной на рисунке 2, составленной нами, карты озеленённых территорий общего пользования г. Могилёва.

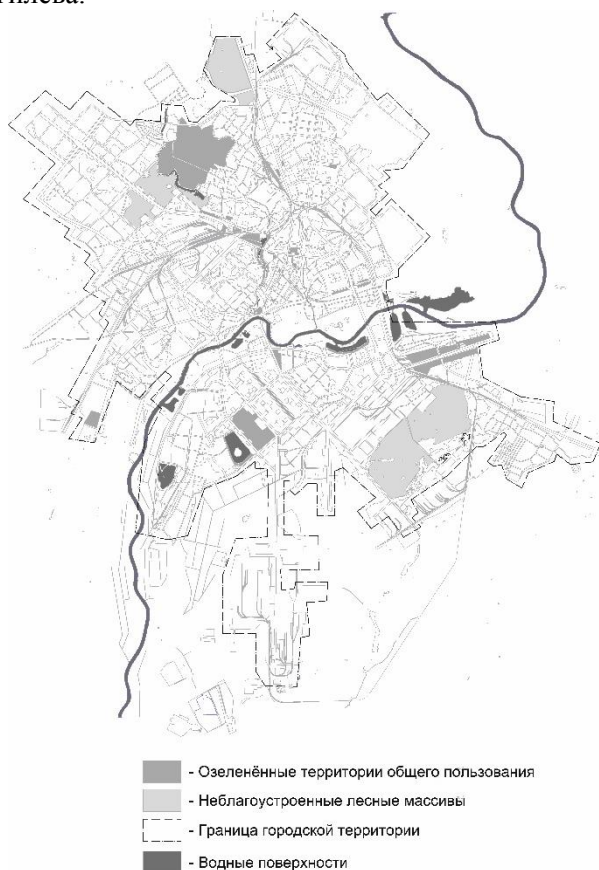


Рис. 2. Озеленённые территории общего пользования и неблагоустроенные лесные массивы на плане г. Могилёва

Обращает на себя внимание неравномерность их распределения по городской территории. Крупные объекты, Любужский и Печерский лесопарки, лесной массив по Шкловскому шоссе, неблагоустроенный лесной массив между Чауским и Славгородским шоссе, располагаются у границ городской черты, а большая часть города имеет очень низкую обеспеченность озеленёнными территориями общего пользования. В перспективе такая неравномерность распределения зелёных территорий может привести к существенному ухудшению городского микроклимата и снижению качества городской среды после ликвидации ветхой усадебной застройки в

районах близких к центру города, особенно вдоль городских магистралей с интенсивным транспортным потоком – пр-та Мира, улицы Первомайская, Крупской, Космонавтов, Пушкинской, Гришина.

Будущая система озеленённых территорий должна объединить объекты общего и ограниченного пользования, и специального назначения и включить их в природный каркас города [8].

О необходимости проведении этих работ говорится в Указе Президента Республики Беларусь №128 от 20.04.2017 [9], где перечислены меры по благоустройству городской территории, в том числе поставлена цель разработать до 2020 года (включительно) схему объектов озеленения общего пользования, а также утверждена корректировка к генеральному плану развития Могилёва. Согласно генплану ядром будущей системы озеленения должны стать территории охраняемого и регулируемого ландшафта, расположенные вдоль берегов Днепра, а также овражно-балочной сети, образуемой его притоками – Дубровенкой и Дебрей, что позволит создать развитый и благоустроенный водно-зелёный диаметр города.

Для решения поставленной задачи необходимо спроектировать эффективную городскую систему озеленённых территорий, важным элементом которой должны стать качественные озеленённые территории общего пользования.

Согласно действующим в Республике Беларусь с мая 2016 года методическим рекомендациям [10] к озеленённым территориям общего пользования отнесены территории, «предназначенные для различных видов отдыха населения. К ним относятся: парки, скверы, сады, бульвары, лесопарки, гидропарки, лугопарки, ландшафтные парки, зоны кратковременной рекреации у воды, городские леса, озеленённые участки общественных центров общегородского и районного значения». Таким образом решение поставленной государственной задачи в значительной степени зависит от качества проектируемых на озеленённых территориях объектов рекреации.

Озеленённые территории, предназначенные для отдыха населения, представляют собой объекты, функционирующие одновременно в разных пространствах, образующих городскую среду – физическом, социальном, эстетическом, что требует всесторонних предпроектных изысканий в области соответствующих групп факторов, способных повлиять на качественные характеристики будущего места отдыха.

Проведенный анализ научных публикаций, по вопросу развития крупных городов Беларуси,

в т.ч. города Могилёва [11, 12, 13], подводит к выводу о произошедших существенных изменениях перечня факторов, определяющих качество ландшафтно-рекреационных территорий современного белорусского города. Последние исследования в данном направлении проводились ещё в советский период и тогда основными факторами оказывающими влияние на качественное состояние парков и др. озеленённых территорий общего пользования советских городов были определены: функциональное зонирование объекта (для парков культуры и отдыха) [14] и ландшафтно-эстетическая организация парковой среды [15]. Но перемены в обществе оказали существенное влияние на экологию городов, правовые и экономические условия функционирования всех структурно-планировочных элементов застройки. В настоящий момент в крупных городах стихийно сложился целый комплекс градостроительных проблем:

- концентрация населения страны в крупных городах [11];
- рост интенсивности транспортных потоков, как за счёт личных транспортных средств граждан, так и грузового объёма автоперевозок [12];
- возникновение новых центров городской жизни;
- появление незапроектированных центров притяжения транспортных потоков;
- рост числа и уровня воздействия вредных и опасных факторов, влияющих на население (шум, загазованность, вибрация) [13];
- правовая незащищённость озеленённых территорий;
- освоение озеленённых территорий коммерческим строительством;
- уплотнение застройки за счёт озеленённых городских пространств [1];
- застройка городов без учёта их озеленения, наносящая ущерб качеству городской среды, повышающая заболеваемость горожан и ухудшающая экологию поселения [16].

Анализ урбанизированного поселения с позиций системного подхода показал, что вопрос о качестве любого элемента системы это, во-первых, вопрос о его способности выполнять свои функции в этой системе, и, во-вторых, его надёжности для этой системы [17]. Другими словами, качество объекта городской среды описывается факторами, характеризующими его функциональность и надёжность. В результате исследования нами были сформулированы следующие актуальные группы факторов, характеризующих функциональность и надёжность (устойчивость) озеленённых территорий в городской среде:

Санитарно-гигиенические факторы

Транспортные магистрали в настоящее время стали основным источником загрязнения атмосферы города, что требует учёта при проектировании объектов озеленения мероприятий планировочного характера по защите их территории от газообразного, пылевого и шумового загрязнения [18, 19, 20].

Социальные факторы

Изменившаяся структура досуга населения, дифференциация его по уровню доходов и определяемым этими доходами формам времяпрепровождения требует переосмысления роли парков, садов, скверов и бульваров наших городов их смыслового и функционального наполнения. Удовлетворение новых социальных потребностей – важное условие востребованности объекта рекреации.

Эстетические факторы

Появились новые концепции в организации парковых пространств городов – эстетизированные техноландшафты, трансформируемая парковая среда, «креативные» парки и др. Появление новых явлений указывает на необходимость переосмысления парка, как рекреационного пространства с учётом актуальных смысловых подходов, что наверняка потребует и корректирования ландшафтной организации озеленённых территорий.

Правовые факторы

Нормативно-правовая регламентация режимов функционирования и пользования озеленёнными территориями в современном обществе стала важным условием её защиты от посягательств девелоперов и просто существования этих объектов.

Экономические факторы

Экономическая обеспеченность существования озеленённой территории, бюджетное финансирование её создания и содержания или коммерциализация деятельности объектов на её территории – важное условие устойчивого положения ландшафтно-рекреационных территорий.

Приведенные выше факторы, для изучения вопросов качества городских озеленённых территорий общего пользования, можно объединить в рабочую структурно-логическую модель, приведенную на рисунке 3, отражающую функциональность и надёжность (устойчивость) рассматриваемого объекта.

Очевидно, что каждый включённый в модель фактор, в свою очередь может быть охарактеризован набором критериев, определяющих качество соответствующей функции или условия существования озеленённой территории. Тогда ранее предложенные факторы на более

высоком уровне, можно описать системой критериев, приведенной в табл. 2.

Из полученной системы критериев, очевидно, что оценка качества озеленённой территории представляет собой многокритериальную (комплексную) задачу.



Рис. 3. Структурно-логическая модель качества городских озеленённых территорий общего пользования

Таблица 2

Система критериев оценки функций и устойчивости озеленённых территорий общего пользования

Функция озеленённой территории	Критерий оценки функции
Санитарно-гигиеническая функция	Средозащитные показатели
	Средообразующие показатели
Социальная функция	Организация досуга
	Возможности духовного развития
	Уровень комфорта
Эстетическая функция	Историко-культурные ландшафты
	Природные ландшафты
Устойчивость озеленённой территории	Критерий оценки устойчивости
Правовая обеспеченность объекта	Защита местными нормативными актами
	Защита республиканскими правовыми актами
Экономическая Обеспеченность объекта	Источники бюджетного финансирования парка
	Варианты коммерциализации деятельности парка

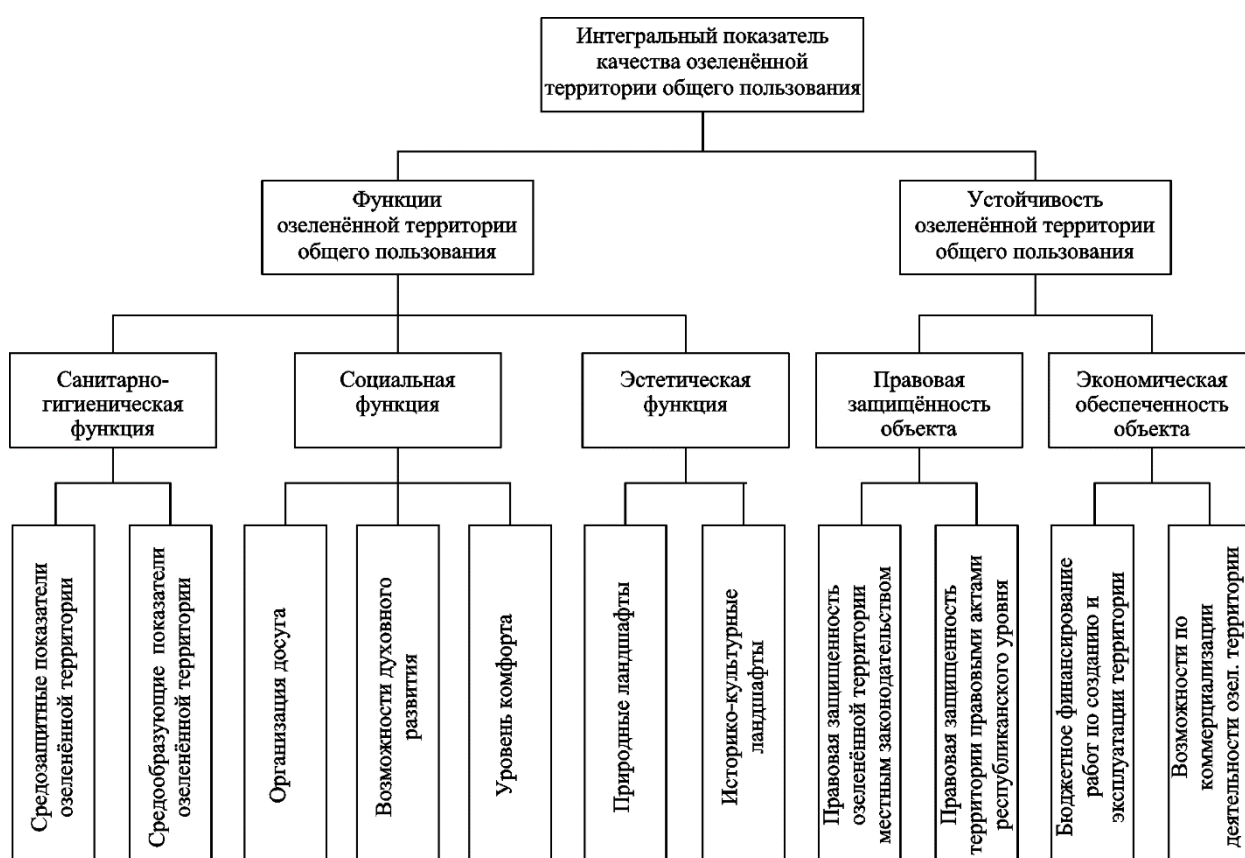


Рис. 4. Начальные ярусы дерева показателей качества озеленённой территории общего пользования

Для решения подобных задач в настоящее время разработаны и применяются в научной и

практической деятельности целый ряд методов. Наиболее используемыми можно назвать при-

шедший из теории принятия решений метод анализа иерархий (МАИ) и известный, и детально разработанный ещё в советский период, квалиметрический метод оценки качества продукции. Для сравнения и применимости данных методов к проектам в области строительства, нами изучены работы [21], [22], [23], [24]. Общим выводом анализа достоинств и недостатков обоих методов является относительно большая сложность процедур метода МАИ. Достоинство квалиметрического метода оценивания в его большей обоснованности применения к строительным проектам [22] и большей простоте базового метода.

Основываясь на квалиметрическом методе, система критериев оценки озеленённых территорий общего пользования представленная выше может быть изображена в виде дерева показателей качества объекта приведенного на рисунке 4.

Приведенное дерево показателей качества озеленённых территорий общего пользования может быть развито путём декомпозиции до неделимых свойств объекта и позволяет создать гибкую методику, отражающую сколь угодно сложную градостроительную ситуацию, и соответствующие ей градостроительные факторы, что существенно повысит качество проектирования озеленённых рекреационных объектов, как города Могилёва, так и других крупных городов Беларуси и России.

Выводы. Наличие хорошо разработанной методики для проведения предпроектного анализа и принятия административных решений в архитектурно-градостроительной деятельности существенно упрощает процесс проведения работ по развитию, реконструкции или проектированию садов, парков, скверов и бульваров наших городов, и снижает влияние субъективного фактора на результаты проектирования. Разрабатываемая методика количественной оценки качественных показателей озеленённых территорий общего пользования формализует логику анализа градостроительной ситуации и может выступать эффективным инструментом по принятию проектных решений в сфере градостроительства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Таберко К. Озеленение территорий массовой жилой застройки на примере города Минска. // Архитектура и строительство. 2010. №1. С. 32–34.
2. Отчёт о зеленых насаждениях за 2014 г. МГКУП «Управление коммунальных предприятий г. Могилёв». – Приказ №129 Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь. Минск 28.11.15.
3. Администрация Октябрьского района г. Могилёва [Электронный ресурс] URL: <http://www.octmogilev.gov.by> (дата обращения: 30.10.2017).
4. Администрация Ленинского района г. Могилёва [Электронный ресурс] URL: <http://lenadm-mogilev.gov.by> (дата обращения: 30.10.2017).
5. К вопросу о состоянии озеленённых территорий общего пользования и их влиянии на качество городской среды г. Могилёва // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 6. С. 81–85. DOI:10.12737/article_5926a059a61911.52601696
6. Градостроительство. Населенные пункты. Нормы планировки и застройки: ТКП 45-3.01-116-2008. Введ. 28.11.08. Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, БЕЛНИИПГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА, 2009. 64 с.
7. Генеральный план г. Могилёва (корректировка). Основные положения. Том1 // Научно-проектное республиканское унитарное предприятие «БЕЛНИИПГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА», Минск, сент. 2016. 75с.
8. Краснощёкова Н.С. Формирование природного каркаса в генеральных планах городов: учебное пособие для студ. Обучающихся по направлению «Архитектура». М.: «Архитектура С», 2010. 183 с.
9. Об изменении Указа Президента Республики Беларусь: Указ Президента Республики Беларусь, 20 апр.2017г., №128 [Электронный ресурс] // Национальный правовой интернет портал Республики Беларусь. Режим доступа: <http://www.pravo.by/document/?guid=12551&p0=P31700128&p1=1>. - Дата доступа: 21.01.2018.
10. Методические рекомендации по проектированию «Правила проведения озеленения населенных пунктов». Введ. 01.05.16 Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2016. 87с.
11. Игнатовская Ю.А. Динамика развития городов Беларуси // Географические науки в обеспечении стратегии устойчивого развития в условиях глобализации: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. 25-28 окт. 2012г., Минск, Беларусь, Белорусский государственный университет. Минск: Изд. центр БГУ, 2012. – 362с.
12. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс] URL: <http://www.belstat.gov.by>(дата обращения: 17.04.2017).
13. Здоровье населения и окружающая среда г. Могилёва в 2015 году [Электронный ре-

сурс] URL: <https://uzmzcg.by> (дата обращения: 17.04.2017).

14. Градостроительство. Под общ.ред. В.Н.Белоусова. Изд.2-е, перераб. и доп. М.: Стройиздат 1978. 367с.

15. Косаревский И.А. Композиция городского парка. Киев: 2-е изд. перераб. и доп. Будівельник, 1977. 168 с.

16. Тетиор А.Н. Городская экология: учебное пособие для студ. высш. учеб. Заведений. – 2-е изд., стер. М.: Издательский центр «Академия», 2007. 336 с.

17. Чернышов В.Н., Чернышов А.В. Теория систем и системный анализ: учебное пособие для студ. высш. учеб. Заведений. Тамбов : Изд-во Тамб. гос.тех. ун-та, 2008. 96 с.

18. Городков А.В. Ландшафтно-средозащитное озеленение и его влияние на экологическое состояние крупных городов центральной России: дис. ...докт.сельскохозяйств. наук: 03.00.16 : защищена : утверждена / А.В. Городков. Брянск, 2000. 404 с.

19. Касьянов В.Ф., Винников Ю.А. Влияние звукоизолирующей способности зелёных посадок с внутренней реверберацией на акустиче-

скую обстановку селитебной территории городской застройки // Вестник МГСУ. 2010. №1. С. 77–80.

20. Винников Ю.А., Разработка шумозащитных методов с применением зеленых насаждений при развитии селитебных территорий городской застройки : дис. ...канд.техн. наук: 05.23.22 : защищена : утверждена / Винников Юрий Анатольевич. М., 2010. 169 с.

21. Азгальдов Г.Г., Костин А.В., Садовов В.В. Квалиметрия для всех. М.: ИД ИнформЗнание, 2012. 165 с.

22. Квалиметрия в архитектурно-строительном проектировании. М.: Стройиздат, 1989. 264 с.

23. Прокопенко В.В. Совершенствование методов оценки показателя комфортности объектов общего пользования системы озеленения крупнейших городов (на примере Волгограда): дис. ...канд.техн. наук: 05.23.22 : защищена : утверждена / Прокопенко Вячеслав Валентинович. М., 2015. 274 с.

24. Саати Т. Принятие решений: Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь 1993. 278 с.

Информация об авторах

Силин Руслан Владимирович, магистр.

E-mail: silinruslan@gmail.com

Белорусско-Российский университет.

Беларусь, 212000, Могилёв, пр-т Мира, 43.

Касьянов Виталий Фёдорович, доктор технических наук, профессор.

E-mail: KafedraGKK@mgsu.ru

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.

Российская Федерация, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26.

Поступила в январе 2018 г.

© Силин Р.В., Касьянов В.Ф., 2018

R.V. Silin, V.F. Kas'janov

CRITERIA FOR ASSESSING QUALITY OF PUBLIC GREEN SPACES IN THE CONTEXT OF ENHANCING GREEN AREAS OF THE CITY OF MOGILEV

The current state, problems and prospects of public green spaces of the city of Mogilev have been considered. It has been found out that one of the ways to improve the urban green spaces is to enhance the quality of the city's leisure facilities created in public green areas. A structural logical model comprising both known and new quality factors of recreational green areas and a system of assessment criteria for functions of public green spaces and their sustainability in the urban environment have been proposed. The first layers of the tree of quality indicators of public green spaces, which have been developed by the authors on the basis of quantitative assessment methods, are presented, which will serve as a basis for creation of a methodology for assessing urban recreational green areas to obtain a tool for pre-project investigations and administrative decisions in urban planning.

Keywords: city, public green spaces, percentage of green spaces, quality of green spaces, qualimetry.

REFERENCES

1. Taberko K. Landscaping of territories of mass residential development on the example of the

city of Minsk // Architecture and Construction, 2010, no.1, pp. 32–34.

2. 2014 Mogilev Communal Services Administration Report on Green Spaces . Order no.129 of

the Ministry of Housing and Utilities Services of the Republic of Belarus. Minsk 28.11.15.

3. The Administration of Oktyabrski District of Mogilev [Electronic resource] (In Russian) Available at: <http://www.octmogilev.gov.by> (accessed: 30.10.2017).

4. The Administration of Leninski District of Mogilev [Electronic resource] Available at: <http://lenadm-mogilev.gov.by> (accessed: 30.10.2017).

5. Silin R.V. To the question about the state of green areas of common use and their impact on the quality of the urban environment of the city of Mogilev // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2017, no. 6, pp. 81–85.

6. TKP 45-3.01-116-2008 Urban planning. Urban Settlements. Planning and Construction Regulations. Vved. 28.11.08. Minsk: Ministerstvo arkhitektury i stroitel'stva Respubliki Belarus', BELNIIPGRADOSTROITEL'STVA, 2009. 64 p. (In Russian)

7. General plan of the city of Mogilev (corrected) Basic Provisions. Volume 1 // Scientific and Project Republican Unitary Enterprise BELNIIPGRADOSTROITEL'STVA, Minsk, sept. 2016. 75 p.

8. Krasnoshchekova N.S. Formation of the natural frame in general plans of cities. Moscow: "Arkhitektura S", 2010, 183 p.

9. Ob izmenenii Ukaza Prezidenta Respubliki Belarus' : Ukaz Prezidenta Respubliki Belarus', 20 apr.2017., №128. The National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus. Available at: <http://www.pravo.by/document/?guid=12551&p0=P31700128&p1=1> (accessed:21.01.2018).

10. A Guide for Planning: "The Rules for the Green Spaces Layout of Settlements". Vved. 01.05.16. Minsk: Ministerstvo arkhitektury i stroitel'stva Respubliki Belarus', 2016. 87p.

11. Ignatovskaya Yu.A. Dynamics of development of Belarusian cities. Proceedings of the BSU International Scientific and Practical Conference "Geographical sciences in providing a strategy for sustainable development in the context of globalization". 2012, 362 p.

12. National Statistical Committee of the Republic of Belarus [Electronic resource] Available at: <http://www.belstat.gov.by> (accessed: 17.04.2017).

13. Health of the population and the environment of the city of Mogilev in 2015 [Electronic resource] Available at: <https://uzmzcge.by> (accessed: 17.04.2017).

14. Belousov V.N. Urban Development .Moscow: Stroyizdat 1978, 367 p.

15. Kosarevsky I.A Composition of the city park. Kiev: Budivel'nik. 1977, 168 p.

16. Tetior A.N. Urban Ecology. Moscow: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya». 2007, 336 p.

17. Chernishov, V.N. Theory of systems and systems analysis. Tambov: Tambov State Technical University Publ. 2008, 96 p.

18. Gorodkov A.V. Landscape and environmental protection of green spaces and its impact on the ecological condition of the major cities of central Russia. Doctor of agricultural sciences dissertation. Briansk, 2000. 404 p.

19. Kas'janov V.F, Vinnikov Ju.A. The impact of the sound-insulating ability of green landings with internal reverberation on the acoustic situation in the residential territory of urban development // Proceedings of Moscow State of Civil Engineer, 2010, no.1, pp.77–80.

20. Vinnikov Ju.A., Development of noise protection methods with the use of green plantations in the development of residential areas of urban development. PhD in Engineering dissertation.dis. kand.tehn. nauk: Moscow, 2010. 169 p.

21. Azgal'dov G.G., Kostin A.V., Sadovov V.V. Qualimetry for all. Moscow: InformZnanie Publ., 2012, 165 p.

22. Azgal'dov G.G. Qualimetry in architectural and construction design. Moscow: Stroyizdat, 1989, 264 p.

23. Prokopenko V.V. Enhancement of methods for assessing the comfort factor of public use objects of the system of landscaping of the largest cities (on the example of Volgograd). PhD in Engineering dissertation. Moscow, 2015. 274 p.

24. Saati T. Decision-making. Method of the analysis of hierarchies. M.: Radio and communication, 1993. 278 p.

Information about the author

Ruslan V. Silin, Master student

E-mail: silinuslan@gmail.com

State Institution of Higher Professional Education "Belarusian-Russian University".
Mira Prospect, 43 Mogilev, 212000, Republic of Belarus.

Vitalij F. Kas'janov, PhD, Professor

E-mail: KafedraGKK@mgsu.ru

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

**Пиров М.С., магистрант,
Банцеровва О.Л., канд. арх. наук, акад. проф.**
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.

ПРОБЛЕМЫ РЕНОВАЦИИ И РЕКОНСТРУКЦИИ ПРОСПЕКТА А. РУДАКИ В г. ДУШАНБЕ

mustakim_pirov@mail.ru

В статье рассматриваются проблемы реконструкции центральной части г. Душанбе - проспекта А. Рудаки. В процессе исследования установлено, что застройка исторического ядра города происходит без учета сложившейся архитектурно-градостроительной композиции и сохранения памятников архитектуры. Осуществляется вырубка зеленых массивов, снос ряда объектов, имеющих архитектурную и историческую ценность. До недавнего времени Душанбе считался одним из самых зеленых городов в Центральной Азии с богатой и очень хорошей планировкой и архитектурой. Установлено, что сегодня бессистемно ведется вырубка деревьев в центре города, которые адаптированы к жаркому, сухому климату Центральной Азии. За счет увеличения количества населения и повышения плотности застройки создаются большие проблемы экологизации городской среды: не отвечает нормативным требованиям благоустройство дворовых площадок, не хватает мест на автомобильных стоянках, создаются транспортные пробки в городе, не учитывается жаркий климат в планировке жилых домов. Делается вывод о том, что возрождение и сохранение исторического архитектурного наследия г. Душанбе, создание городской среды, обладающей архитектурной и туристической привлекательностью, решение градостроительных проблем в процессе реконструкции и реновации центра столицы, являются важнейшими составляющими устойчивого развития.

Ключевые слова: застройка проспекта А. Рудаки, национальные традиции, архитектурное и историческое наследие, генеральный проект планировки г. Душанбе, реконструкция и реновация.

Введение: Реконструкция проспекта А. Рудаки в г. Душанбе в Таджикистане началось в 1997 году, когда был объявлен тендер на проектирование скульптуры первого правителя государства Саманидов, Исмоила Самани [1]. На главной площади Душанбе, носившей имя В. И. Ленина, был построен монумент Исмоила Самани. Памятник установлен в честь празднования 1100-летия государства Саманидов. Он имеет высоту от уровня земли 43 м. Высота самой скульптуры 13 м. (рис 1). Сейчас площадь носит название Дусти. Строительство монументального ансамбля Исмоила Самани стало началом реновации проспекта А. Рудаки и сформировало ядро центра города Душанбе.

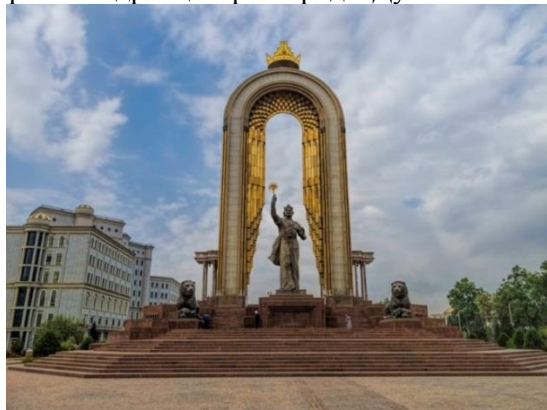


Рис 1. Монумент Исмоила Самани. Установлен в 1999 году. Скульптор Мансур Ходжибоев

В 1991-1998 гг. перед архитекторами была поставлена задача, найти архитектурный облик столицы с учетом национальных традиций таджикского народа. Без изучения традиционной архитектуры Таджикистана, бережного и внимательного отношения к памятникам истории и архитектуры невозможно возрождение архитектурного наследия и формирование исторической застройки города [2].

Сегодня правительство, несмотря на экономические сложности, продолжает вести застройку архитектурного ядра города Душанбе на проспекте А. Рудаки, но, к сожалению, на сегодняшний день не выработана единая градостроительная политика в архитектурно-композиционном решении застройки данного района. На проспекте был построен парк им. А. Рудаки на месте Парка культуры и отдыха имени В.И. Ленина (архитекторы М. Баранов и Н. Баранов. Институт Ленгпрогор 1935–1937 г.г). В процессе реконструкции решено было увеличить территорию парка в несколько раз, что привело к сносу нескольких исторических жилых зданий. Жильцов из этих домов разместили на окраине города Душанбе.

Методология. На основании изучения и обзора литературных источников по теории и истории архитектуры, а также, проведенных натурных обследований, было проанализиро-

вано состояние ряда объектов на проспекте А. Рудаки. Используя методы исторического анализа, а также натурных наблюдений и фото фиксации объектов на проспекте А. Рудаки, рассмотрим некоторые, самые значимые объекты.

Основная часть. В 2012 году было запроектировано многофункциональное 22-этажное здание делового центра «Душанбе Плаза», состоящее из трех блоков, общей площадью 39734 м², на месте аллеи для отдыха жителей и гостей города (рис. 2). В процессе такой реконструкции были полностью вырублены деревья и кустарники без восстановления. В результате такое решение ухудшило экологическую обстановку района. Кроме того, неудачно было запроектировано колористическое решение фасада делового центра.

Постепенно в процессе перестройки исчезают здания, такие как: Глав почтамт, здание Драматического театра имени В. Маяковского, жилые дома в неоклассическом стиле. Ответственность города в настоящее время выступает за сохранение исторического культурного и архитектурного наследия Душанбе.



Рис.2. Многофункциональный деловой центр «Душанбе Плаза».

В ближайшие годы сносу (на проспекте А. Рудаки) подлежат следующие здания:

1. Чайхана «Рохат».
2. Жилые дома напротив парка Рудаки.
3. Жилые дома на площади имени 800-летия Москвы.
4. Бывшее здание Центральной библиотеки имени Фирдавси.
5. Гостиница «Пойтахт».
6. Кинотеатр «Кохи Джоми».
7. Жилые дома с эластичными каркасами на проспекте Рудаки.
8. Здание педагогического института Таджикистана.

9. Театр оперы и балета имени Садриддина Айни.

10. Здание медицинского института Таджикистана.

11. Здание Академии наук Таджикистана.

12. Здание Администрации президента Таджикистана.

13. Здание парламента Таджикистана.

Бессистемно ведется вырубка деревьев в центре города, адаптированных к жаркому, сухому климату Центральной Азии. Такие сорта деревьев, как чинар, некоторые виды каштана, дуб заменяются елями и соснами, которые плохо приживаются в жарком климате столицы, при этом они вымирают и не вырабатывают необходимый кислород. До недавнего времени Душанбе считался одним из самых зеленых городов в Центральной Азии с богатой и очень хорошей планировкой и архитектурой. Но сегодня хаотично, без учета сложившейся планировочной структуры, ведется застройка многоэтажными домами и торговыми центрами [3;4]. Многие исторические здания хорошо сохранились и до сих пор выполняют свои функции. Однако, сегодня эти здания исчезают со скоростью, позволяющей говорить о том, что создание нового облика центральной улицы города проспекта А. Рудаки ведется путем уничтожения архитектурных произведений и исторических ценностей, созданных в 30-х-50-х годах прошлого века архитекторами, приехавшими из Ленинграда. В эти годы лучшие архитекторы создавали лицо молодой столицы, совмещая ее национальную культуру с элементами петербургского зодчества. Душанбе приобрел особый колорит, который делает столицу таким отличительным и оригинальным городом, по сравнению с другими городами Центральной и Средней Азии. Сохранение таких зданий, которые входят в архитектурное наследие, должно быть основной задачей архитекторов и заботой государства [3].

Рассмотрим здания, подлежащие сносу. Чайхана «Рохат» - одно из достопримечательных мест города Душанбе. Это место по праву является одним из наиболее любимых гостями таджикской столицы (рис. 3). Американский сайт CNN Travel назвал чайхану «Рохат» в Республике Таджикистан в числе самых лучших чайных домов мира. Здание построено в 1959 году командой профессионалов под руководством Терлецкого Константина Николаевича, Даниила Давыдовича Гендлина и Мирзорахмата Алимова. Чайхана «Рохат» создавалась во время перехода от традиционной архитектуры к советскому модернизму. «Рохат» обладает удивительными пластическими и концептуальными качествами, которые являются свидетельством уникальных, ис-

ключительных для архитектуры Душанбе и Таджикистана зрелости и степени творческой свободы его творцов. «Рохат» учит нас тому, что новое и модернистское отнюдь не противостоит традиционному и национальному.



Рис. 3. Чайхана «Рохат» в городе Душанбе на проспекте А.Рудаки. Построена в 1959 году

Грандиозное здание оперы и балета имени таджикского писателя С. Айни, имеющее неповторимый облик, является любимым местом отдыха жителей Душанбе. Ведущий музыкальный театр Таджикистана основан в Душанбе в 1936 году (Архитекторы А. Юнгер, Д. Билибин, В. Голли, М. Захаров) (рис. 4). Театр не прекратил деятельность даже во время Великой Отечественной войны. В 1971 году театр удостоен звания академического. После приобретения независимости Республики Таджикистан театр продолжает развивать национальную культуру, обращаясь к ранним периодам истории и к традициям таджикского народа.

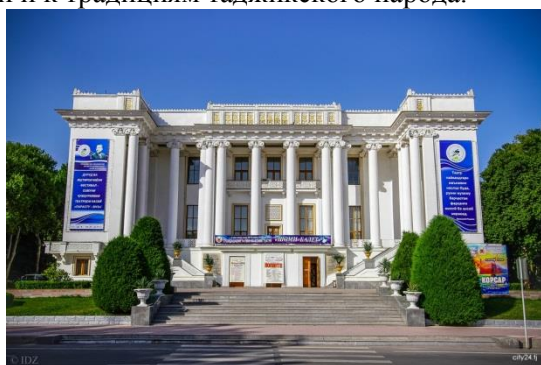


Рис. 4. Театр опера и балета им. С. Айни в г. Душанбе

Здание Парламента Таджикистана – лицо города на проспекте А.Рудаки (рис. 5). Прекрасные барельефы украшают фасад главного входа Дома правительства. Замечательные пропорции, его масштабность по отношению к площади и качество деталей делают это здание несомненным достижением советской архитектуры в истории Душанбе. В проект была включена площадь для проведения воен-

ных парадов и общенародных праздников. С 1946 года началось расширение и асфальтирование улиц. Именно здесь было положено начало новому архитектурному облику города [4, 12].



Рис. 5. Дом правительства (1940-1946, архитекторы С. Л. Анисимов, М. А. Захаров)

Жилой дом, называемый в народе «дом с арками», построен в столице в 1950–1954 годах по проекту Николая Баранова, народного архитектора СССР, главного архитектора Ленинграда (рис. 6). Он считается создателем первого в истории города Душанбе градостроительного документа – «Генеральный проект планировки города Душанбе», утвержденного 3 марта 1938 года (рис. 7). Запроектированный Николаем Варфоломеевичем Барановым генеральный проект планировки г. Душанбе (бывший Сталинабад) полностью воплотился в жизнь. В настоящее время в Таджикистане уделяется большое внимание сохранению национальных традиций. В современной архитектуре широко используют народные узоры и фрагменты, резьба по дереву. При этом не всегда учитывается, что постройки советского периода (1930–1965 гг.) также представляют для столицы историческую и архитектурную ценность [5, 6].



Рис. 6. Жилой дом на проспекте А. Рудаки. Построен в 1950–1954 годах по проекту архитектора Николая Баранова

Первый градостроительный план развития Сталинабада Таджикской ССР был разработан в 1935–1938 гг. ленинградским «Гипрогором» под руководством архитекторов – М. Барановым,

Н. Барановым, инженеров – Г. Шелейховским и Г. Ситко. Консультантом этого проекта был профессор и главный архитектор Ленинграда Лев Александрович Ильин. Главной планировочной осью проекта считалась улица В.И. Ленина, ныне проспект А. Рудаки, на которой впоследствии были воплощены планируемые постройки таких зданий, как: драматический театр им. В. Маяковского (1927–1929 г.г), глав почтамт (1930–1934 г.г), Министерство сельского хозяйства (1932–1935 г.г), академия наук Таджикистана (1934–1936 г.г), медицинский университет (1935–1937 г.г), театр оперы и балета (1939–1946 г.г), дом правительства (1940–1949 г.г), дом с аркой (1950–1954 г.г), библиотека имени Фирдоуси (1952–1954 г.г), чайхана Рохат (1958–1959 г.г), кохии Вахдат (1974г) и многие другие здания, которые не являются архитектурным наследием (рис. 8). Сталинабад, ныне Душанбе, является единственной столицей в бывшем СССР, построенной именно в советское время с нуля. В этом и заключается его архитектурная уникальность. А также важно отметить, что первоначальные застройки города Сталинабада велись по проектам московских и ленинградских архитекторов, а также группой местных специалистов – Ваулин П.И., Кутин С.В., Цветков Ю.А. К сожалению, очень жаль, что в последующие послевоенные годы произошли многочисленные нарушения генерального плана, связанные со строительством многоэтажных и торговых центров, занявших огромную городскую территорию в исторической части города. Эти действия привели к тому, что некоторые причисленные выше здания были снесены при реконструкции проспекта А. Рудаки, а некоторые стоят в очереди под снос.

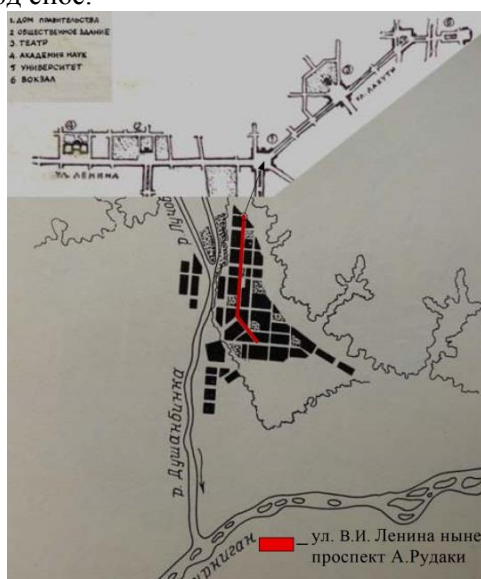


Рис. 7. Первый генеральный проект планировки города Сталинабада, ныне Душанбе, выполненный Н. Барановым в 1938 году



Рис. 8. Проспект В.И. Ленина, ныне А. Рудаки. Душанбе – 1965 год

С каждым днем число жителей столицы растет (рис. 9). По статистике сельское население уменьшается за счет прироста численности населения в городах. Исторически большинство населения Таджикистана занималось сельским хозяйством. Традиционным занятием таджиков было садоводство и виноградарство, а также скотоводство: разводили овец и коз, крупный рогатый скот и лошадей. Характерным занятием для народа было шелководство. Многие века жители предгорий Таджикистана занимались орошаемым земледелием [7, 9]. Но, при этом, в период правления Саманидов (IX–X в.н.э.) было развито искусство и архитектура. Образовались культурные центры торговли и ремесел в таких городах, как Бухара, Мавераннахр, Хорасан, Северный и Восточный Иран, Самарканд, Мерв, Газни и другие. Этот период характерен высоким уровнем культуры, развитием науки и литературы, астрономии, математики и медицины (в эту эпоху жили и творили такие ученые математики и поэты, как А.Рудаки, Абу Али ибн Сина Авиценна, А.Фирдоуси, Абу Наср Мухаммад Фараби).



Рис. 9. Темп роста численности населения Республики Таджикистан (1926–2015 г.)

Проблема роста городов, это не только проблема урбанизации, но и экологическая проблема; такая, как загрязнение воды, увеличение количества осадков, возникновение различных заболеваний. На примере г. Душанбе видно, что она решается не в полной мере. Сегодня в круп-

ных городах уничтожается историческое наследие предков, бессистемно сносятся здания различных стилей и эпох. Тем самым нарушается преемственность поколений и не решаются проблемы устойчивой архитектуры. Последний Генеральный план города Душанбе, подписанный 28 апреля 2017 года, был разработан Московским ОАО Гипрогори, предусматривал расширение территории города на 12,7 тыс. гектаров (рис. 10). Но, в настоящее время, наблюдается рост численности населения города, и проблемы, к сожалению, решаются путем потери сложившейся архитектурно-исторической части городского пространства, строительства многоэтажных комплексов, которые разрушают историческую градостроительную ткань столицы.

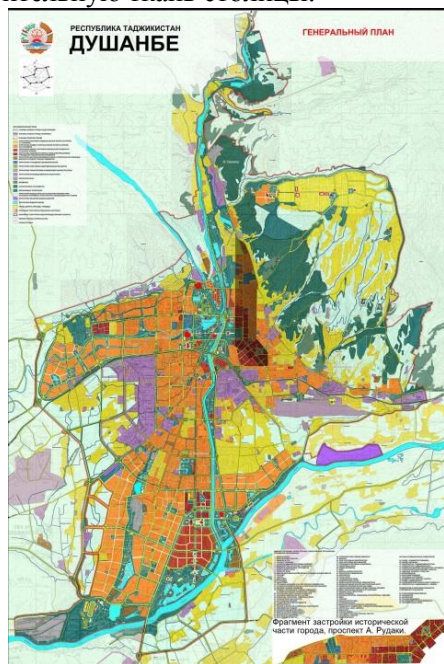


Рис. 10. Последний Генеральный план города Душанбе 2017 года

Высотные дома, которые строятся в центре города на проспекте А. Рудаки, увеличивают плотность застройки и создают большие проблемы. Не отвечает нормативным требованиям благоустройство дворовых площадок, не хватает мест на автомобильных стоянках, создаются транспортные пробки в городе. Не учитывается жаркий климат в планировке жилых домов и озеленении дворовых пространств. [10;11]

Исчезают любимые места отдыха туристов города, озелененные территории, парки и водоемы [8; 15]. Необходимо учитывать положительный опыт сохранения исторического ядра города, таких городов, как Москва, Санкт - Петербург, Бухара, Самарканд, Шираз и Баку. Возрождение и сохранение исторического и архитектурного наследия г. Душанбе, создание городской среды, обладающей не только архитектурной, но и туристической привлекательностью, а так же реше-

ние градостроительных проблем в процессе реконструкции и реновации, как центральной части столицы, так и города в целом, являются важными составляющими устойчивого развития [13;14].

Выводы:

1. В разработанном и утвержденном в 20.04.2017 году Генеральном плане г. Душанбе не полностью учтен темп роста населения столицы. С целью увеличения плотности населения происходит частичное разрушение исторически сложившегося ядра города, вырубка зеленых массивов.

2. Строительство многоэтажных зданий на проспекте А. Рудаки происходит зачастую без учета нормативных требований по благоустройству городских территорий и расширения транспортных коммуникаций, что приводит к снижению комфортности городской среды столицы.

3. В результате отсутствия контроля над сохранением памятников истории и архитектуры на проспекте А. Рудаки в г. Душанбе происходит снос и уничтожение памятников архитектуры 1935 -1965 г.г., выполненных в неоклассическом стиле ленинградскими зодчими С.Л. Анисимовым, П.И. Ваулиным, Н. Барановым, М. Барановым, С.В. Кутиным В. Афана-сьевым, П. Кузьменко, К. Терлецким и др.

4. Решение проблем реконструкции и реновации центральной части г. Душанбе в рамках устойчивого развития путём сохранения архитектурного и исторического наследия будет способствовать притоку деловых партнеров и позволит вернуть г. Душанбе архитектурную и туристическую привлекательность.

5. Делается вывод о том, что необходимо возродить национальные традиции и культуру в строительстве зданий и сооружений г. Душанбе, учитывать при реконструкции стилистически сложившуюся городскую застройку центра столицы и сохранить объекты исторического наследия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мухтаров А.М., Негматов Н.Н., Пирумшоев Х., Ранов В.А. История таджикского народа. Том III. (Период развития феодального общества). Душанбе: «Дониш», 2013
2. Тиллоев С.С. Архитектура столицы Республики Таджикистан -Душанбе за 80 лет // Фарханг в Таджикистане. 2007. № 4. С. 35–43.
3. Мирзоева Ф.З. Организация современного градостроительства города Душанбе: перспективы развития // Современные наукоемкие технологии. 2017. № 7. С. 43–48.
4. Золотозубов Д.Г., Безгодов М.А. Реконструкция зданий и сооружений [Электронный

ресурс]: конспект лекций // М-во образования и науки Рос. Федерации, Перм. нац. исслед. политехн. ун-т. Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2014. URL: <http://docplayer.ru/26497988-D-g-zolotozubov-m-a-bezgodov-rekonstrukciya-zdaniy-i-sooruzheniy.html>.

5. Веселовский В.Г. Таджикская советская архитектура // Таджикская ССР. Энциклопедический справочник. Изд. 2-е. Душанбе: ТЭС, 1984.

6. Веселовский В.Г., Мукимов Р.С., Мамад-назаров М.Х., Мамаджанов С.М. Архитектура Советского Таджикистана. М: Стройиздат, 1987. С. 219–319.

7. Веселовский В.Г. Архитектура Советского Таджикистана. Стройиздат, 1972.

8. Аксенова И.В., Банцеров О.Л. Касимова А.Р. Воссоздание усадебного комплекса горно-промышленников Демидовых в Алмазово. // Научное обозрение. 2015. №18. С. 30–35.

9. Негматов Н.Н. Кто такие таджики? [Электронный ресурс]: // ИА «Вароруд». Душанбе - 2008. 28 марта. URL: www.varorud.org/index.php?option=com_content&task=view&id=1868&Itemid=112

10. Умарзода И. История цивилизации арийцев. Душанбе, 2006. С. 62. URL: www.varorud.org/index.php?option=com_content&task=view&id=1868&Itemid=112.

11. Строительные нормы и правила Республики Таджикистан МКС 4 1 30-01-2007 «Градостроительство. Планировка и застройка населенных пунктов»

12. Федоров В.В., Федорова Н.Н., Сухарев Ю.В. Реконструкция зданий, сооружений и городской застройки: учебное пособие для вузов. М.: ИНФРА-М, 2011. 312 с.

13. Травин В.И. Капитальный ремонт и реконструкция жилых и общественных зданий: учебное пособие для вузов. 2-е изд. Ростов-н/Д.: Феникс, 2013. 251 с.

14. Щенков А.С. Реконструкция исторических городов. М.: Памятники исторической мысли, Москва, 2013. 420 с.

15. Sotoudeh, H., WanAbdulah, WanMohdZakri, 2013 г. Оценка пригодности дизайна в историческом контексте города: с точки зрения жителей Границы архитектурных исследований (2013) 2, 85-93. URL: <https://e.kdelo.ru/rssnews.aspx?anchor=news381404>.

Информация об авторах

Пиров Мустахим Саидович, магистрант, кафедры архитектуры.

E-mail: mustakim_pirov@mail.ru.

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

Банцеров Ольга Леонидовна, кандидат архитектуры, Академический профессор, доцент кафедры архитектуры.

E-mail: olga.bancerova@gmail.com

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

Поступила в февраль 2018 г.

© Пиров М.С., Банцеров О.Л., 2018

M.S. Pirov, O.L. Bantserova

PROBLEMS OF THE RENOVATION AND RECONSTRUCTION OF THE RUDAKI AVENUE IN THE CITY OF DUSHANBE

The article deals with the problems of reconstruction of the central part of Dushanbe – the Rudaki Avenue. In the process of research it has been established that the development of the historic core of the city is performed without taking into account the existing architectural and city-planning composition or architectural monuments preservation. A number of green areas and objects of architectural and historical value are being demolished. Until recently, Dushanbe was considered one of the greenest cities in Central Asia with a rich and very good layout and architecture. It has been found out that at present there is the random felling of trees, adapted to the hot, dry climate of Central Asia, in the center of the city. The increase of the population and building density create a number of environmentalization problems: the arrangement of yard areas doesn't meet the regulatory requirements; there are not enough parking spaces; traffic jams are formed in the city; the layout of residential buildings and the color solutions of the facades do not take into account the hot climate. The problems of population density mean not only the problems of urbanization, but also envi-

ronmental problems; water pollution, increased precipitation, the occurrence of various diseases. So, the questions of sustainable architecture and the continuity of generations are not being addressed. It has been concluded that the restoration and preservation of architectural and historical heritage of Dushanbe, creating the urban environment, attractive for tourism, solving the city-planning problems in the process of reconstruction and renovation of the central part of the city are essential for sustainable development.

Keywords: building-up of the Rudaki Avenue, national traditions, architectural and historical heritage, general planning project of Dushanbe, reconstruction and renovation.

REFERENCES

1. Mukhtarov A.M., Negmatov N.N., Pirumshoev H., Ranov V.A. History of the Tajik people. Volume III. (Period of development of feudal society). Dushanbe: «Donish», 2013.
2. Tilloev S.S. Architecture of the capital of the Republic of Tajikistan - Dushanbe for 80 years // Farhang in Tajikistan, 2007, no. 4, pp. 35–43.
3. Mirzoeva F.Z. Organization of modern urban development to the city of Dushanbe: development prospects // Modern high technology, 2017, no. 7, pp. 43–48.
4. Zolotozubov D.G., Bezgodov M.A. [Electronic resource]: a summary of lectures // M-in education and science Ros. Federation, Perm. nat. Isled. polytechnical. un-t. Perm: Publishing house of the Central Scientific and Technical University, 2014. URL: <http://docplayer.ru/26497988-D-g-zolotozubov-m-a-bezgodov-rekonstrukciya-zdaniy-i-sooruzheniy.html>.
5. Veselovsky V.G. Tajik Soviet architecture // Tajik SSR. Encyclopedic reference book. Ed. The 2nd. Dushanbe: TSE, 1984.
6. Veselovsky V.G., Mukimov R.S., Mamadnazarov M. Kh., Mamadzhanov S.M. Architecture of Soviet Tajikistan. M: Stroiizdat, 1987, pp. 219–319.
7. Veselovsky V.G. Architecture of Soviet Tajikistan. Stroiizdat, 1972.
8. Aksenova I.V., Bantserova O.L., Kasimova A.R. Recreation of the manor complex of mine owners of Demidovs in Almazovo // Scientific review, 2015, no 18, pp. 30–35.
9. Negmatov N.N. Who are the Tajiks? [Electronic resource]: // IA "Varorud". Dushanbe - 2008. 28 March. URL: www.varorud.org/index.php?option=com_content&task=view&id=1868&Itemid=112.
10. Umarzoda I. History of the civilization of the Aryans. Dushanbe, 2006? Pp. 62. URL: www.varorud.org/index.php?option=com_content&task=view&id=1868&Itemid=112.
11. Constructive norms and rules of the Republic of Tajikistan ISS 4 1 30-01-2007 "Urban planning. Planning and development of settlements »
12. Fedorov V.V., Fedorova N.N., Sukharev Yu.V. Reconstruction of buildings, structures and urban buildings: a textbook for universities. Moscow: INFRA-M, 2011. 312 p.
13. Travin V.I. Overhaul and reconstruction of residential and public buildings: a textbook for universities. 2nd ed. Rostov-n / D.: Phoenix, 2013. 251 p.
14. Schenkov A.S. Reconstruction of historical cities. M.: Monuments of historical thought, Moscow, 2013, 420 p.
15. Sotoudeh H., WanAbdulah, WanMohdZakri, 2013. Estimating the acceptability of design in the historical context of the city: from the point of view of the inhabitants of the Border of Architectural Research (2013) 2, 85–93. URL: <https://e.kdelo.ru/rssnews.aspx?anchor=news381404>

Information about the author

Mustakim S. Pirov, Master of Arts.

E-mail: mustakim_pirov@mail.ru.

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

Olga L. Bantserova, PhD, Academic Professor.

E-mail: olga.bancerova@gmail.com

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

Received in February 2018

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.12737/article_5ac24a2d16f840.64744639

Рахимбаев Ш.М., д-р техн. наук, проф.,
Черникова И.С., бакалавр

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СООТНОШЕНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ В РАЗЛИЧНЫЕ СРОКИ ТВЕРДЕНИЯ

chernikova_is@edu.bstu.ru

Рассмотрено влияние различных технологических факторов на соотношение предела прочности цементного камня и бетона в разные сроки твердения. Установлено, что изменение содержания важнейших клинкерных минералов в цементе, гипса, величины удельной поверхности, водоцементного отношения в определенных пределах мало влияет на кинетические константы твердения цементных систем. Уменьшение сечений образцов стандартной формы с 4×4 до 2×2 см² на 20–25 % уменьшает отношение марочной прочности к 7 суточной. Установлены пределы рационального содержания таких клинкерных минералов как, C_3S и C_2A , при которых обеспечиваются такие значения физико-механических свойств цементного камня. На основе установленных в данной работе закономерностей предложены поправки к коэффициентам пересчета 3-х и 7 суточной прочности на марочную.

Ключевые слова: предел прочности, кинетика твердения, марка по прочности.

Введение. Марочная прочность цементного камня в возрасте 28 суток является важнейшим параметром, который используется при проектировании состава бетонной смеси на предприятиях стройиндустрии Российской Федерации и других стран [1]. Большое значение имеет также кинетика твердения цемента и бетонов, в том числе отношение марочной прочности к трех и семи суточной.

Несмотря на это, в большинстве стран этому показателю не уделяется должное внимание. Обычно при расчете расхода цемента при производстве бетонных смесей в основу берется марка (класс по прочности) цемента, задекларированная заводом-изготовителем, хотя последний определяет ее через 28 суток после выпуска, руководствуясь при маркировке очередной партии цемента результатами испытаний предыдущих партий. При этом не учитывается, что некоторые партии цемента могут серьезно отличаться по своим вяжущим свойствам от предыдущих. В связи с этим в ряде публикаций исследовалась взаимосвязь между марочной прочностью цемента и их активностью в ранние сроки [11], что позволяет на основе последних прогнозировать марку (класс прочности) цемента. Однако в опубликованных работах не уделено должное внимание ряду важных технологиче-

ских факторов, влияющих на кинетику твердения цемента.

Основная часть. Соотношение предела прочности цементного камня стандартного состава, испытанных по ГОСТ 310.4-81 в различные сроки твердения, и марочной прочности являются предметом исследований многих отечественных и зарубежных специалистов [2–11]. На основе этих работ установлены различные способы оценки марки либо класса прочности цементного камня по результатам краткосрочных испытаний. Однако предложенные методы в большинстве случаев относятся к составам с фиксированными показателями вяжущего, удельной поверхности, содержания гипса и других технологических параметров, что ограничивает их применение. В данной работе предлагается восполнить этот пробел.

Широкое общение по этому вопросу было сделано А.В. Волженским [4], который предполагает следующий ряд величин, характеризующих кинетику твердения цементного камня в различные сроки (таблица 1). Недостаток этих данных заключается в том, что они носят слишком обобщенный характер и в них не учитывается влияние минерального состава клинкера, площади удельной поверхности цемента, формы и размера образцов цементного камня и так далее.

Таблица 1

Коэффициенты, характеризующие прочность портландцемента в различные сроки твердения по сравнению с марочной прочностью

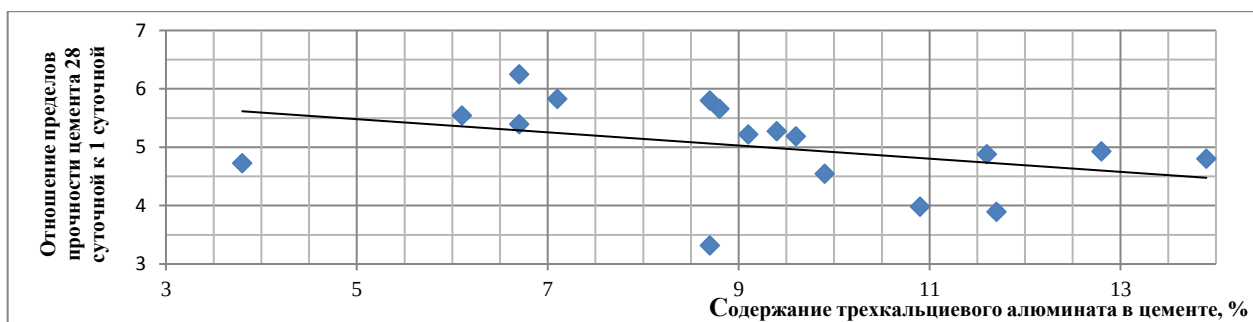
σ_{28}/σ_t	σ_{28}/σ_3	σ_{28}/σ_7	σ_{28}/σ_{90}	σ_{28}/σ_{180}
K	2,86	1,54	0,8	0,56

Из приведенных на рис. 1а экспериментальных данных [17], следует, что отношение марочной прочности цементного камня к 1-суточной при увеличении содержания в клинкере трехкальцевого алюмината от 4 до 7–8 % возрастает от 4,7 до 6. При дальнейшем росте содержания C_3A до 14 % $K_1 = \sigma_{28}/\sigma_1$ снижается до 4–5.

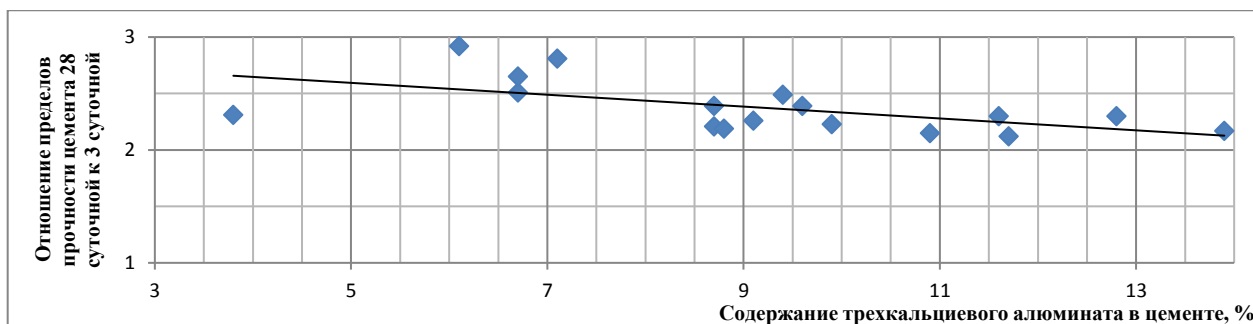
Необходимо отметить, что 1-суточная прочность цементного камня отличается от ма-

рочной более высокой величиной коэффициента вариации, поэтому функция $K_1(C_3A)$ отличается повышенным разбросом в сравнении с $K_3(C_3A)$ $K_7(C_3A)$.

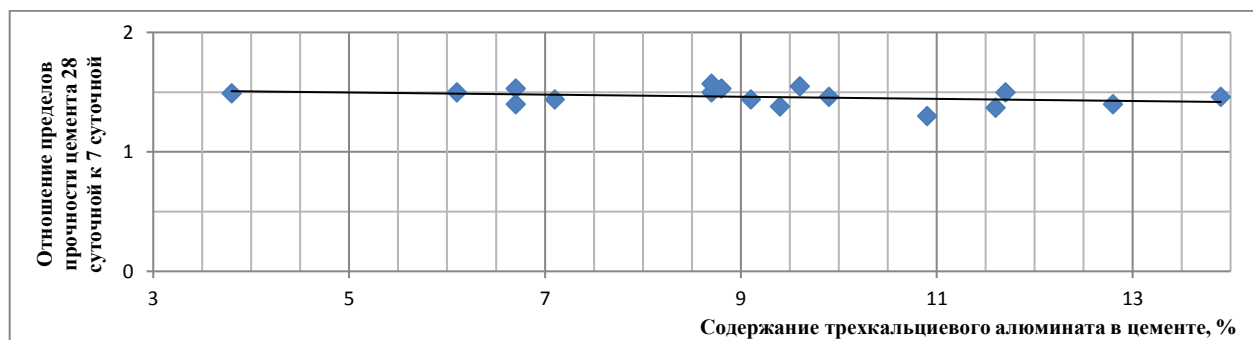
Из рис. 1в следует, что отношение марочной прочности камня к 7-суточной, по данным [17], мало зависит от содержания в клинкере C_3A и равно 1,5, как следует из [4].



а (По данным [17])



б (По данным [17])

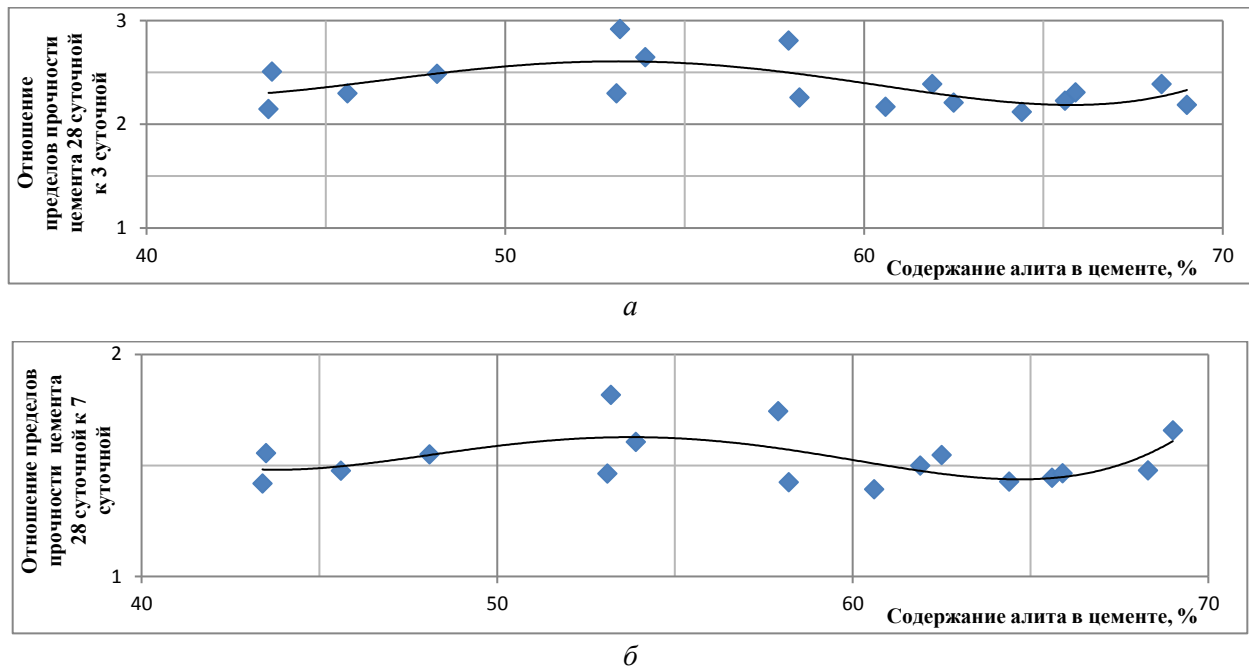
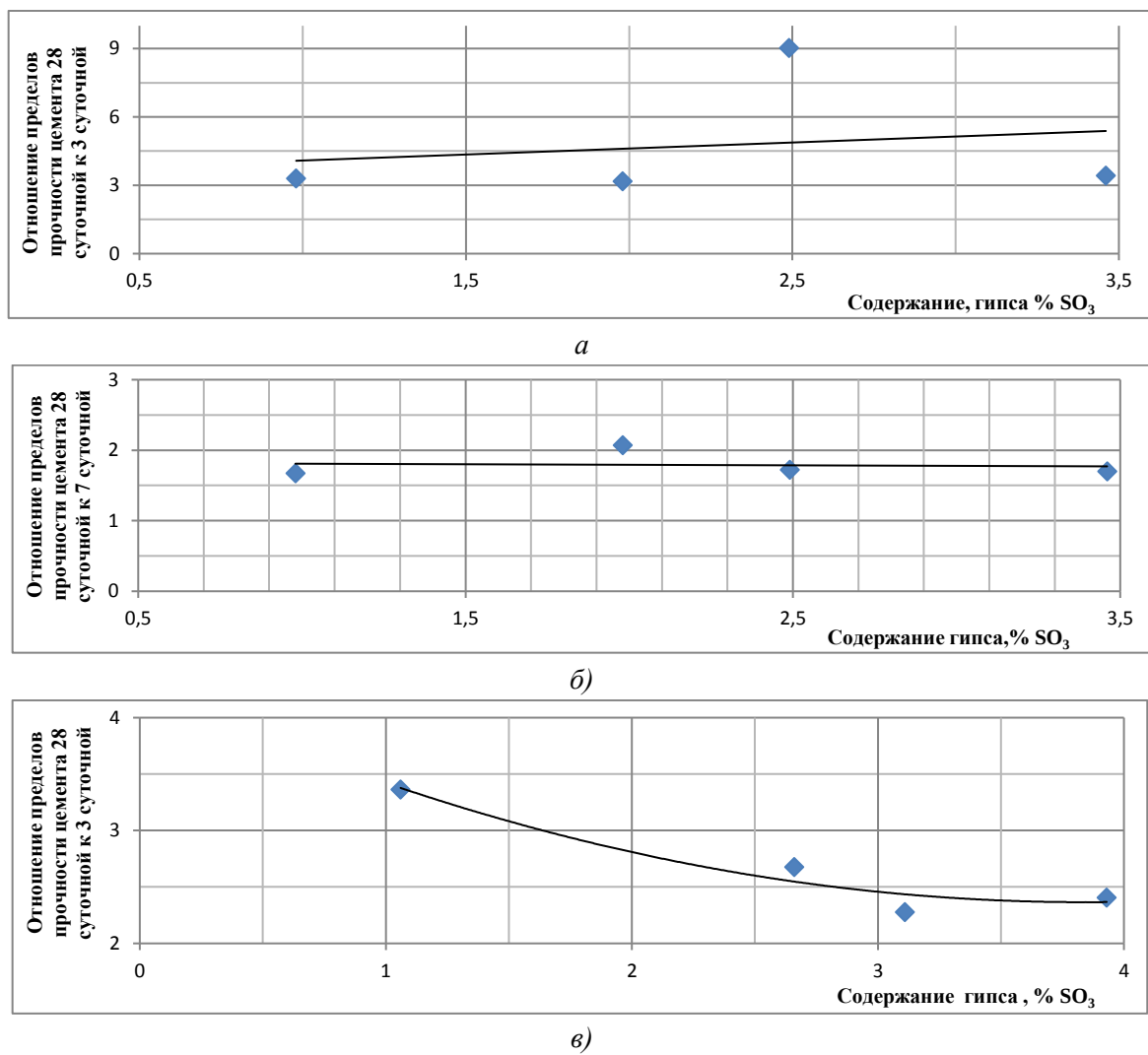


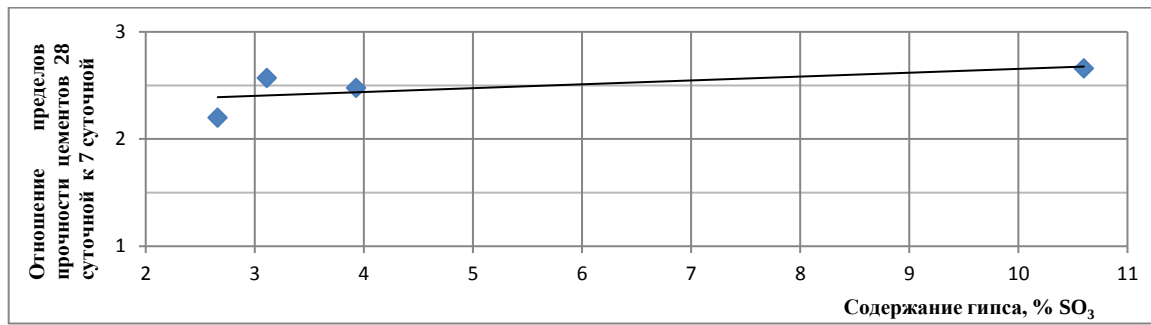
в (По данным [17])

Рис. 1. Влияние содержания в клинкере C_3A на численное значение коэффициента $K = \sigma_{28}/\sigma_3$

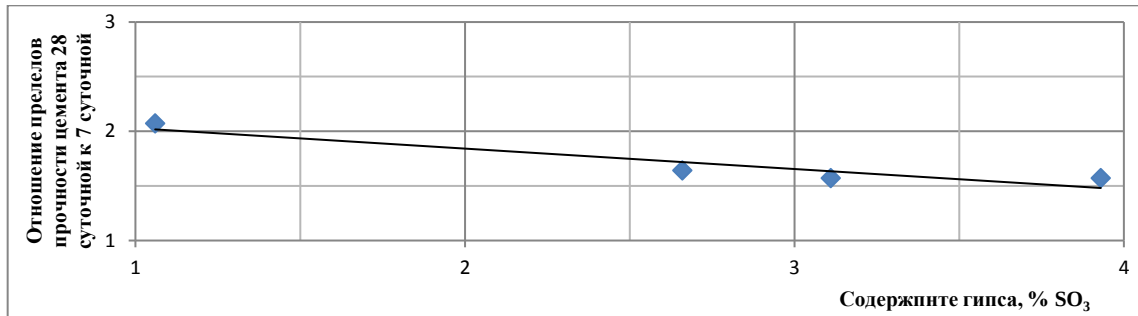
Из показанных на рисунке 1б экспериментальных данных [17] следует, что увеличение содержания трехкальцевого алюмината в клинкере от 3,8 до 6 % сопровождается снижением $K_3 = \sigma_{28}/\sigma_3$ от 2,8 до 2,3. Дальнейший рост содержания C_3A в цементе до 8–14 % приводит к снижению этого коэффициента до 2,2. Таким образом, численное значение коэффициента $K_3 = 2,86$, в данном случае относится к цементу,

содержащему 5,5–6,5 % C_3A . Большинство выпускаемых в России цементов содержит 4–7% C_3A , поэтому указанное в [4] отношение K_3 является достаточно обоснованным. Для цементов, содержащих 9–14 % C_3A , $K_3 = 2,25–2,3$, что заметно ниже, чем указано в [4]. Цементы, содержащие 10–15 % C_3A , выпускаются лишь Стерлитамакским и Спасским заводами.

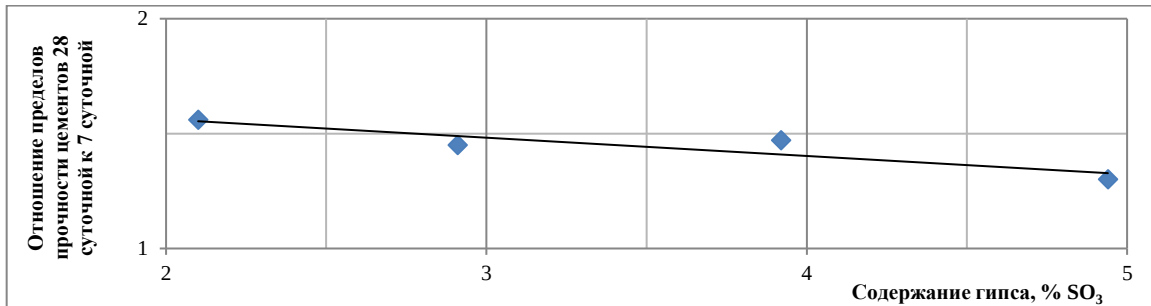
Рис. 2. Влияние содержания алита в цементе на отношение σ_{28}/σ_3 и σ_{28}/σ_7 камня стандартного составаРис. 3. (начало) Влияние гипса в пересчете на SO_3 на σ_{28}/σ_7 цементов с различным содержанием алита и C_3A



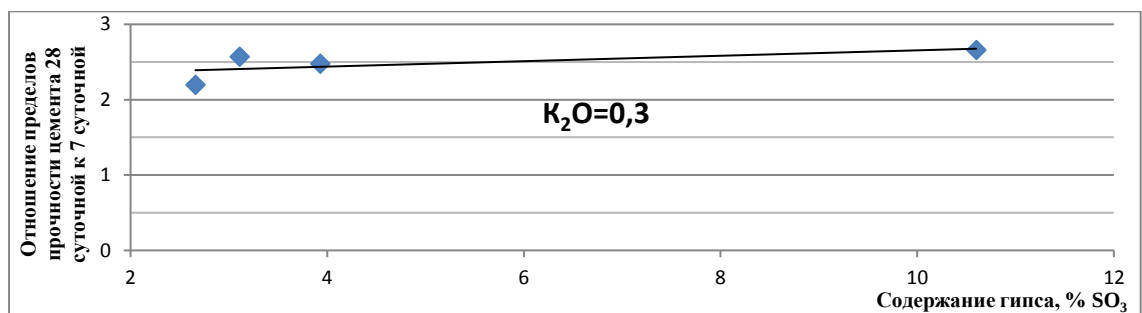
в)



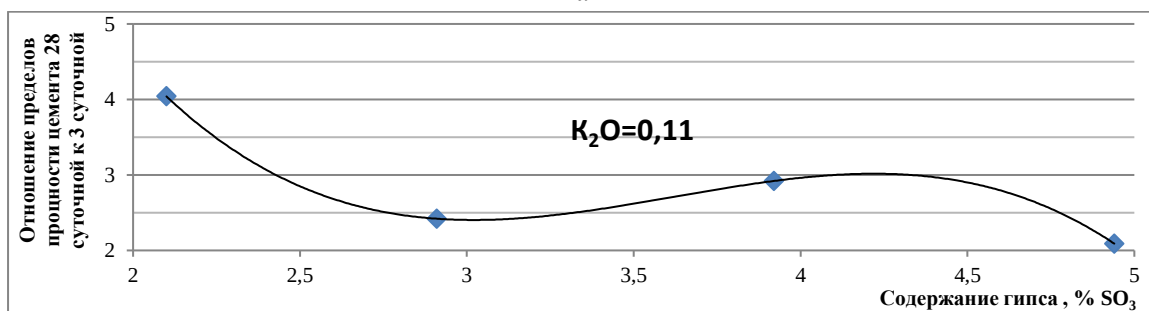
д)



е)

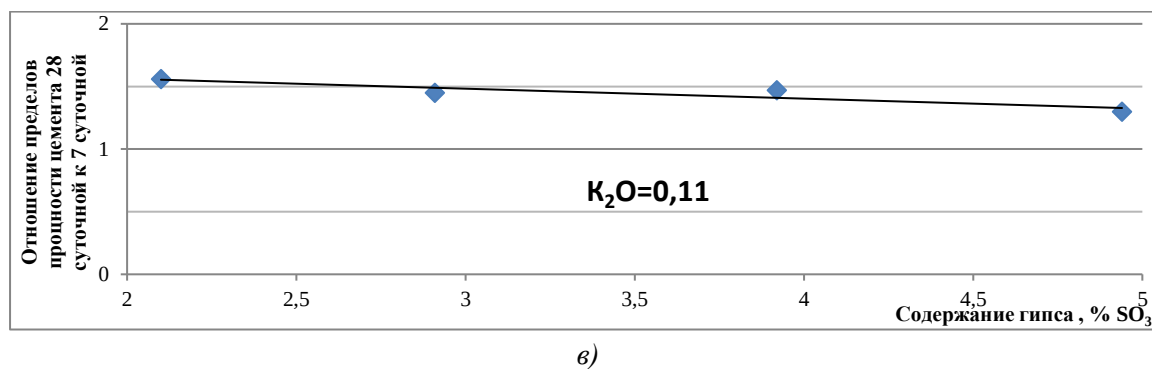
Рис. 3. (окончание) Влияние гипса в пересчете на SO₃ на σ_{28}/σ_7 цементов с различным содержанием алита и C₃A

а



б

Рис. 4. (начало) Зависимость $K = \sigma_{28}/\sigma_3$ от содержания SO₃ в цементах с различным содержанием K₂O

Рис. 4. (окончание) Зависимость $K = \sigma_{28}/\sigma_7$ от содержания SO_3 в цементах с различным содержанием K_2O

На рис. 2 показана взаимосвязь между содержанием в цементе алита и кинетическими константами твердения цементного камня. Из графиков следует, что $K_3 = \sigma_{28}/\sigma_3$ равно 2,87 при содержании алита 53–57 %. В цементах с низким (43–47 %) и повышенным содержанием алита в клинкере (60–70 %) эта величина снижается до 2,1–2,2.

Отношение $K_7 = \sigma_{28}/\sigma_7$ для большинства цементов близко к 1,5 (рис. 2б).

Анализ приведенных на рис. 3 экспериментальных данных [12, 13] приводит к выводу, что зависимость $K_7 = \sigma_{28}/\sigma_7$ как функция содержания гипса в пересчете на SO_3 зависит от соотношения алита (C_3S) и трехкальциевого алюмината (C_3A).

Из рис. 3а и 3б [12] следует, что содержание SO_3 в пределах 0,5–3,5% не влияет на численное значение K_3 и K_7 .

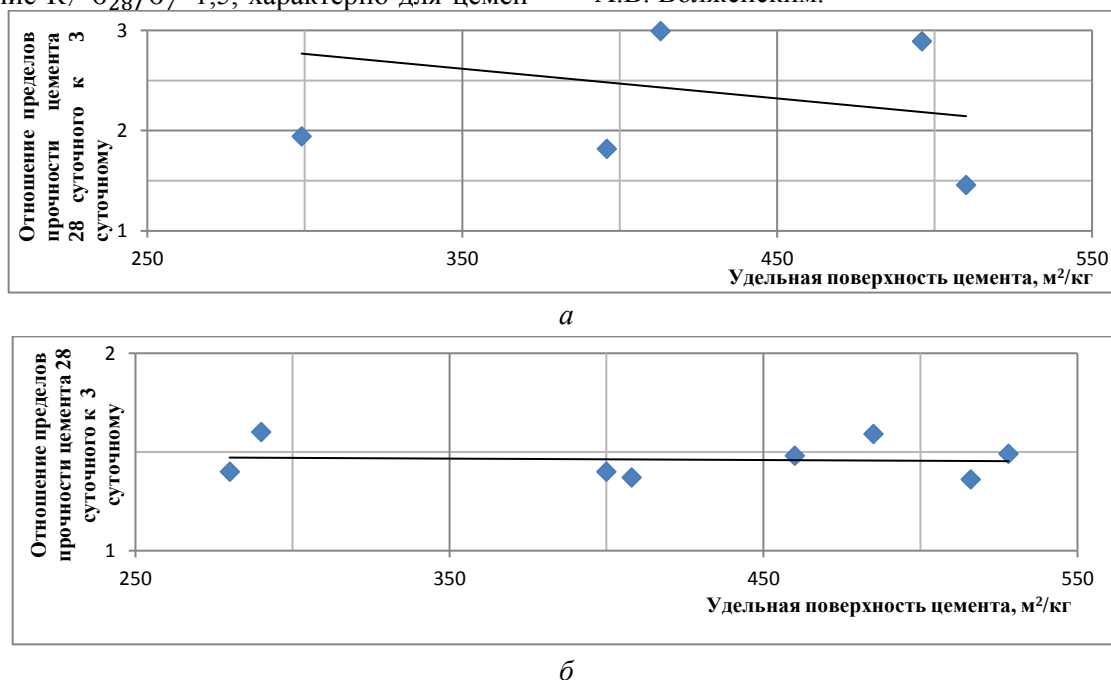
По данным [12] приведенным на рисунке 3В, $K_3 = 2,86$ наблюдается у цемента, содержащего около 2,5 % SO_3 . Из рис. 3г видно, что $K_3 = 2,7$ при содержании SO_3 равном 10,5 %. Численное значение $K_7 = \sigma_{28}/\sigma_7 = 1,5$, характерно для цементов,

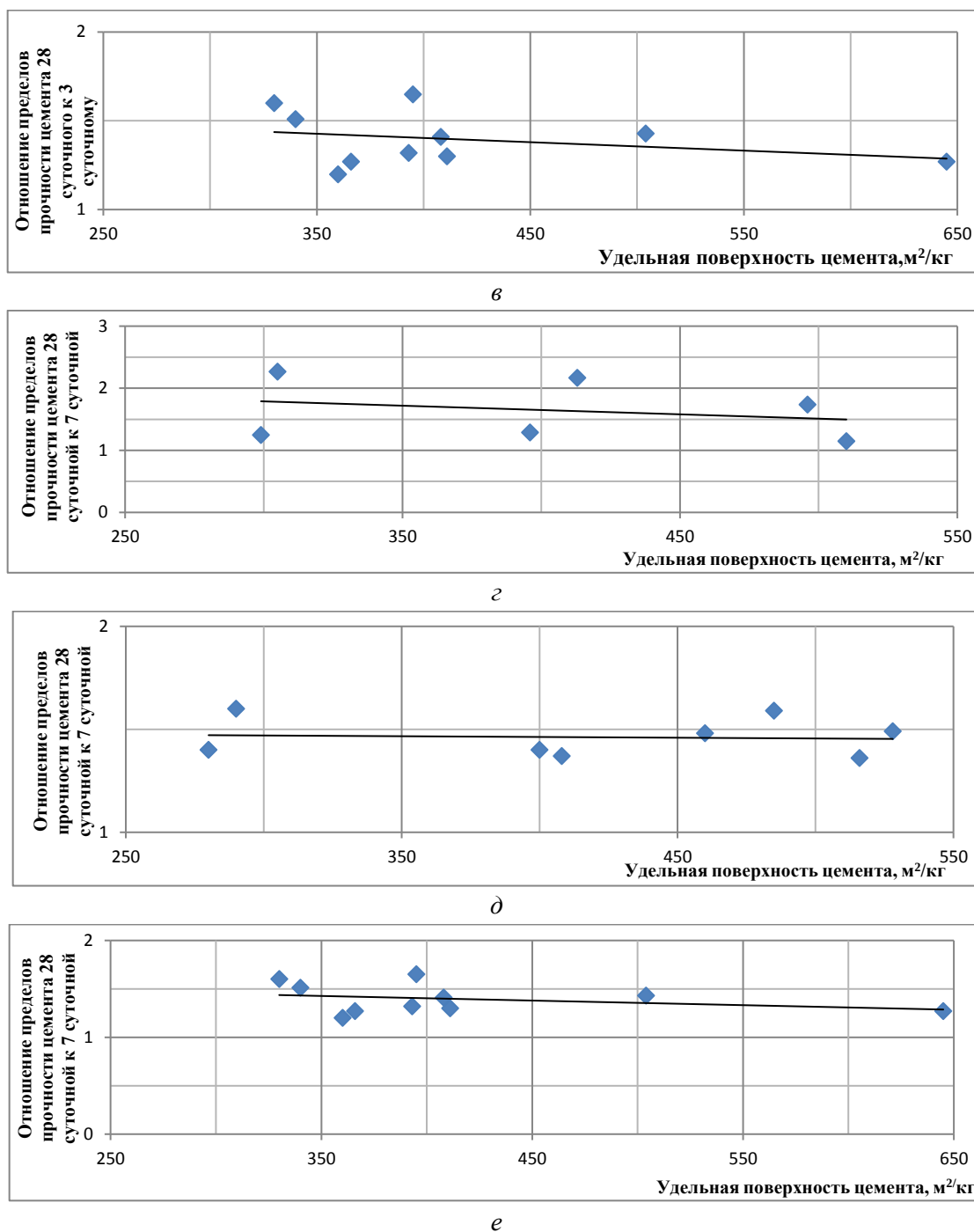
содержащих 3,5–4 % SO_3 , а из рис. 3е видно, что $K_7 = 1,5$ наблюдается у цементов, содержащих не более 5 % SO_3 .

В цементах, которые отличаются повышенным содержанием C_3S и C_3A , влияние SO_3 на численное значение коэффициента K нивелируется и мало зависит от содержания SO_3 в пределах от 2 до 10 %. При этом численное значение K может достигать 2–2,5, если клинкер содержит 10–13 % C_3A (рис. 3 б и в).

Анализ приведенных на рис. 4 графиков показывает, что содержание SO_3 в пределах 2,2–4 % слабо влияет на интенсивность набора прочности цементного камня во времени.

На рисунке 5 приведены экспериментальные данные [12]. Их анализ показывает, что при увеличении удельной поверхности цемента от 270 до 500 m^2/kg наблюдается снижение численного значения коэффициента K_7 от 1,2 до 1, от 1,5 до 1,3 и от 2 до 1,5. При средней удельной поверхности цемента 300–400 m^2/kg численное значение K находится в пределах от 1,3 до 1,6, что близко к величинам, приведенным А.В. Волженским.

Рис. 5. (начало) Влияние удельной поверхности цемента на численное значение $K = \sigma_{28}/\sigma_7$

Рис. 5. (окончание) Влияние удельной поверхности цемента на численное значение $K = \sigma_{28}/\sigma_7$

Водоцементное отношение цементного камня с добавкой вольского или полифракционного песка строго регламентировано, поэтому рассмотрим влияние этого показателя на примере бетонной смеси с крупным заполнителем.

Анализ представленных на рисунке 6 экспериментальных данных приводит к выводу, что у бетонов коэффициент интенсивности твердения K_7 ниже, чем у цементно-песчаной смеси стандартного состава на 0,2–0,3 в пределах $B/C=0,2–0,5$. Рост B/C сопровождается увеличением K_7 , который достигает величины 1,5 при $B/C \approx 0,65$.

Влияние водоцементного отношения на коэффициент интенсивности твердения приведено на рисунке 6. Анализ полученных данных показывает, что для бетонов с крупным заполнителем коэффициент K с ростом водоцементного отношения незначительно возрастает, находясь в сравнительно узких пределах 1,1–1,3 (рис. 6 б [14–16]); при этом водоцементное отношение влияет в меньшей степени на цементный камень стандартного состава без крупного заполнителя, (рисунки 6 в [8]) чем на бетон (рис. 6 а [9] и 3 б).

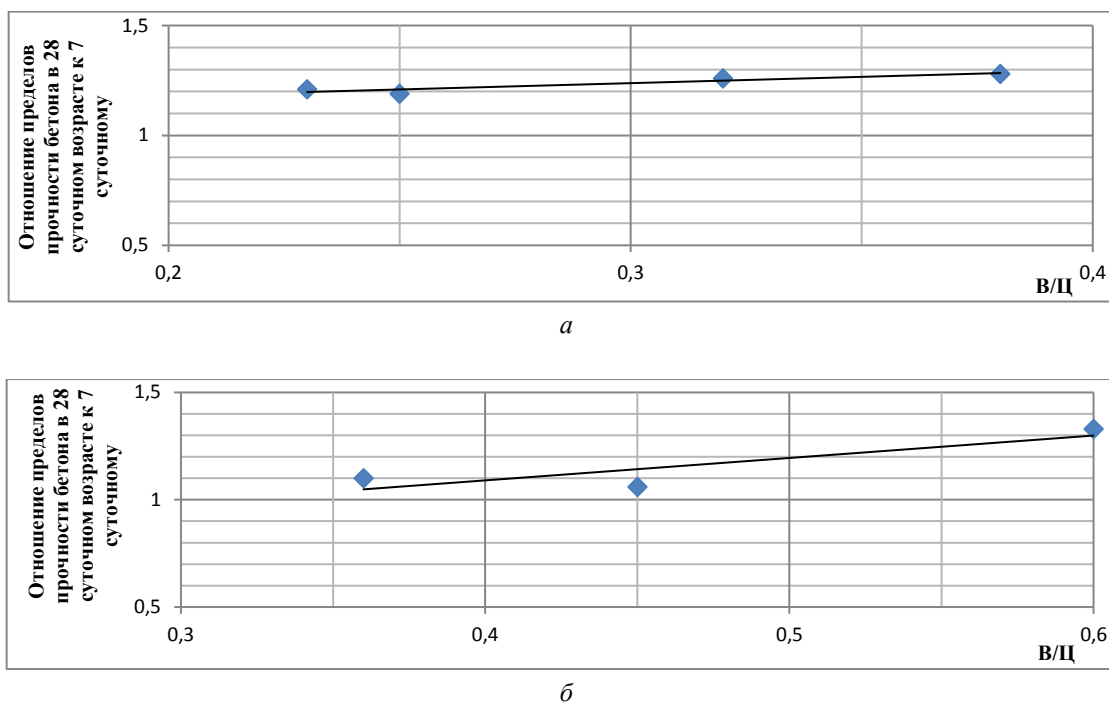


Рис. 6. Зависимость коэффициента K_7 цементного камня (а) бетонов с крупным заполнителем (б) от водоцементного отношения

Выводы.

– Отношение марочной прочности к 1 суточной плохо коррелируется ни со всеми рассмотренными показателями, определяющими состав цементной системы. С увеличением сроков твердения корреляция между содержанием алита, C_3A , гипса и водоцементного отношения усиливается.

– Установленные А. В. Волженским соотношения пределов прочности цементного камня в различные сроки твердения относятся к стандартным образцам состава 1:3, изготовленным согласно нормативно-технических требований В тяжелых бетонах с крупным заполнителем соотношение пределов прочности в различные сроки твердения на 0,2–0,3 ниже, чем у стандартных образцов.

– Содержание C_3A в пределах 4–6 % и алита – 50–60 % слабо влияет на численное значение K_3 и K_7 и находятся в пределах указанных Волженским. Приведенное Волженским значение $2,86 = \sigma_{28}/\sigma_3$ относится к цементам, содержащим 5–7 % C_3A , при более высоком содержании этого минерала K_3 снижается до 2,5–2,2. Содержание C_3A в пределах от 3,5 до 14 % незначительно влияет на численное значение K_7 . Указанная Волженским величина $K_3 = 2,86$ наблюдается при содержании алита в пределах 55–60 %. При меньшем содержании алита эта величина снижается до 2,2–2,3. Величина $K_7 = 1,5$ наблюдается в цементах с содержанием C_3S 45–55 %. При более высоком содержании алита эта величина возрастает до 1,7.

– Содержание в цементах гипса в пределах 1–5 % в пересчете на SO_3 незначительно влияет на σ_{28}/σ_7 у цементов с нормальным количеством трехкальцевого алюмината ($C_3A = 6–10$ %) и снижает ее на 0,2–0,3 у малоалюминатных цементов. σ_{28}/σ_7 равно 1,5–1,6 при содержании SO_3 , равном 2,5–4 %. Отношение σ_{28}/σ_3 при оптимальном содержании гипса равном 2,7–4 %, находится в пределах 2,7–2,8.

– Удельная поверхность цементов в пределах 250–600 м²/кг слабо влияет на отношение σ_{28}/σ_7 .

– Повышение водоцементного отношения на 0,2 – 0,4 увеличивает коэффициент K на 0,2–0,3.

– Практическое использование изложенных закономерностей позволит повысить точность прогноза марки цемента по прочности (классу прочности) по результатам краткосрочных испытаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: Изд-во АСВ, 2003. 500 с.
2. Лукьянов И.А., Москвин В.М. Ускоренное определение марки бетона. М.: Изд-во Госстройиздат, 1956. 245 с.
3. Коган М.З. Сравнение свойств цементов по линиям прогнозирования // Бетон и железобетон. 1984. №2. С. 18–20.
4. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. М.: Изд-во Стройиздат, 1986. 464 с.

5. Калинин Б.А. Прогнозирование марочной прочности бетона по кинетике его твердения в разном возрасте // Бетон и железобетон. 1975. №3. С. 11–13.

6. Несветаев Г.В., Жильникова Т.Н. Прогнозирование марочной прочности бетона по кинетике твердения в разный период // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2003. №5. С. 344–347.

7. Бабушкин В.И., Шеин В.И. Прогнозирование свойств цементного камня и бетона // Цемент. 1980. №12. С. 15–18.

8. Бердов Г.И. Метод прогноза активности цемента и бетона // Бетон и железобетон. 1987. №12. С. 4–5.

9. Лагойда А.В. Прогнозирование прочности бетона при повышенных температурах // Бетон и железобетон. 1994. №4. С. 11–13.

10. Соловьева В.Я. Оценка и прогнозирование прочности материалов // Цемент. 1996. №3. С. 38–40.

11. Попович С. Соотношение различных показателей кинетики гидратации портландцемен-

та // Пятый Международный конгресс по химии цемента. М.: Изд-во Стройиздат, 1973. С. 283–285.

12. Ли Ф.М. Химия цемента и бетона / Пер. с англ. М.: Изд-во Стройиздат, 1964. 646 с.

13. Лесовик В.С., Погорелов С.А., Строкова В.В. Гипсовые вяжущие материалы и изделия. Белгород: Изд-во БГТУ, 2004. 224 с.

14. Рахимбаев Ш.М., Оноприенко Н.Н., Поспелова Е.А. Вяжущие вещества. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. 86 с.

15. Рамачандран В.С. Наука о бетоне. М.: Изд-во Стройиздат, 1986. 545 с.

16. Химия цемента. Под ред. Х. Ф. Тейлора. М.: Изд-во Стройиздат, 1986. 450 с.

17. Егоров Г.В. Сопоставление прочностных показателей с изобарно-изотермическими потенциалами гидратации портландцементных клинкеров // Цемент. 1987. №8. С. 10–11.

Информация об авторах

Рахимбаев Шарк Матрасулович, доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

E-mail: nich@rprog.belgorod.ru

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

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

Черникова Ирина Сергеевна, студент бакалавр, кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

E-mail: chernikova_is@edu.bstu.ru

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

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

Поступила в январе 2018 г.

© Рахимбаев Ш.М., Черникова И.С., 2018

S.M. Rakhimbaev, I.S. Chernikova

THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE RATIO OF TENSILE STRENGTH OF CEMENT SYSTEMS AT VARIOUS SETTING TIMES

The influence of different technological factors on the ratio of the ultimate tensile strength of cement stone and concrete at various terms of hardening has been considered. It has been determined that the alteration of the content of the most important clinker minerals in cement, of gypsum content, of the specific surface area value or of the water-cement relation within certain limits has little effect on the kinetic constants of cement systems hardening. The reduction of the standard-shaped samples' sections from 4×4 to 2×2 cm² of size by 20–25 % reduces the ratio of the brand strength to the 7-days strength. The limits of the optimal content of clinker minerals, such as C₃S and C₃A, which provide these values of physical and mechanical properties of cement stone, have been determined. On the basis of the patterns determined in this paper, the amendments to calculation factors of the 3-days and 7-days strength to the brand strength have been proposed.

Keywords: ultimate strength, hardening kinetics, brand strength.

REFERENCES

1. Bazhenov Yu.M. Technology of concrete. Moscow: Publishing House of the ASV, 2003. 500 p.

2. Lukyanov IA, Moskvina VM Accelerated definition of the brand of concrete. Moscow: Publishing house Gosstroyizdat, 1956. 245 p.

3. Kogan M.Z. Comparison of the properties of cements along the forecasting lines // Concrete and reinforced concrete, 1984, no. 2, pp. 18–20.
4. Volzhensky A.V. Mineral knitting substances. Moscow: Izd-vo Stroyizdat, 1986, 464 p.
5. Kalinkin B.A. Prediction of the brand strength of concrete in the kinetics of its hardening at different ages // Concrete and reinforced concrete, 1975, no. 3, pp. 11–13.
6. Nesvetaev G.V., Zhilnikova T.N. Prognostication vintage strength of concrete on the kinetics of hardening in different periods // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2003, no. 5, pp. 344–347.
7. Babushkin V.I., Shein V.I. Prediction of the properties of cement stone and concrete // Cement. 1980, no. 12, pp. 15–18.
8. Berdov G.I. Method of forecasting the activity of cement and concrete // Concrete and reinforced concrete, 1987, no. 12, pp. 4–5.
9. Lagoida A.V. Forecasting the strength of concrete at elevated temperatures // Concrete and reinforced concrete, 1994, no. 4, pp. 11–13.
10. Soloveva V.Ya. Evaluation and prediction of strength of materials // Cement, 1996, no. 3, pp. 38–40.
11. Popovich S. The ratio of various indicators of the kinetics of portland cement hydration // The Fifth International Congress on Cement Chemistry. Moscow: Publishing house Srtioizdat, 1973, pp. 283–285.
12. Lee F.M. Chemistry of cement and concrete / Trans. with English. Moscow: Izd-vo Stroyizdat, 1964. 646 p.
13. Lesovik V.S., Pogorelov S.A., Strokova V.V. Gypsum binders and products. Belgorod: BSTU Publishing House, 2004. 224 p.
14. Rakhimbayev Sh.M., Onoprienko N.N., Pospelova E.A. Astringents. Belgorod: BSTU Publishing House, 2015. 86 p.
15. Ramachandran V.S. The science of concrete. Moscow: Izd-vo Stroyizdat, 1986. 545 p.
16. Chemistry of cement. Ed. H. F. Taylor. Moscow: Izd-vo Stroyizdat, 1986. 450 p.
17. Egorov G.V. Comparison of strength indicators with isobaric-isothermal potentials of portland cement clinker hydration // Cement, 1987, no. 8, pp. 10–11.

Information about the authors

Shark M. Rakhimbaev, PhD, Professor.

E-mail: nich@rprog.belgorod.ru

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

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

Chernikova I. Sergeevna, Bachelor student.

E-mail: chernikova_is@edu.bstu.ru

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

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

Received in January 2018

Кочергин Ю.С., д-р техн. наук, проф.,
Золотарева В.В., канд. техн. наук, доц.
Донецкий национальный университет экономики и торговли
имени Михаила Туган-Барановского

СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ДИГЛИЦИДИЛОВЫХ ЭФИРОВ ДИФЕНИЛОЛМЕТАНА

viktoria802@gmail.com

Проведены системные исследования комплекса деформационно-прочностных, релаксационных и адгезионных свойств полимерных материалов на основе диглицидиловых эфиров дифенилолметана. Выявлен высокий уровень прочности при растяжении, деформации при разрыве и работы разрушения эпоксидных композитов, особенно при отрицательных температурах. Установлена зависимость деформационно-прочностных и адгезионных свойств полимеров от концентрации эпоксидных групп в смоле, химической природы отвердителя и температурно-временного режима отверждения.

Ключевые слова: диглицидиловые эфиры дифенилолметана, эпоксидная смола, режим отверждения, деформационно-прочностные, адгезионные свойства, релаксационные переходы.

Введение. Эпоксидные смолы (ЭС), благодаря сочетанию высоких механических свойств и адгезии ко многим субстратам, представляют особый класс материалов с очень широкими возможностями их применения. В настоящее время большинство производимых ЭС получают путем химического взаимодействия эпихлоргидрина (ЭХГ) с дифенилолпропаном (другие названия бисфенол А и диан). Они отличаются сравнительно высокой вязкостью, что затрудняет работу с ними при изготовлении слоистых пластиков, пропиточных составов и других изделий. Для снижения вязкости требуется введение в состав композиций активных разбавителей или растворителей, характеризующихся повышенной токсичностью и летучестью. Для преодоления этого недостатка были синтезированы ЭС на основе дифенилолметана (иначе «бисфенол F»). Они отличаются меньшей вязкостью и лучшей текучестью, что исключает применение разбавителей. Производство этих смол осуществляется мировыми лидерами – компаниями «Dow Epoxy», «Resolution Europe BV», «Nan Ya Plastics Corporation». Отечественные смолы на основе бисфенола F синтезированы только в последнее время. Их свойства до настоящего времени изучены явно недостаточно.

В связи с этим целью настоящей работы являлось комплексное исследование полимеров на основе эпоксидированных производных дифенилолметана.

Методология. В работе использовали следующие методы исследования. Относительную реакционную способность глицидиловых эфиров ДФМ оценивали по времени гелеобразования ($\tau_{\text{гел}}$) методом сканирующей микрокалориметрии и с помощью торсионного маятника [1].

В качестве отверждающих агентов использовали триэтилентетраминометилфенол (продукт УП-583Т) и триэтилентетрамин (ТЭТА), которые вводили в стехиометрическом соотношении. Отверждение композиций проводили по двум режимам: холодное отверждение (20 ± 2) °C/240 ч (режим I) и отверждение с термообработкой (20 ± 2) °C/24 ч + 120 °C/3 ч (режим II).

Величину $\tau_{\text{гел}}$ определяли визуальным методом с точностью ± 1 мин. в стеклянной пробирке, помещенной в воздушный термостат типа ТК-400, в котором заданная температура поддерживалась с точностью $\pm 0,5$ °C. Энергию активации (E_a) процесса отверждения оценивали по углу наклона кривой зависимости $\lg(1/\tau_{\text{гел}}) - (1/T)$. Микрокалориметрические исследования проводили на калориметре типа Кальве при скорости повышения температуры 0,7 град/мин и навеске образца $\sim 0,5$ г. При этом в качестве эталона использовали силиконовую жидкость. Особенности отверждения композиций в тонком слое на поверхности стеклянных нитей изучали с помощью торсионного маятника. Две стеклянные нити (стеклоткань Т-80) пропитывали 50 %-ным раствором композиции в ацетоне. Образцы длиной 0,11 м помещали в печь маятника и при скорости повышения температуры 1,2 град/мин определяли относительное изменение жесткости (G_i) пропитанной нити в процессе отверждения реакционноспособной композиции.

Разрушающее напряжение при растяжении (σ_p) и относительное удлинение при разрыве (ϵ_p) пленочных образцов толщиной 100-150 мкм. измеряли на динамометре типа Поляни. Модуль упругости при растяжении (E_b) рассчитывали по углу наклона начального участка кривой растяжений, работу разрушения (A_p) – по площади

под кривой нагрузка – удлинение. Температуру стеклования (T_c) определяли при постоянном растягивающем напряжении. 1,5 МПа по известной методике [2]. Сопротивление сдвигу ($\tau_{сд}$) клеевых соединений оценивали по ГОСТ 14759-69, сопротивление отрыву ($\sigma_{отр}$) – по ГОСТ 14760-69. Степень отверждения композиций определяли методом экстрагирования в ацетоне в аппарате Сокслета. Водопоглощение оценивали по приращению массы пленочных образцов после их выдержки в воде в течение 24 ч. Динамический модуль сдвига (G') и тангенс угла механический потерь ($\tan \delta$) образцов размером 35x10x0,5 мм измеряли с помощью обратного крутильного маятника типа МК-1 в интервале от минус 100 до плюс 120 °С.

Основная часть. Исходный дифенилолметан (ДФМ) представляет собой смесь кристаллических *o,o'*-, *o,n'*- и *n,n'*-изомеров. Глицидиловые эфиры индивидуальных изомеров ДФМ

синтезировали путем их взаимодействия с ЭХГ с последующим омылением образующихся хлорэфиров едким натром. Характерной особенностью этих эфиров является их способность кристаллизоваться. Полученные глицидиловые эфиры способны к кристаллизации. Эфиры *o,n'*- и *n,n'*-изомеров ДФМ кристаллизуются в течение 1 сут., а эфиры *o,o'*-изомера – в течение 1 мес. Специальными исследованиями было установлено, что жидкие, не кристаллизующиеся в течение длительного времени смолы можно получать путем смешения индивидуальных глицидиловых эфиров ДФМ, а также синтезом эпоксидных олигомеров из смеси *o,n'*-, *o,o'*-, и *n,n'*-изомеров ДФМ, взятых в том же массовом соотношении, что и глицидиловые производные 49:13:38 соответственно. В диглицидиловых эфирах дифенилолметана содержится почти теоретическое количество эпоксидных групп (табл. 1).

Таблица 1

Свойства диглицидиловых эфиров ДФМ

Глицидиловый эфир ДФМ	Выход глицидиловых эфиров от ДФМ, %	Содержание эпоксидных групп*, %	$T_{пл}$, °С
<i>o,o'</i> -	150,3	27,3	85...86
<i>o,n'</i> -	150,5	27,5	52...54
<i>n,n'</i> -	150,0	27,5	55...57

*Вычислено: 27,6.

Специально проведенные исследования позволили установить область жидкого состояния смеси диглицидиловых эфиров ДФМ в треугольнике Гиббса, где осями координат состав-состав служат стороны равностороннего треугольника. Область жидкого состояния в треугольнике трехкомпонентной системы ограничена кривой, и точки, соответствующие составу изомеров [3], расположены в центре этой области.

Эпоксидные смолы на основе исходных изомеров ДФМ получали их взаимодействием с ЭХГ в присутствии хлористого калия и воды при 75-80 °С с последующим дегидрохлорированием хлоргидриновых эфиров ДФМ концентрированным водным раствором едкого натрия. В результате при различном соотношении ДФМ: ЭХГ синтезированы смолы с разным содержанием эпоксидных групп (табл. 2).

Таблица 2

Свойства эпоксидных смол на основе ДФМ

Показатели	ЭДФМ-18	ЭДФМ-22	ЭДФМ-25
Содержание хлора, %	0,35	0,20	0,18
Содержание эпоксидных групп, %	18,2	22,2	24,9
Динамическая вязкость при 25 °С, Па·с	24,5	15,4	4,1

Установлено, что зависимость $\tau_{гел}$ от температуры для всех исследованных композиций имеет практически линейный характер и может быть с достаточно высокой точностью описана соотношением:

$$\tau_{гел}=10^{(A-B \cdot T)},$$

где T – абсолютная температура, A и B – постоянные.

Расчет с помощью этого соотношения значений A и B (табл. 3) позволяет сопоставить относительную реакционную способность различ-

ных композиций при любой температуре. Как видно из табл.3, реакционная способность композиций изменяется в зависимости от температуры. Так, при 20°С время желатинизации композиции на основе смолы ЭДФМ-24 с отвердителем УП-583Т в 1,85 раза ниже, а при 60 °С, наоборот, в 2,33 раза выше, чем у композиции на основе смолы ЭДФМ-22 с тем же отвердителем. Тип отвердителя также в ряде случаев влияет на реакционную способность композиции.

Относительную реакционную способность эпоксидных композиций можно оценить не

только по величинам $\tau_{\text{гел}}$ и E_a , но и по значениям параметров A и B . Наибольший интерес с практической точки зрения представляют композиции с достаточно высокими значениями B (относительно величины A), поскольку такие

композиции обладают длительной жизнеспособностью при температуре переработки 20–60 °С, а при большей температуре процесс их отверждения протекает с максимальной скоростью.

Таблица 3

Реакционная способность эпоксидных смол

Марка смол	E_a , кДж/моль	A	$B \cdot 10^4$	$\tau_{\text{гел}}$, мин	
				при 20 °С	при 60 °С
ЭДФМ-18	62,85	11,43	320	113	6
	67,04	12,92	370	120	4
ЭДФМ-22	82,12	14,73	430	135	3
	67,46	13,14	376	133	4
ЭДФМ-24	48,60	9,19	250	73	7
	75,00	14,43	417	163	4

Примечание: числитель – отвердитель УП-583Т, знаменатель – ТЭТА

Микрокалориметрические исследования показали (рис. 1), что отверждение смолы ЭДФМ-24 и ее эпоксидианового аналога ЭД-24 в присутствии ТЭТА сопровождается выделением практически одинакового количества тепла (Q), тогда как при использовании отвердителя УП-583Т экзотермический эффект реакции отверждения композиции на основе смолы ЭДФМ-24 значительно выше. С уменьшением содержания эпоксидных групп в смолах ЭДФМ величина Q снижается независимо от типа отвердителя. При этом для одной и той же смолы значение Q существенно возрастает при отверждении в присутствии ТЭТА. Симбатно с величиной Q изменяется и G_i пропитанной нити в процессе отверждения композиции. Абсолютное увеличение G_i после достижения точки гелеобразования пропорционально содержанию эпоксидных групп в смоле и больше у композиций, отверждаемых ТЭТА, у которых значения Q выше.

Как следует из данных табл. 4, при увеличении содержания эпоксидных групп степень отверждения полимеров снижается, причем в большей степени для образцов, подвергнутых дополнительному прогреву при 120 °С. В то же

время параметры σ_p , ϵ_p , E , $\tau_{\text{сд}}$, $\sigma_{\text{отр}}$ вначале резко возрастают при увеличении в смоле концентрации эпоксидных групп (переход от смолы ЭДФМ-18 до смолы ЭДФМ-22), а затем несколько уменьшается для смолы ЭДФМ-24.

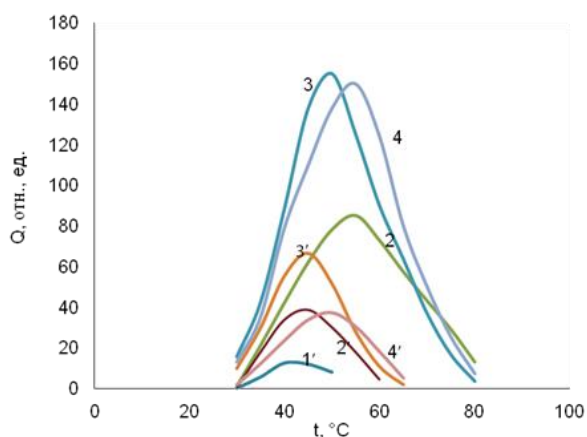


Рис. 1. Зависимость скорости тепловыделения от температуры при отверждении композиций на основе смол ЭДФМ-18 (1, 1'), ЭДФМ-22 (2, 2'), ЭДФМ-24 (3, 3') и ЭД-24 (4, 4') в присутствии отвердителей ТЭТА (1 – 4) и УП-583Т (1' – 4').

Таблица 4

Свойства полимеров на основе ДФМ

Показатель	Марка смолы		
	ЭДФМ-18	ЭДФМ-22	ЭДФМ-24
Степень отверждения, %	80,6/97,3	78,5/91,4	77,2/89,3
Плотность, кг/м ³	1190	1220	1210
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	27,7/84,4	67,4/89,0	64,0/73,1
Относительное удлинение при разрыве, %	3,1/8,2	10,6/10,2	8,4/10,6
Модуль упругости при растяжении, ГПа	1,18/1,67	1,33/1,36	1,20/1,39
Температура стеклования, °С	54/93	56/111	52/112
Соппротивление сдвигу, МПа	7,9/21,8	19,6/21,4	20,3/22,1
Соппротивление отрыву, МПа	21,8	44,6	35,5
Водопоглощение, %	1,1/2,0	1,1/2,1	1,2/2,3

Примечания: 1. Отвердитель – ТЭТА. 2. До черты – режим отверждения I; после черты – отверждение по режиму II.

Эпоксиполимеры на основе смол ЭДФМ характеризуются хорошей работоспособностью при низких температурах испытания (табл. 5). Обращают на себя внимание высокие значения как прочности, так и деформации при разрыве

при отрицательных температурах. При этом эффект пропорционален содержанию эпоксидных групп в смоле. Так, при температуре -120 °С параметр σ_p для смолы ЭДФМ-24 почти в 2 раза больше, чем для смолы ЭДФМ-18.

Таблица 5

Зависимость свойств эпоксидных полимеров от температуры испытания*

Параметры	Марка смолы	Температура испытания, °С				
		-120	-60	20	80	150
σ_p , МПа	ЭДФМ-18	54,5	58,6	54,9	2,9	0,9
	ЭДФМ-22	91,0	72,6	63,2	4,9	1,7
	ЭДФМ-24	105,6	89,1	64,2	8,9	1,8
ϵ_p , %	ЭДФМ-18	4,0	4,2	7,1	84,4	16,7
	ЭДФМ-22	4,8	5,2	6,6	8	12,1
	ЭДФМ-24	6,2	6,4	6,5	47,9	14,8
E, ГПа	ЭДФМ-18	2,22	2,25	1,15	0,01	0,005
	ЭДФМ-22	2,60	2,18	1,53	0,05	0,007
	ЭДФМ-24	2,01	1,78	1,56	0,46	0,012
A_p , кДж/м ²	ЭДФМ-18	1,53	1,70	2,72	1,71	0,11
	ЭДФ-22	3,10	2,60	2,78	3,05	0,15
	ЭДФМ-24	4,51	3,99	2,90	2,98	0,20

*Отвердитель УП-583 Т, режим отверждения II.

Таблица 6

Влияние соотношения смолы ЭДФМ-22 и ТЭТА на свойства эпоксиполимеров

Показатель	Соотношение амин : эпоксид				
	1:2	1:1,5	1:1	1,5:1	2:1
Плотность, кг/м ³	1228/1231	-	1222/1222	-	1212/1210
σ_p , МПа	48/48	53/86	67/88	52/83	47/57
ϵ_p , %	6,6/11,5	4,5/8,1	10,6/10,2	8,5/10,5	5,5/9,5
E, ГПа	1,35/1,44	1,66/1,77	1,33/1,36	0,99/1,38	1,00/1,42
$\tau_{сд}$, МПа	12,8/22,8	15,3/19,7	20,0/21,4	22,0/19,5	22,3/16,7
T_c , °С	46/90	50/117	58/111	57/98	47/66
G' , МПа, при температуре, °С					
- 100	1700/1820	-	1780/2240	-	1860/1580
- 50	1520/1520	-	1380/1820	-	1380/1050
20	1350/1260	-	1120/1380	-	1100/710
70	38/1000	-	19,5/1000	-	90/574
120	28,2/21,4	-	16,6/33,8	-	37,2/26,3
$tg\delta_\beta$	0,020/0,034	-	0,048/0,046	-	0,056/0,069
T_β , °С	-69/-64	-	-61/-49	-	-55/-48
$tg\delta_\alpha$	0,68/0,66	-	0,87/0,68	-	0,66/0,64
T_α , °С	57/97	-	62/113	-	65/82

Примечание: До черты – режим отверждения I, после черты – режим II

При варьировании соотношения эпоксиполимера и отвердителя деформационно-прочностные, адгезионные и релаксационные характеристики полимеров изменяются (табл. 6). При этом максимальные значения показателей не всегда достигаются при стехиометрическом содержании отвердителя. При нагреве композиций σ_p , ϵ_p и T_c существенно возрастают, особенно при недостаточном количестве отвердителя, что связано с повышением плотности поперечной сшивки за счет взаимодействия избыточных оксиановых циклов с гидроксильными груп-

пами смолы [4]. Температура, при которой появляется вторичный релаксационный переход (T_β), и максимальное значение $tg\delta$ в области β -перехода ($tg\delta_\beta$) возрастают с увеличением содержания отвердителя при отверждении композиций как при комнатной, так и при повышенной температуре. Между тем с общепринятой точки зрения интенсивность β -релаксации, обусловленной размораживанием подвижности оксифирных фрагментов эпоксиполимера, должна снижаться с увеличением количества отверждающего агента, поскольку при этом в компо-

зиции уменьшается содержание эпоксидной смолы, а, следовательно, и для оксифирных фрагментов. По-видимому, проявление релаксационного β -перехода в исследуемой композиции обусловлено перемещением образующихся в процессе отверждения фрагментов молекулярной сетки, в состав которых входят молекулы отверждающего агента.

В случае α -перехода, обусловленного размораживанием сегментальной подвижности всех структурных элементов полимера, температура максимума $\text{tg}\delta_\alpha$ несколько возрастает с увеличением содержания отвердителя только в композициях, отверждаемых при комнатной температуре. У образцов, подвергнутых термообработке, температура максимума $\text{tg}\delta_\alpha$ закономерно снижается при избыточном или недостаточном содержании отвердителя. Величина $\text{tg}\delta_\alpha$ уменьшается при отклонении соотношения компонентов от стехиометрического независимо от режима отверждения. Значения G' мало зависят от соотношения компонентов композиции и снижаются с повышением температуры, причем в большей степени при T_c .

Выводы. Таким образом, результаты проведенного исследования свидетельствуют о возможности применения диглицидиловых эфиров дифенилметана для получения эпоксидных композиционных материалов с улучшенным комплексом свойств. Установлена зависимость

деформационно-прочностных и адгезионных свойств полимеров от концентрации эпоксидных групп в смоле, химической природы отвердителя и температурно-временного режима отверждения. Выявлен высокий уровень прочности при растяжении, деформации при разрыве и работы разрушения эпоксидных композитов на основе дифенилметана при отрицательных температурах, что свидетельствует об их хорошей морозостойкости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Паклер М.К., Парамонов Ю.М., Яровая Е.П. и др. Физико-химическая характеристика эпоксифенольных олигомеров и полимеров на их основе // Пластические массы. 1984. № 5. С. 34–37.
2. Кочергин Ю.С., Аскадский А.А., Слонимский Г.Л. и др. Исследование ползучести линейных и сетчатых полимеров на основе полиарилатов и эпоксидных полимеров // Высокомолекулярные соединения. 1978. Т. А 20. № 4. С.880–887.
3. https://studopedia.ru/13_124906_treugolnik-gibbsa.html.
4. Gupta V.B., Drzal L.T., Lee C.Y.C., Rich M.J. The temperature dependence of some mechanical properties of a cured epoxy resin system // Polymer Eng. Sci. 1985. Vol. 25. № 13. Pp. 812–823.

Информация об авторах

Кочергин Юрий Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры общинженерных дисциплин.

E-mail: ivano.tanya2011@yandex.ua

Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского.

Украина, 83117, Донецк, ул. Щорса, 31

Золотарева Виктория Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров.

E-mail: viktorias802@gmail.com

Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского.

Украина, 83117, Донецк, ул. Щорса, 31

Поступила в февраль 2018 г.

© Кочергин Ю.С., Золотарева В.В., 2018

Y.S. Kochergin, V.V. Zolotareva

PROPERTIES OF COMPOSITES ON THE BASIS OF DIGLYCIDYL ETHERS OF DIPHENYLLOMETHANE

A systematic study of the complex of deformation and strength, relaxation and adhesion properties of polymeric materials based on diglycidyl esters of diphenylolmetane was carried out. A high level of tensile strength, rupture strain and fracture work of epoxy composites, especially at negative temperatures, was discovered. The dependence of deformation-strength and adhesion properties of polymers on epoxy groups' concentration in the resin, the chemical nature of a hardener and the temperature-time mode of curing was determined.

Keywords: diglycidyl diphenylolmetane esters, epoxy resin, cure mode, deformation-strength adhesion properties, relaxation transitions.

REFERENCES

1. Pacter M.K., Paramonov Yu.M., Yarovoi E.P. and others. Physico-chemical characteristics of epoxy-phenolic oligomers and polymers based on them // Plastic masses, 1984, no. 5, pp. 34-37.
2. Kochergin Yu.S., Askadsky A.A., Slonimsky G.L. et al. Investigation of creep of linear and cross-linked polymers based on polyarylates and epoxy polymers // High-molecular compounds, 1978, T. A 20, no. 4, pp. 880-887.
3. https://studopedia.ru/13_124906_treugolnik-gibbsa.html.
4. Gupta V.B., Drzal L.T., Lee C.Y.C., Rich M.J. The temperature dependence of some mechanical properties of a cured epoxy resin system // Polymer Eng. Sci, 1985, vol. 25, no 13, pp. 812-823.

Information about the author

Yuri S. Kochergin, PhD, Professor.

E-mail: ivano.tanya2011@yandex.ua

Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky.
Ukraine, 83117, Donetsk, st. Shchorsa 31.

Viktoriya V. Zolotareva, PhD, Assistant professor.

E-mail: viktoria802@gmail.com

Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky.
Ukraine, 83117, Donetsk, st. Shchorsa 31

Received in February 2018

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.12737/article_5ac24a2e8f2e80.74216269

Бешевли О.Б., аспирант,
Дуюн Т.А., д-р техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ФРЕЗЕРОВАНИЯ БАББИТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАНОЧНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ПОДШИПНИКОВ

oleg-beshevli@yandex.ru

Представлена методика оптимизации технологических режимов фрезерования баббита в условиях восстановительной обработки опорной поверхности скольжения крупногабаритных подшипников с использованием специального станочного модуля. Цель оптимизации – повышение производительности при обеспечении заданного качества обрабатываемой поверхности. Оптимизируемыми параметрами являются подача на зуб фрезы и скорость резания, выраженная через частоту вращения фрезы, оказывающие наибольшее влияние на время обработки и параметры качества поверхности. Использован метод линейного программирования, в качестве технических ограничений приняты: обеспечиваемая шероховатость поверхности, заданная стойкость инструмента, мощность привода главного движения, время обработки, соответствующее периоду стойкости, допустимая температура резания. Оптимизация выполняется в два этапа: на первом решается система неравенств, а на втором – полученные значения корректируются.

Ключевые слова: оптимизация режимов, фрезерование баббита, специальный станочный модуль, крупногабаритные подшипники скольжения, метод линейного программирования.

Введение. Крупногабаритные подшипники скольжения нашли широкое применение в строительной и горнорудной промышленности в составе таких агрегатов, как мельницы самоизмельчения, мельницы полусамозмельчения, сушильные барабаны, бутары и прочее крупногабаритное вращающееся оборудование.

Традиционная технология ремонтной обработки крупногабаритных подшипников скольжения, выполняемая, как правило, по месту эксплуатации агрегата, имеет ряд существенных недостатков, основным из которых является применение в качестве окончательного метода обработки опорной поверхности скольжения ручного шабрения, имеющего низкую производительность, высокую себестоимость, нестабильное качество, зависящее от квалификации исполнителя.

Для повышения эффективности обработки опорной поверхности скольжения крупногабаритных подшипников разработан специальный станочный модуль (рис. 1) [1–4]. Особенностью предлагаемого станочного модуля является перемещение инструмента по радиальной поверхности сегмента крупногабаритного подшипника скольжения. Кинематически движение продольной подачи реализовано с использованием четырехзвенного кривошипно-кулисного механизма. Вращательное движение кривошипу пе-

редается от электродвигателя через редуктор. Кулиса и коромысло преобразуют вращательное движение кривошипа в качательное движение стойки коромысла, на которой расположен режущий инструмент. За один полный оборот кривошипа режущий инструмент совершает один рабочий и один холостой ход, возвращаясь в исходное положение. Движение поперечной подачи осуществляется в конце полного цикла работы механизма – рабочего и холостого хода. Для отвода инструмента и выполнения поперечной подачи использованы шаговые электродвигатели, которые включаются при пересечении фрезы с лучом лазерных датчиков. Главное движение – вращение фрезы вокруг собственной оси осуществляется асинхронным электродвигателем.

Выполнение опорных элементов в виде специальных проточек, соответствующих проточкам подшипника скольжения позволяет совместить ось сектора подшипника скольжения и ось вращения качающейся рамы, что обеспечивает точность обработки.

Методика. Для эффективного использования предложенного оборудования необходимо оптимизировать технологические параметры с целью обеспечения его максимальной производительности при обеспечении заданных параметров качества обработки [5].

В качестве оптимизируемых параметров примем подачу на зуб и скорость резания, так как именно эти параметры оказывают наибольшее влияние на производительность обработки, кроме того, подача оказывает существенное влияние на шероховатость поверхности и мощность резания, а скорость резания определяет стойкость инструмента. На рис. 2 представлена схема структурных элементов оптимизации. Входными параметрами будут являться условия резания (марка обрабатываемого материала, диаметр фрезы, количество зубьев, ширина фрезерования, глубина резания) и конструктивные параметры обрабатываемого сегмента подшипника (диаметр и ширина), оказывающие влияние на общую длину обработки на одном переходе. В качестве технических ограничений приняты: допустимая температура резания, заданная шероховатость, которую необходимо обеспечить на выполняемом переходе, мощность привода главного движения, заданная стойкость инструмента. Выходные параметры – время обработки,

эффективная мощность резания, фактическая температура резания.

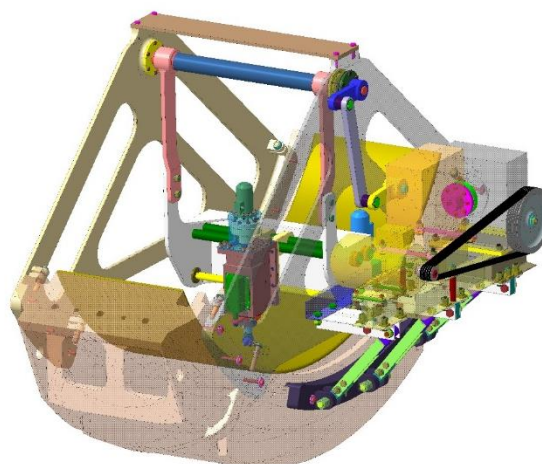


Рис. 1. Общий вид специального станочного модуля для обработки крупногабаритных подшипников

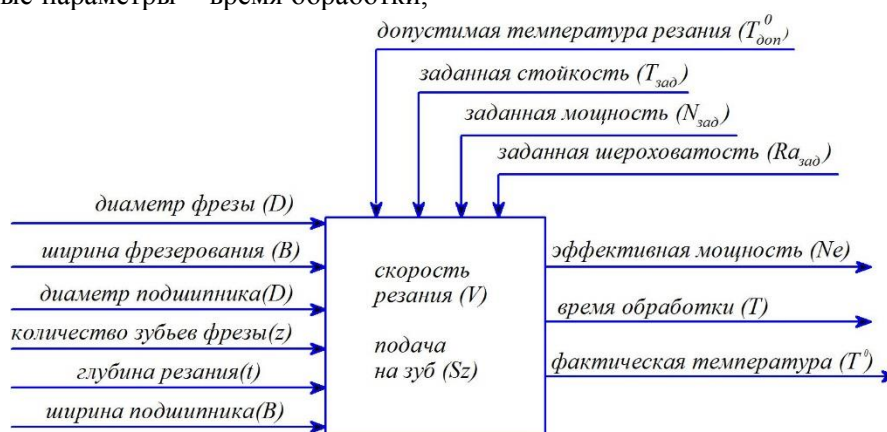


Рис. 2. Схема структурных элементов оптимизации

На рис. 3 представлен оптимизационный алгоритм, состоящий из двух основных этапов. После того, как определены исходные данные и заданы технологические ограничения, на первом этапе выполняется решение основной оптимизационной задачи при установленных ограничениях, без учета ограничения по шероховатости поверхности. В качестве ограничений выступают: заданная стойкость инструмента, допустимая температура и мощность резания. В качестве выходных параметров получаем значения оптимизируемых режимов, обеспечивающих установленные ограничения.

На втором этапе выполняется корректировка полученных значений с учетом ограничения по шероховатости поверхности, фиксируется полученная при оптимизации скорость резания, так как она не оказывает существенного влияния на величину шероховатости. Требуемое значение шероховатости поверхности обеспечивается

за счет корректировки подачи методом итерационного приближения. Второй этап необходим, так как функция шероховатости поверхности от технологических параметров, является функцией второго порядка, имеет квадратичные и парные члены, поэтому сложно линейризуется, в отличие от других ограничений, заданных степенными функциями.

Основная часть. Для выполнения оптимизации необходимо установить математические зависимости, связывающие оптимизируемые параметры с целевой функцией и системой технологических ограничений.

Ограничение по мощности резания устанавливает связь между мощностью, затрачиваемой на процесс резания, и оптимизируемыми параметрами (подачей и скоростью резания). Математическое выражение мощности привода главного движения при фрезеровании имеет вид:

$$Ne = \frac{Pz \cdot V}{1020 \cdot 60},$$

(1)

где Pz – тангенциальная составляющая силы резания, Н, V – скорость резания, м/мин.

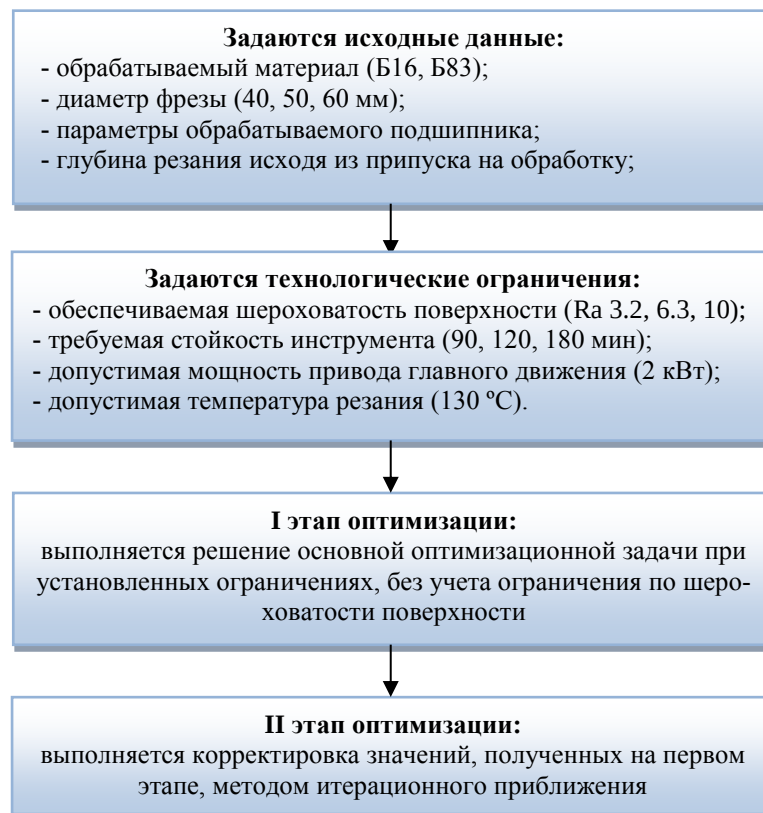


Рис. 3. Оптимизационный алгоритм

В качестве функции тангенциальной составляющей силы резания принята эмпирическая зависимость, полученная при проведении экспериментальных исследований:

$$Pz = 336 \frac{t^{0,85} \cdot Sz^{0,75} \cdot B^1}{n^{0,1} \cdot D^{0,8}}, \quad (2)$$

где t – глубина резания, мм; Sz – подача на зуб фрезы, мм/зуб; B – ширина фрезерования, мм; n – частота вращения фрезы, мм/об; D – диаметр фрезы, мм.

После преобразования выражения (1) с учетом (2), выразив скорость резания через частоту вращения фрезы и выполнив перенос оптимизируемых параметров в левую часть, получаем:

$$Sz^{0,75} \cdot n^{0,9} = \frac{Ne}{1,72 \cdot 10^{-5} \cdot t^{0,85} \cdot B \cdot D^{0,2}}. \quad (3)$$

Уравнение (3) приводим к линейному виду логарифмированием, умножая подачу на 100 для получения величин одного порядка:

$$0,75 \ln(100 \cdot Sz) + 0,9 \ln n = \ln \left(\frac{Ne \cdot 100^{0,75}}{1,72 \cdot 10^{-5} \cdot t^{0,85} \cdot B \cdot D^{0,2}} \right). \quad (4)$$

Вводим обозначения:

$$\begin{aligned} \ln(100Sz) &= x_1, \ln(n) = x_2, \\ \ln \left(\frac{Ne \cdot 100^{0,75}}{1,72 \cdot 10^{-5} \cdot t^{0,85} \cdot B \cdot z \cdot D^{0,2}} \right) &= b_1. \end{aligned} \quad (5)$$

Получаем линейное неравенство, являющееся ограничением, устанавливающим связь

между оптимизируемыми параметрами и эффективной мощностью резания:

$$0,75 \cdot x_1 + 0,9 \cdot x_2 \leq b_1. \quad (6)$$

Аналогичным образом формируем другие ограничения. Ограничение, связанное с режущими возможностями инструмента:

$$0,4 \ln(100 \cdot Sz) + \ln(n) = \ln \left(\frac{3,1 \cdot 10^5}{D^{0,75} \cdot T^{0,2} \cdot t^{0,1} \cdot B^{0,15} \cdot z^{0,1}} \right), \quad (7)$$

где T – период стойкости инструмента, мин; z – количество зубьев фрезы.

С учетом обозначений $\ln(100Sz)=x_1$, $\ln(n)=x_2$, логарифм правой части уравнения (7) – b_2 второе ограничение примет вид:

$$0,4 \cdot x_1 + x_2 \leq b_2. \quad (8)$$

Ограничение по времени обработки необходимо для регламентирования времени работы фрезы в процессе одного технологического перехода в пределах периода стойкости:

$$\ln(100 \cdot Sz) + \ln(n) = \ln\left(\frac{H \cdot L \cdot 100}{T \cdot z \cdot B}\right), \quad (9)$$

где H – ширина обрабатываемого подшипника, мм; L – длина дуги сегмента обрабатываемого подшипника, мм.

С учетом обозначений $\ln(100Sz)=x_1$, $\ln(n)=x_2$, логарифм правой части уравнения (9) – b_3 третье ограничение примет вид:

$$x_1 + x_2 \geq b_3. \quad (10)$$

Ограничение по температуре резания вводится с целью контроля температуры в пределах допустимых значений и предотвращения таких негативных явлений, как наростообразование. В качестве функций температуры резания использованы эмпирические зависимости, полученные при проведении экспериментальных исследований.

Температура в зоне резания при фрезеровании баббита марки Б16:

$$Tr = 4,22 \frac{t^{0,29} \cdot Sz^{0,5} \cdot B \cdot n^{0,6}}{D^{1,08}}. \quad (11)$$

Температура в зоне резания при фрезеровании баббита марки Б83:

$$Tr = 33 \frac{t^{0,47} \cdot Sz^{0,57} \cdot B^{0,95} \cdot n^{0,38}}{D}. \quad (12)$$

В соответствии с выражением (11) ограничение по температуре резания для баббита марки Б16:

$$0,5 \cdot \ln(100 \cdot Sz) + 0,6 \cdot \ln(n) = \ln\left(\frac{Tr \cdot D^{1,08} \cdot 100^{0,5}}{4,22 \cdot t^{0,29} \cdot B}\right). \quad (13)$$

В соответствии с выражением (12) ограничение по температуре резания для баббита марки Б83:

$$0,57 \cdot \ln(100 \cdot Sz) + 0,38 \cdot \ln(n) = \ln\left(\frac{Tr \cdot D \cdot 100^{0,57}}{33 \cdot t^{0,47} \cdot B^{0,95}}\right). \quad (14)$$

С учетом обозначений $\ln(100Sz)=x_1$, $\ln(n)=x_2$, логарифм правой части уравнения (13) – b_4 четвертое ограничение для баббита марки Б16 примет вид:

$$0,5 \cdot x_1 + 0,6 \cdot x_2 \leq b_4. \quad (15)$$

С учетом обозначений $\ln(100Sz)=x_1$, $\ln(n)=x_2$, логарифм правой части уравнения (14) – b_4 четвертое ограничение для баббита марки Б83 примет вид:

$$0,57 \cdot x_1 + 0,38 \cdot x_2 \leq b_4. \quad (16)$$

Используя полученные ограничения (6), (8), (10) и (15), запишем оптимизационную модель для фрезерования баббита Б16 в виде системы неравенств, добавив ограничение по предельным значениям оптимизируемых параметров в логарифмической форме

$$\begin{cases} 0,75 \cdot x_1 + 0,9 \cdot x_2 \leq b_1 \\ 0,4 \cdot x_1 + x_2 \leq b_2 \\ x_1 + x_2 \geq b_3 \\ 0,5 \cdot x_1 + 0,6 \cdot x_2 \leq b_4 \\ \ln(Sz_{\min} \cdot 100) \leq x_1 \leq \ln(Sz_{\max} \cdot 100) \\ \ln(n_{\min}) \leq x_2 \leq \ln(n_{\max}) \end{cases}. \quad (17)$$

Используя ограничения (6), (8), (10) и (16), запишем аналогичную оптимизационную модель для фрезерования баббита Б83:

$$\begin{cases} 0,75 \cdot x_1 + 0,9 \cdot x_2 \leq b_1 \\ 0,4 \cdot x_1 + x_2 \leq b_2 \\ x_1 + x_2 \geq b_3 \\ 0,57 \cdot x_1 + 0,38 \cdot x_2 \leq b_4 \\ \ln(Sz_{\min} \cdot 100) \leq x_1 \leq \ln(Sz_{\max} \cdot 100) \\ \ln(n_{\min}) \leq x_2 \leq \ln(n_{\max}) \end{cases}. \quad (18)$$

Система неравенств решается (17), (18) решается относительно целевой функции, имеющей вид:

$$f(x_1, x_2) = x_1 + x_2 \rightarrow \max. \quad (19)$$

На рис. 4 представлено графическое отображение результатов оптимизации с учетом перечисленных ограничений.

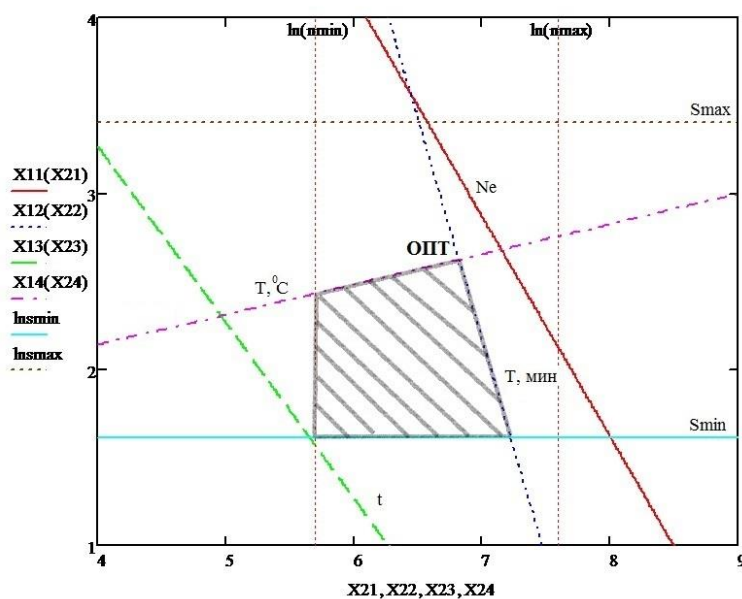


Рис. 4. Графическое представление максимизации целевой функции с учетом ограничений

Область допустимых решений лежит внутри замкнутого многогранника, образованного пересечением установленных ограничений. Так как в исходных данных принят один из меньших типоразмеров подшипника, ограничение по времени обработки практически не участвует в решении, все значения в принятом диапазоне ему удовлетворяют. Лимитирующими ограничениями являются ограничение по температуре резания и стойкости инструмента: оптимум расположен на их пересечении. Оптимальными значениями являются: $x_1=2.622$ и $x_2=6.825$, что соответствует следующим натуральным значениям оптимизируемых параметров: подача на зуб 0,14 мм/зуб, частота вращения 920 об/мин, скорость

резания 145 м/мин. Полученные значения обеспечивают максимальную производительность с учетом заданных ограничений.

На втором этапе оптимизации полученные значения корректируются с учетом обеспечения шероховатости поверхности методом итерационного приближения. Так как скорость резания при фрезеровании баббитов не оказывает существенного влияния на шероховатость, то корректировка выполняется за счет изменения величины подачи на зуб. Для осуществления корректировки используются зависимости, полученные экспериментально [6]: для баббита Б16

$$Ra(s, v, t) = 8,35 - 6,7 \cdot 10^{-3}v + 11,26s - 3,8t + 3,33 \cdot 10^{-2}vs - 6,1 \cdot 10^{-1}st + 3 \cdot 10^{-4}v^2 + 8,2s^2 + 1,3t^2, \quad (20)$$

для баббита Б83

$$Ra(s, v, t) = 12,625 - 7,8 \cdot 10^{-1}v + 10,5s - 5,3t + 5,4 \cdot 10^{-2}vs - 9,5 \cdot 10^{-3}vt + 3,8 \cdot 10^{-4}v^2 + 7,1s^2 + 1,4t^2. \quad (21)$$

Выводы. Предложенный оптимизационный алгоритм и оптимизационная модель позволяют определить технологические режимы фрезерования баббита при восстановительной обработке опорной поверхности крупногабаритных подшипников скольжения с использованием специального станочного модуля, обеспечивающие достижение эффективных технико-экономических параметров: максимальной производительности при заданных параметрах качества обрабатываемой поверхности. Предложенный алгоритм может быть использован для различных типоразмеров подшипников, а оптимизационная модель учитывает возможность расчета при изменении исходных данных, характеризующих условия обработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Станок для обработки вкладышей крупногабаритных подшипников скольжения: пат. 132012 Рос. федерация: МПК7 В23D 1/20, В23D 9/00 / В.Я. Дуганов, О.Б. Бешевли и др.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Белгородский гос-й технологический ун-т им. В.Г. Шухова. № 2013100863/02; заяв. 09.01.13; опубл. 10.09.2013 Бюл. №25.
2. Станок для фрезерования баббитовых вкладышей крупногабаритных подшипников скольжения: пат. 169070 Рос. федерация: МПК, В23C 1/20/ В.Я. Дуганов, О.Б. Бешевли, Т.А. Дуюн; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Белгородский гос-й технологический ун-т

им. В.Г. Шухова. - № 2016136002; заяв. 06.09.16; опубл. 02.03.2017 Бюл. №7.

3. Бешевли О.Б., Бушуев Д.А., Дуюн Т.А., Рубанов В.Г. Имитационное моделирование динамических характеристик модуля для обработки крупногабаритных подшипников скольжения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №8. С.149–156.

4. Бешевли О.Б., Дуюн Т.А., Воробьев Н.Д. Повышение эффективности ремонтной обработки опорных узлов крупногабаритных вращаю-

щихся агрегатов // Вестник ИрГТУ. 2015. №7. С. 60–66.

5. Лозовая С.Ю., Бешевли О.Б., Дуюн Т.А. Воробьев Н.Д. Обеспечение технологических параметров фрезерования баббита при ремонтной обработке крупногабаритных подшипников скольжения // Фундаментальные исследования. 2016. №9. С. 273–278.

6. Бешевли О.Б., Дуюн Т.А. Эмпирические модели шероховатости поверхности при фрезеровании баббита // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №7. С.122–128.

Информация об авторах

Бешевли Олег Борисович, аспирант кафедры технологии машиностроения.

E-mail: pvm0106@mail.ru

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

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

Дуюн Татьяна Александровна, доктор технических наук, доцент, зав. каф. технологии машиностроения.

E-mail: tanduun@mail.ru

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

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

Поступила в январе 2018 г.

© Бешевли О.Б., Дуюн Т.А., 2018

O.B. Beshevli, T.A. Duyun,

OPTIMIZATION OF THE TECHNOLOGICAL MODES OF MILLING BABBITT WITH THE USE OF A MACHINING MODULE FOR LARGE BEARINGS PROCESSING

The optimization technique of technological modes of babbitt milling under conditions of restorative treatment of the bearing surface of large bearings with the use of a special machine module is presented. The purpose of optimization is to increase the productivity while ensuring the desired quality of the treated surface. The optimized parameters are the feed to the cutter tooth and the cutting speed, expressed by the cutter rotation velocity, which have the greatest impact on the processing time and surface quality parameters. The method of linear programming is used, as the following technical limitations are taken: the provided surface roughness, the specified tool life, the power of the main motion drive, the processing time corresponding to the durability period, and the permissible cutting temperature. The optimization algorithm is performed in two stages: at the first stage the system of inequalities is solved, and at the second stage – the resulting values are corrected to ensure the desired surface roughness. The optimization model includes the original empirical dependences of cutting force and cutting temperature, obtained for tin-base and lead-base babbitts.

Keywords: optimization, babbitt milling, special machining module, large-size bearings, linear programming method.

REFERENCE

1. The machine for processing of inserts of large-size bearings of sliding: stalemate. 132012 Dews. federation: MPK7 B23D 1/20, B23D 9/00 / V.Ya. Duganov, O.B. Beshevli, etc.; the applicant and patent holder FGBOU VPO Belgorodsky state- y technological un-t of V.G. Shukhov. no. 2013100863/02; denunciations. 09.01.13; опубл. 9/10/2013 Bulletin, no. 25.

2. The machine for milling the babbittovykh of inserts of large-size bearings of sliding: stalemate. 169070 Dews. federation: MPK, B23C 1/20/V.Ya. Duganov, O.B. Beshevli, T.A. Duyun; the applicant and patent holder FGBOU VPO Belgorodsky state-

y technological un-t of V.G. Shukhov. no. 2016136002; denunciations. 06.09.16; опубл. 3/2/2017 Bulletin, no. 7.

3. Beshevli O.B., Bushuyev D.A., Duyun T.A., Rubanov V.G. Imitating modeling of dynamic characteristics of the module for processing of large-size bearings of sliding // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2017, no. 8, pp. 149–156.

4. Beshevli O.B., Duyun T.A., Vorobyov N.D. Increase in efficiency of repair processing of basic knots of the large-size rotating units // Messenger of IRGTU, 2015, no. 7, pp. 60-66.

5. Lozovaya S.Yu., Beshevli O.B., Duyun T.A. Vorobyov N.D. Ensuring technological parameters

of milling of babbit at repair processing of large-size bearings of sliding//Basic researches, 2016, no. 9, pp. 273–278.

6. Beshevli O.B, Duyun T.A. Empirical models of roughness of a surface when milling babbit // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2016. no. 7, pp. 122–128.

Information about the author

Oleg B. Beshevli, Postgraduate student.

E-mail: pvm0106@mail.ru

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

Tatiana A. Duyun, PhD, Professor.

E-mail: tanduun@mail.ru.

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

Received in January 2017

*Позевалкин В.В., магистр, вед. программист,
Парфёнов И.В., канд. техн. наук,
Поляков А.Н., д-р техн. наук, проф.
Оренбургский государственный университет*

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА ПОСТРОЕНИЯ СТЕПЕННЫХ ИНТЕРПОЛЯЦИОННЫХ ПОЛИНОМОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ В ТЕПЛОВЫХ ИСПЫТАНИЯХ СТАНКОВ

ivparfenov@mail.ru

В статье исследуется метод аппроксимации экспериментальных данных, содержащих разного уровня погрешности, обусловленные как алгоритмом работы измерительной аппаратуры, так и нелинейным характером тепловых процессов, протекающих в работающем станке. Приведены результаты натурных испытаний сверлильно-фрезерно-расточного станка модели 400V на холостом ходу. Представлена фотография четырех установленных термодатчиков. Информация о температуре фиксировалась с помощью отечественного многоканального измерителя температуры МИТ-12ТП. Результатом проведенных исследований стала разработка и практическая реализация алгоритма построения аппроксимирующих функций на основе степенных полиномов. Алгоритм разработан для построения как интерполирующей, так и экстраполирующей функции. Установлено, что для экспериментальных кривых, не содержащих точки перегиба, разработанный алгоритм построения экстраполяционных функций позволяет практически вдвое сократить время сбора экспериментальных данных, то есть реализовать методику сокращения во времени натурного эксперимента.

Ключевые слова: тепловые испытания станков, погрешность обработки, тепловые характеристики, степенной полином, метод Гаусса.

Введение. При обработке экспериментальных данных, полученных в результате тепловых испытаний станков, возникает необходимость проведения процедуры сглаживания этих данных [1, 2]. Использование сглаженных данных позволяет проводить более глубокую обработку экспериментальных данных, связанную с построением тепловых характеристик на основе производных первого, второго и третьего порядков [3].

В настоящее время практических проблем реализации интерполяционных полиномов нет. Однако, процедуры реализации алгоритмов построения аппроксимирующих зависимостей на основе степенных интерполяционных полиномов представлены в основном в коммерческих программных продуктах иностранного производства: MATLAB, MATHCAD, MAPLE, MATHEMATICA [4-7]. В складывающихся условиях опережающего развития отечественного программного обеспечения актуальным является именно отечественная реализация даже известных алгоритмов.

Методология применения степенных полиномов для обработки экспериментальных данных тепловых испытаний станка. Экспериментальная информация в ходе натурных испытаний станков может быть получена как при непосредственном наблюдении за показаниями измерительных приборов, например, с приме-

нием многооборотных измерительных головок при измерении температурных смещений шпиндельной головки станка [8, 9], так и с применением автоматизированных измерительных систем [1, 10-15]. При этом в обоих случаях тепловые характеристики имеют ступенчатый характер, как представлено на рис. 1. Представленные на рис. 1 характеристики получены в ходе тепловых испытаний на холостом ходу станка 400V (изготовитель НПО «Станкостроение», г. Стерлитамак). Испытания проводились по циклограмме со сменной частот вращения: 250, 1000, 3000, 5000, 3000 и 1000 об/мин.

Работа станка на первой частоте 250 об/мин в течение 10 минут осуществлялась только для предварительного разогрева станка. Изменений температурных смещений шпиндельной головки вдоль вертикальной оси Z зафиксировано не было. Измерения смещений осуществлялись многооборотной индикаторной головкой типа МИГ ГОСТ 9696-82.

На каждой последующей частоте станок работал непрерывно в течение 40 минут. Общая длительность одного испытания станка составила 210 минут. На рис. 1 представлены показания шести термодатчиков из двенадцати установленных на элементах несущей системы станка. Измерения температуры осуществлялись с помощью отечественного многоканального измерителя температуры МИТ-12ТП (АО «НПП «Эталон», г. Омск).

На рис. 2 показано расположение четырех термопар на магнитном основании, установленных под

кожухом шпиндельной головки станка – во время испытаний кожух станка устанавливается штатно.

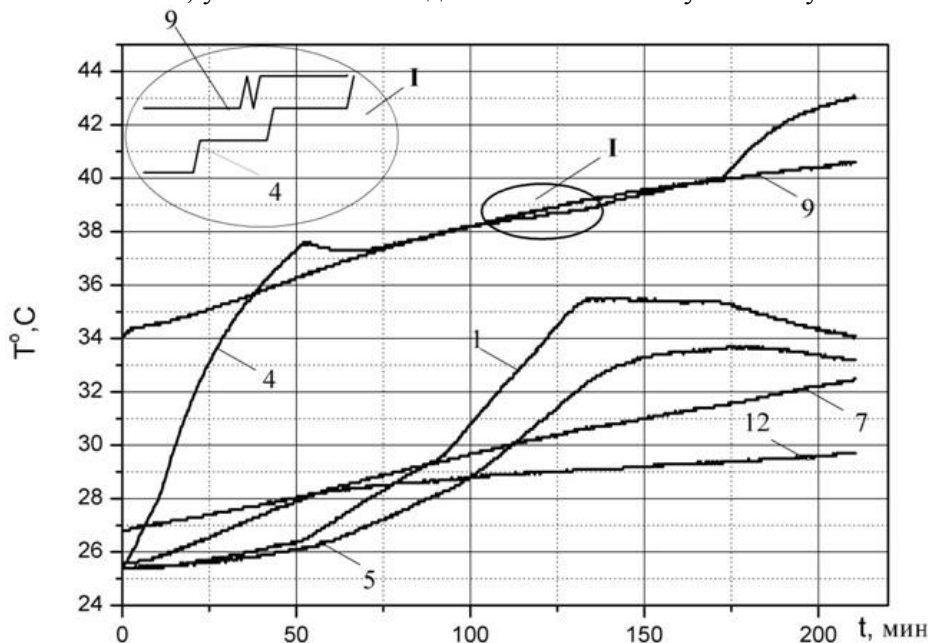


Рис. 1. Тепловые характеристики станка, построенные по показаниям шести датчиков



Рис. 2. Вид установленных термодатчиков в эксперименте

Использование экспериментальных результатов в исходном виде приводит к дополнительным погрешностям и создает препятствия для получения объективной информации о кинетике и динамике теплового процесса, протекающего в станке и формирующего тепловые деформации элементов его несущей системы.

На рис. 1 в выделенной области **I** представлен в масштабированном виде фрагмент кривых 4 и 9, который иллюстрирует ступенчатый характер кривых.

Предварительно проведенный анализ результатов сплайновой интерполяции и интерполяции степенными полиномами с помощью ав-

томатизированной системы вычислений MATLAB показал, что сплайны обеспечивают максимальное приближение модельных значений к экспериментальным. Однако, в этом случае, модельные значения наследуют либо ошибки измерений либо оказываются чрезвычайно чувствительными к малейшим физическим изменениям, протекающим в термодинамической системе станка. При дальнейшем анализе теплового и термдеформационного состояния станка эта чувствительность может препятствовать получению глобальных более важных оценок. Например, фиксация моментов времени глобального максимума (или минимума) скорости

или ускорения изменения температуры или температурных смещений элементов несущей системы. Именно поэтому при разработке систем компенсации температурной погрешности станков с ЧПУ [16] важно использовать предварительно сглаженные экспериментальные данные на основе степенных полиномов.

Теоретические основы метода исследования. Степенной полином состоит из суммы степенных функций с постоянными коэффициентами:

$$P_m(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_{m-1}x^{m-1} + a_mx^m, \quad (1)$$

где x – переменная, в нашем случае время; m – степень полинома; a – постоянные коэффициенты. $P_m(x)$ – полиномиальная функция степени m , аппроксимирующая тепловые характеристики изменения температуры или тепловых перемещений во времени.

Значения постоянных коэффициентов a можно вычислить методом наименьших квадратов. В качестве внутренних исходных данных

$$T = \begin{pmatrix} n+1 & \sum_{i=0}^n x_i & \sum_{i=0}^n x_i^2 \\ \sum_{i=0}^n x_i & \sum_{i=0}^n x_i^2 & \sum_{i=0}^n x_i^3 \\ \dots & \dots & \dots \\ \sum_{i=0}^n x_i^m & \sum_{i=0}^n x_i^{m+1} & \sum_{i=0}^n x_i^{m+2} \end{pmatrix}$$

где m – степень полинома; n – число узлов интерполяции; x, y – значение момента времени в которое было получено значение температурной характеристики (температура или перемещение) абсцисса и ордината соответственно.

Вычислить значения элементов основной матрицы (матрицы Грама) G для заполнения расширенной можно с помощью следующего уравнения:

$$G_{jk} = \sum_{i=0}^n x_i^{j+k}, \quad j = 0, 1, \dots, m, k = 0, 1, \dots, m. \quad (3)$$

Следует отметить, что основная матрица обладает некоторыми свойствами полезными для программирования алгоритмов. Во-первых, она является симметричной $G_{ij} = G_{ji}$, что существенно снижает объём вычислительных операций. Во-вторых, её диагональные элементы всегда положительны $G_{ii} > 0$. Кроме того, если выбрать в качестве базиса линейно независимую функцию, то её определитель будет не равен нулю.

Значения вектора столбца свободных членов b_j можно вычислить по формуле:

для реализации алгоритма определения постоянных коэффициентов на основе метода наименьших квадратов выступают: число узлов интерполяции n и степень полинома m . Важнейшим условием сходимости метода является превышение числа узлов интерполяции n над степенью полинома m .

На практике для реализации вычислений по методу наименьших квадратов чаще всего применяется метод последовательного исключения неизвестных, который получил название метод Гаусса. На данный момент этот метод является достаточно универсальным инструментом нахождения решений большинства различных систем уравнений [17].

На начальном этапе реализации вычислений по методу Гаусса необходимо построить расширенную матрицу системы уравнений T , состоящую из основной матрицы с добавлением вектора столбца свободных членов:

$$\left(\begin{array}{cc|c} \dots & \sum_{i=0}^n x_i^m & \sum_{i=0}^n y_i \\ \dots & \sum_{i=0}^n x_i^{m+1} & \sum_{i=0}^n x_i y_i \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \sum_{i=0}^n x_i^{2m} & \sum_{i=0}^n x_i^m y_i \end{array} \right), \quad (2)$$

$$b_j = \sum_{i=0}^n x_i^j y_i, \quad j = 0, 1, \dots, m. \quad (4)$$

В матричной форме исходная система уравнений будет выглядеть следующим образом:

$$G * a = b, \quad (5)$$

где G – основная матрица системы (матрица Грама); a – вектор неизвестных коэффициентов; b – вектор свободных членов.

Запишем исходную систему уравнений в следующем виде:

$$\begin{cases} g_{11}a_1 + g_{12}a_2 + \dots + g_{1n}a_n = b_1 \\ g_{21}a_1 + g_{22}a_2 + \dots + g_{2n}a_n = b_2 \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ g_{m1}a_1 + g_{m2}a_2 + \dots + g_{mn}a_n = b_m \end{cases} \quad (6)$$

На следующем этапе необходимо привести систему уравнений (6) к треугольному виду. Алгоритм приведения матриц к треугольному виду получил название прямого хода метода Гаусса и основан на принципе последовательного, начиная с первого столбца, исключения коэффициентов g при неизвестных a :

$$\left\{ \begin{array}{l} g_{1j_1} a_{j_1} + g_{1j_2} a_{j_2} + \dots + g_{1j_r} a_{j_r} + \dots + g_{1j_n} a_{j_n} = b_1 \\ g_{2j_2} a_{j_2} + \dots + g_{2j_r} a_{j_r} + \dots + g_{2j_n} a_{j_n} = b_2 \\ \dots \\ g_{rj_r} a_{j_r} + \dots + g_{rj_n} a_{j_n} = b_r \\ \dots \\ 0 = b_m \end{array} \right. \quad (7)$$

$$g_{1j_1}, \dots, g_{rj_r} \neq 0.$$

Система уравнений (7) будет несовместна, то есть у неё не будет решений, только в том случае, если какое либо число $b_i \neq 0$ при $i > r$. Допустим, что $b_i = 0$ при любых значениях $i > r$. Тогда все свободные переменные можно перенести за их знаки равенств, разделив при этом каждое из уравнений на свой собственный коэффициент g при неизвестном a , находящийся в самой левой части уравнения ($g_{ij_i}, i = 1, \dots, r, i$ – номер строки, r – число строк):

$$\left\{ \begin{array}{l} a_{j_1} + \hat{g}_{1j_2} a_{j_2} + \dots + \hat{g}_{1j_r} a_{j_r} = \hat{b}_1 - \hat{g}_{1j_{r+1}} a_{j_{r+1}} - \dots - \hat{g}_{1j_n} a_{j_n} \\ a_{j_2} + \dots + \hat{g}_{2j_r} a_{j_r} = \hat{b}_2 - \hat{g}_{2j_{r+1}} a_{j_{r+1}} - \dots - \hat{g}_{2j_n} a_{j_n} \\ \dots \\ a_{j_r} = \hat{b}_r - \hat{g}_{rj_{r+1}} a_{j_{r+1}} - \dots - \hat{g}_{rj_n} a_{j_n} \end{array} \right. \quad (8)$$

$$\hat{g}_{ij_k} = \frac{g_{ij_k}}{g_{ij_i}}, \hat{b}_i = \frac{b_i}{g_{ij_i}},$$

где $i = 1, \dots, r; k = i + 1, \dots, m$.

На заключительном этапе необходимо вычислить неизвестные a . Алгоритм вычисления неизвестных получил название обратного хода метода Гаусса. В этом случае все полученные базисные переменные могут быть выражены через небазисные. Реализовать вычисления указанным способом можно с помощью следующего уравнения:

$$a_k = \frac{\left(b_k^{(k)} - \sum_{j=k+1}^m g_{kj}^{(k)} a_j \right)}{g_{kk}^{(k)}}, k = m-1, m-2, \dots, 0. \quad (9)$$

В настоящее время общепринятым способом вычисления полиномов высоких степеней является так называемая схема Горнера [18, 19]. Данный метод можно применить практически к любому полиному, так как он является достаточно универсальным и при этом предельно прост в реализации. Реализацию данного метода можно получить из формулы (1), если вынести x за скобки всюду, где это возможно. Тогда можно записать уравнение (1) в следующем виде:

$$P_m(x) = a_0 + (\dots((a_m x + a_{m-1})x + a_{m-2})x + \dots)x. \quad (10)$$

Таким образом, основная задача интерполяции заключается в определении приближённого

значения функции от аргумента x , находящегося внутри заданного интервала $[x_0, x_n]$.

Однако, если требуется определить приближённое значение функции вне заданного интервала $[x_0, x_n]$, то следует рассмотреть возможность применения экстраполяции, основная идея которой заключается в определении сложившихся на текущий момент устойчивых тенденций развития процесса для дальнейшего переноса их на будущее. В этой связи, экстраполяцию можно применить только при соблюдении некоторых допущений, а именно: объём исходных данных достаточен для того, чтобы определить тенденции развития процесса; исследуемый процесс обладает инерционностью, то есть для серьёзных изменений характеристик протекающего процесса требуется время; отсутствие внешних воздействий, способных существенно повлиять на сложившуюся тенденцию развития процесса.

Результат решения поставленной задачи может быть достигнут при выполнении следующих действий. Для начала следует выбрать период упреждения. При чём период упреждения является количественной мерой, представляющий собой число равных интервалов времени на которые разрабатывается прогноз. Далее необходимо вычислить шаг экстраполяции как среднеарифметическое значение аргументов x из базы прогноза. Затем, прибавив к последнему значению аргумента x шаг экстраполяции S , получаем одно значение следующего аргумента x , выходящего за пределы интервала наблюдений. Теперь, подставив полученное расчётное значение аргумента x в уравнение (11), определяем приближённое значение функции в заданной точке. Повторяя подобные действия, можно пошагово определить приближённые значения функции на весь период упреждения. Тогда уравнение (10) можно записать в следующем виде:

$$P_m(x) = a_0 + (\dots((a_m \hat{x} + a_{m-1})\hat{x} + a_{m-2})\hat{x} + \dots)\hat{x},$$

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n x_i - x_{i-1}}{n-1}, \hat{x} = x + S, \quad (11)$$

где x – последнее значение времени; $\hat{x}$ – следующее значение времени; S – шаг экстраполяции.

Таким образом, пошагово определяя значения аргумента x , а затем интерполируя его, можно получить приближённые значения функции выходящие за пределы интервала наблюдений, на весь период упреждения.

Алгоритм построения степенного интерполяционного полинома. Для достижения по-

ставленной цели необходимо разработать алгоритм построения степенного интерполяционного полинома.

Начальные данные: координаты точек $X_i, Y_i (i = 0, \dots, n)$, число узлов интерполяции n и степень полинома m .

Необходимо определить: вектор коэффициентов $\{A_i\} (i = 0, \dots, m)$.

Начальные действия. Создаём вспомогательный массив $\{T_{ij}\}$ в котором номера элементов меняются как: $i = 0, \dots, m, j = 0, \dots, m + 1$.

Шаг 1. Построение расширенной матрицы T с помощью формул (3) и (4). Внешний цикл по числу узлов интерполяции с индексацией по i , меняющейся от 0 до n . Вложенный цикл по степени полинома с индексацией по j , меняющейся от 0 до m :

$$T_{jm+1} = T_{jm+1} + Y_i * X_i^j. \quad (12)$$

Вложенный цикл по степени полинома k , меняющейся от 0 до m :

$$T_{jk} = T_{jk} + X_i^{j+k}. \quad (13)$$

Шаг 2. Приведение расширенной матрицы к треугольному виду по формуле (8). Прямой ход метода Гаусса. Внешний цикл по i , изменяющейся от 0 до m . Выбор главного элемента $l = i$, $\max = |T_{ii}|$. Вложенный цикл $j = i + 1, \dots, m$. Если $|T_{ji}| > \max$, то $l = j$, $\max = |T_{ji}|$. Перестановка столбцов в строке. Вложенный цикл $k = 0, \dots, m + 1$:

$$\begin{aligned} d &= T_{ik}, \\ T_{ik} &= T_{lk}, \\ T_{lk} &= d. \end{aligned} \quad (14)$$

Вложенный цикл $j = i, \dots, m$:

$$d = T_{ji}. \quad (15)$$

Вложенный цикл $k = i, \dots, m + 1$. Если $i = j$, то:

$$T_{jk} = T_{jk} / d. \quad (16)$$

иначе:

$$T_{jk} = T_{jk} / d - T_{ik}. \quad (17)$$

Шаг 3. Вычисление значений коэффициентов по формуле (9). Обратный ход метода Гаусса. Внешний цикл $i = m, \dots, 0$:

$$s = T_{im+1}. \quad (18)$$

Вложенный цикл $j = i + 1, \dots, m$:

$$s = s - T_{ij} * A_j. \quad (19)$$

Построение вектора коэффициентов:

$$A_i = s / T_{ii}. \quad (20)$$

Далее необходимо вычислить приближённое значение функции $P(x)$ в заданной точке по формуле (10). Алгоритм вычисления по схеме Горнера.

Начальные данные: координата точки x , вектор коэффициентов $A_i (i = 0, \dots, m)$ и степень полинома m .

Необходимо определить: приближённое значение функции $P(x)$ в заданной точке.

Начальные действия. Задаём начальное значение функции $P(x) = A_m$.

Шаг 1. Внешний цикл $i = m - 1, \dots, 0$:

$$P(x) = P(x) * x + A_i. \quad (21)$$

Суммарные затраты на выполнение расчётов значений степенного интерполяционного полинома с применением исследуемого алгоритма относительно небольшие, так как для нахождения решения системы линейных алгебраических уравнений применяется один из наиболее эффективных методов их решения – метод Гаусса [20, 21].

Экспериментальные исследования. По описанному алгоритму было разработано программное средство на языке высокого уровня "Паскаль" и проведена проверка его эффективности при построении аппроксимирующих функций для экспериментальных тепловых характеристик станка 400V. В качестве иллюстрации полученных результатов на рис. 3 представлены: исходные экспериментальные данные в виде графика ступенчатой функции, модельные значения в виде графика приближённых значений функции $P(x)$.

Алгоритм вычисления прогнозных значений (алгоритм экстраполяции) апробирован при построении аппроксимирующих кривых для экспериментальных тепловых характеристик станка 400V. На рис. 4 представлены результаты апробации для одной экспериментальной реализации с применением следующего набора параметров:

- степень полинома = 3;
- период упреждения = 335;
- шаг экстраполяции = 0,44689349112426;
- общее количество данных для расчётов = 674.

Расчёты выполнены с помощью полинома третьей степени.

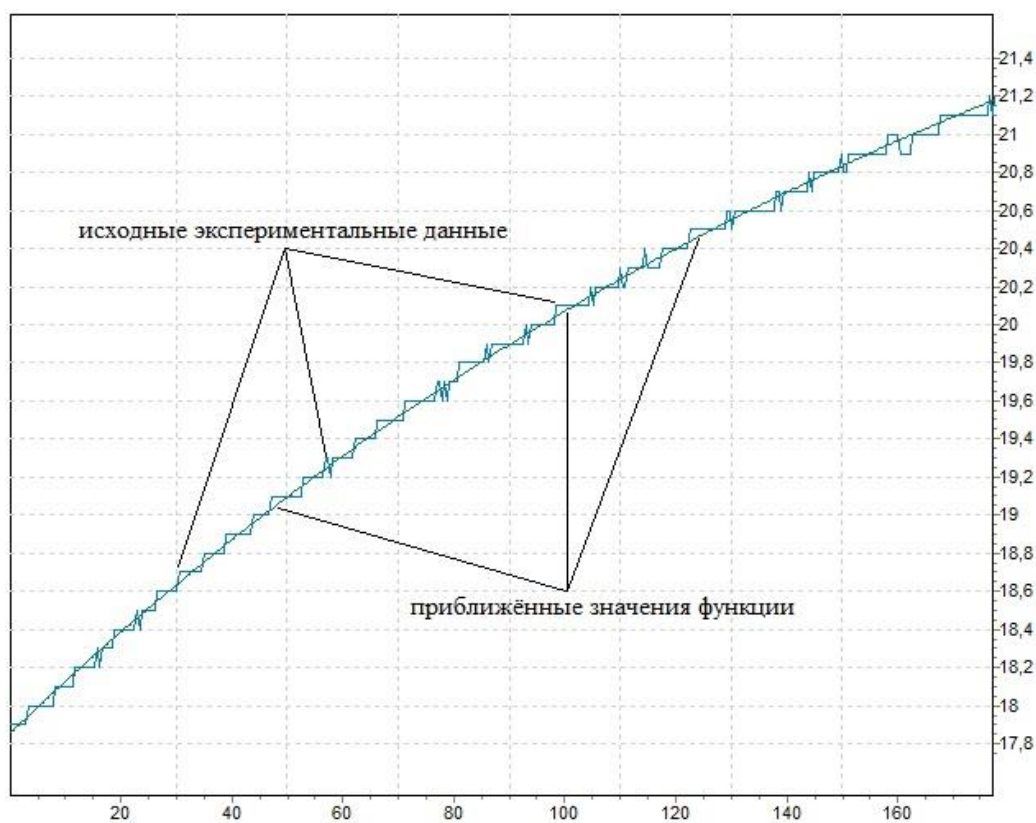


Рис. 3. Результат аппроксимации экспериментальных данных

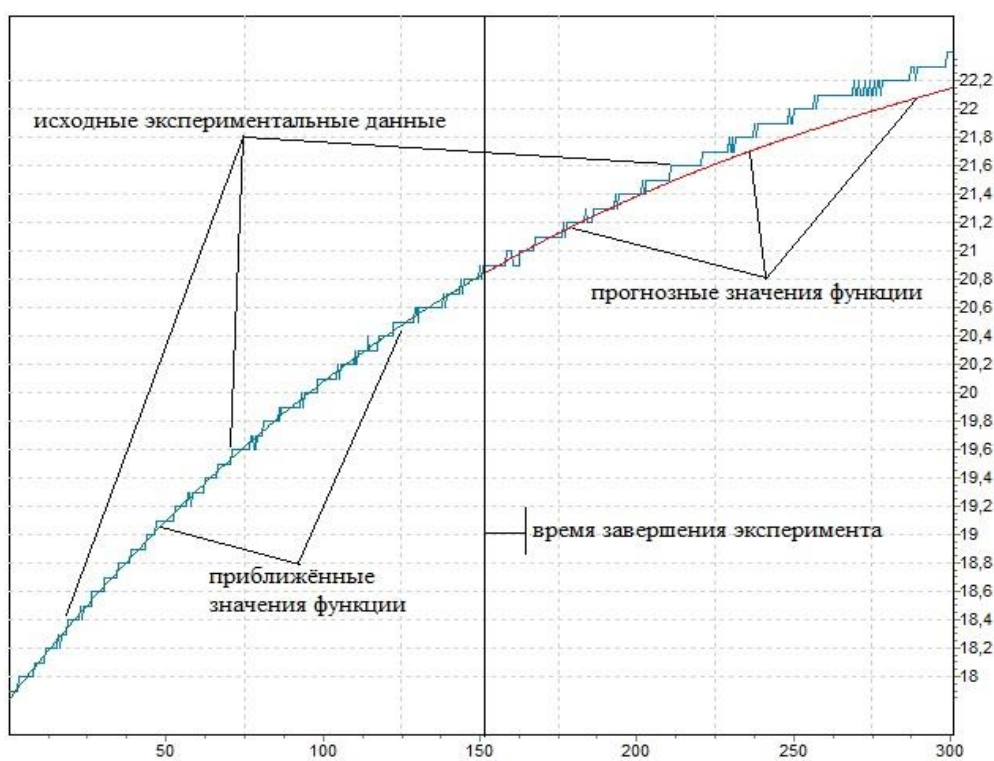


Рис. 4. Результат вычисления прогнозных значений

Следует отметить, что в данном случае период упреждения равен 50-ти процентам от общего количества исходных экспериментальных данных. Это означает, что для построения аппроксимирующей функции использовались экспериментальные данные, зафиксированные в течение почти 150 минут (фактически, с точно-

стью до минуты). Последующие экспериментальные данные (от 150-ой до 300-ой минуты) использовались для оценки точности экстраполяции.

Величина отклонения прогнозных значений от экспериментальных не превысила 1,16%.

Однако, при попытке построить экстраполяционные функции для более сложного харак-

тера кривых, содержащих точки перегиба, был зафиксирован некорректный результат (рис. 5).

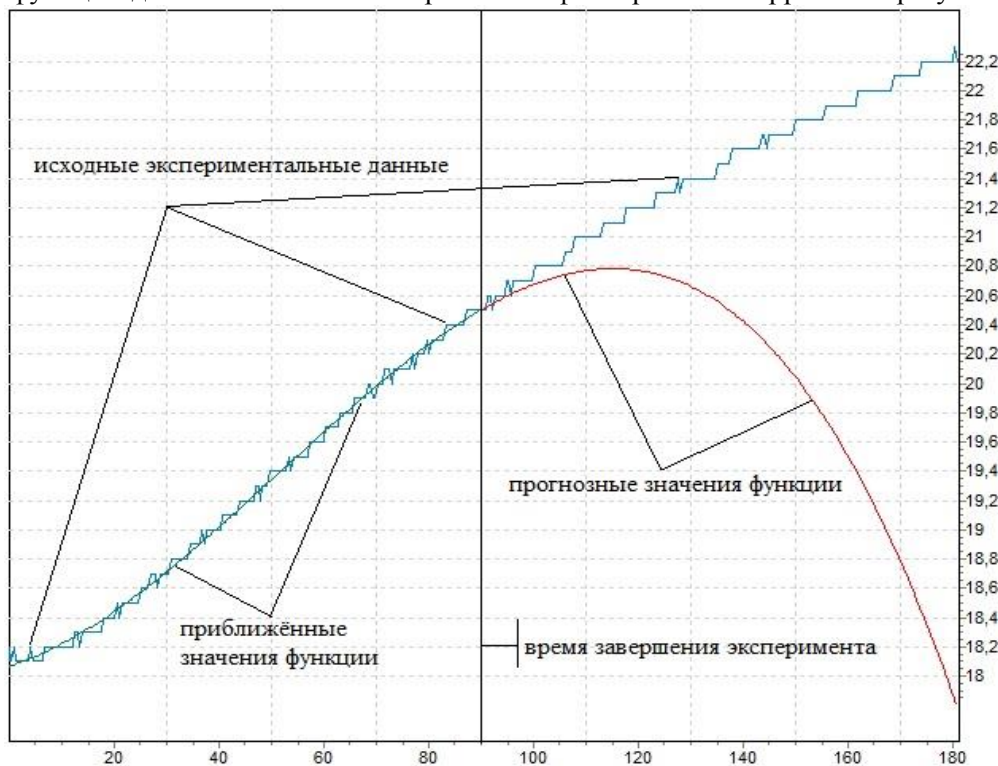


Рис. 5. Ошибка вычисления прогнозных значений

В этой связи способ определения прогнозных значений методом экстраполяции с применением полиномиальной модели требует дальнейших исследований. Тем не менее, полученные результаты интерполяции подтверждают надежность применения разработанного алгоритма для математической обработки экспериментальных данных.

Выводы. Таким образом, разработан и практически реализован алгоритм построения аппроксимирующих функций на основе степенных полиномов.

Для экспериментальных кривых, не содержащих точки перегиба, разработанный алгоритм построения экстраполяционных функций позволяет практически вдвое сократить время сбора экспериментальных данных, то есть реализовать методику сокращения во времени натурального эксперимента.

Разработанные алгоритмы и соответствующее программное средство могут быть применены для предварительной обработки экспериментальных данных, и позволяют генерировать промежуточные значения, что повышает устойчивость реализации последующих алгоритмов обработки данных на базе экспоненциальных функций и производных первого, второго и третьего порядков.

Разработанные алгоритмы, ввиду их компактности, могут быть применены при первичной обработке экспериментальных данных в ре-

жиме реального времени, что особенно актуально при создании диагностической техники для станков и других подобных машин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Поляков А.Н., Гончаров А.Н., Каменев С.В. Методика экспериментальной оценки температурной погрешности станка на рабочем ходу // СТИН. 2017. №11. С. 29–32.
2. Кузнецов А.П. Тепловой режим металлорежущих станков. М., Изд-во МГТУ СТАНКИН, Янус-К, 2013. 478 с.
3. Парфёнов И.В. Развитие методики сокращения времени натуральных тепловых испытаний станков // Интеллект. Инновации. Инвестиции. Оренбург, ФГБОУ ВО ОГУ. 2017. С. 64–69.
4. Дьяконов В.П., Круглов В.В. Математические пакеты расширения Matlab: спец. справочник. СПб.: Питер, 2001. 480 с.
5. Дьяконов В.П. Mathcad 11/12/13 в математике: справочник. М.: Горячая линия-Телеком, 2007. 958 с.
6. Дьяконов В.П. Maple 9.5/10 в математике, физике и образовании. Библиотека профессионала. М.: Солон-Пресс, 2006. 720 с.
7. Дьяконов В.П. Mathematica 5/6/7. Полное руководство. М.: ДМК-Пресс, 2009. 624 с.
8. Polyakov A.N., Goncharov A.N. Thermal Characteristics Of Multipurpose Machine Tools //

Russian Engineering Research. 2011. T.31. №12. С. 1248–1252.

9. Ягопольский А.Г. Анализ коррекции тепловых деформаций в станках. // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2014. №5 (98). С. 98–105.

10. Ягопольский А.Г., Кропотин Н.Ю. Аппаратно-программное обеспечение исследований состояния токарных станков по параметрам траекторий перемещения суппортного узла // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2016. №5 (674). С. 84–90.

11. Hori S., Nishiwaki N. Study on Thermal Deformation of Machine Tool Structure Estimated by Its Basic Characteristics // Transaction of Japan Society of Mechanical Engineering. С. 1998. Vol. 64. №.621. Pp. 1836–1841.

12. Shamoto E., Hino R., Tomie T., Matsubara Y., Moriwaki T. Estimation of Thermal Deformation of Machine Tool by Utilizing Available Information in CNC Unit // Transaction of Japan Society of Mechanical Engineering. С. 2003. Vol. 69. №. 686. Pp. 2775–2782.

13. Yoshikawa H., Matsumura S., Hashizume H., Shinno H. Minimizing Thermal Deformation of Aerostatic Spindle System by Temperature Control of Supply Air // JSME international journal. Series C. 2006. Vol.49. № 2. Pp. 606–611.

14. Gebhardt M., Schneeberger A., Weikert S., Knapp W., Wegener K. Thermally caused location errors of rotary axes of 5 axis machine tools // Int. J. of Automation Technology. 2014. Vol. 8(4). Pp. 511–522.

Информация об авторах

Позевалкин Владимир Владимирович, магистр, ведущий программист факультета дистанционных образовательных технологий.

E-mail: pozevalknvv@mail.ru.

Оренбургский государственный университет.

Россия, 460018, Оренбург, просп. Победы, д. 13.

Парфёнов Игорь Валентинович, кандидат технических наук, доцент, декан факультета дистанционных образовательных технологий.

E-mail: ivparfenov@mail.ru.

Оренбургский государственный университет.

Россия, 460018, Оренбург, просп. Победы, д. 13.

Поляков Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов.

E-mail: anp_temos@mail.ru.

Оренбургский государственный университет.

Россия, 460018, Оренбург, просп. Победы, д. 13.

15. Jędrzejewski J., Kowal Z., Kwasny W., Winiarski Z. In-house system for holistic modelling of machine tool operating properties // 2014 2nd International Conference on Systems and Informatics. ICSAI 2015. pp. 411–416. DOI: 10.1109/ICSAI.2014.7009324.

16. Поляков А.Н., Гончаров А.Н. Автоматизированная система коррекции температурной погрешности станков с ЧПУ // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2016. №2 (227). С.33–41.

17. Федоров Ф.М., Иванова О.Ф., Павлов Н.Н. Об особенностях бесконечных систем // Математические заметки СВФУ. 2015. Т. 22. №4. С. 62–78.

18. Afanas'ev A.P., Dzyuba S.M., Emelyanova I.I. Horner's scheme for investigation of solutions of differential equations with polynomial right-hand side // Бизнес-информатика. 2017. № 2 (40). С. 33–39.

19. Калиткин Н.Н., Колганов С.А. Прецизионные аппроксимации функций Ферми–Дирака целого индекса // Матем. моделирование. 2016. Т.28. №3. С. 23–32.

20. Завьялов В.В. Применение итерационного процесса Гаусса–Зейделя в методе выделения диагонального элемента для задач переноса теплового излучения // Атомная энергия. 2014. Т.117. №3. С. 127–131.

21. Lapin A.V., Zalyalov D.G. Penalty method for the state equation for an elliptical optimal control problem // Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Mat. 2015. №. 7. Pp. 36–48.

Поступила в марте 2018 г.

© Позевалкин В.В., Парфёнов И.В., Поляков А.Н., 2018

V.V. Pozevalkin, I.V. Parfenov, A.N. Polyakov

RESEARCH OF THE ALGORITHM FOR CONSTRUCTING DEGREE INTERPOLATION POLYNOMIALS AT THE PROCESSING OF EXPERIMENTAL DATA IN THERMAL TESTS OF MACHINE TOOLS

The article studies the approximation method of the experimental data containing various levels of inaccuracy caused either by an algorithm of the measuring equipment work, or by the nonlinear character of thermal processes proceeding in a working machine. The results of full-scale tests of a drilling-milling-boring machine model 400V at idling are given. A photograph of the four installed sensors is presented. The temperature data were recorded using a domestically-produced multi-channel temperature meter MIT-12TP. The result of the research was the development and practical implementation of the algorithm for constructing approximating functions on the basis of degree polynomials. The algorithm is designed to construct both interpolating and extrapolating functions. It was found that for the experimental curves containing no inflection points, the algorithm for extrapolation functions construction allows almost halving the time of experimental data collection, that is reducing the time necessary for the experiment.

Keywords: thermal testing of machines, processing error, thermal characteristic, degree polynomial, Gauss method.

REFERENCES

1. Polyakov A.N., Goncharov A.N., Kamenev S.V. Technique of experimental estimation of the temperature error of the machine on the working stroke // *Machines and Tooling*, 2017, no. 11, pp. 29-32.
2. Kuznecov A.P. Thermal regime of metal-cutting machines M.: MGTU STANKIN, Yanus-K. 2013, 478 p.
3. Parfenov I.V., Polyakov A.N. Development of a technique for reducing the time of full-scale thermal testing machines // *Intelligence. Innovations. Investment*, 2017, pp. 64-69.
4. D'yakonov V.P., Kruglov V.V. Mathematical packages of the Matlab extension: spec. directory. SPb.: Peter, 2001, 480 p.
5. D'yakonov V.P. Mathcad 11/12/13 in mathematics: a reference book. M.: Hot Line-Telecom, 2007, 958 p.
6. D'yakonov V.P. Maple 9.5/10 v matematike, fizike i obrazovanii. Biblioteka professionala [Maple 9.5 / 10 in mathematics, physics and education. Library professional]. Moscow: Solon-Press, 2006, 720 p.
7. D'yakonov V.P. Mathematica 5/6/7. Mathematica 5/6/7. Complete Guide. M.: DMK-Press, 2009, 624 p.
8. Polyakov A.N., Goncharov A.N. Thermal Characteristics Of Multipurpose Machine Tools // *Russian Engineering Research*, 2011, vol. 31, no. 12, pp. 1248-1252.
9. YAgopol'skij A.G. Analysis of the correction of thermal deformations in machine tools // *Bulletin of MSTU. N.E. Bauman. Ser. Mechanical engineering*, 2014, no. 5 (98), pp. 98-105.
10. YAgopol'skij A.G., Kropotin N.YU. Hardware-software for the study of the state of lathes on the parameters of the trajectories of the movement of the support unit // *News of higher educational institutions. Mechanical engineering*, 2016, no. 5 (674), pp. 84-90.
11. Hori S., Nishiwaki N. Study on Thermal Deformation of Machine Tool Structure Estimated by Its Basic Characteristics // *Transaction of Japan Society of Mechanical Engineering C*. 1998, vol. 64, no. 621, pp. 1836-1841.
12. Shamoto E., Hino R., Tomie T., Matsubara Y., Moriwaki T. Estimation of Thermal Deformation of Machine Tool by Utilizing Available Information in CNC Unit // *Transaction of Japan Society of Mechanical Engineering C*. 2003, vol. 69, no. 686, pp. 2775-2782.
13. Yoshikawa H., Matsumura S., Hashizume H., Shinno H. Minimizing Thermal Deformation of Aerostatic Spindle System by Temperature Control of Supply Air // *JSME international journal. Series C*, 2006, vol.49, no. 2, pp. 606-611.
14. Gebhardt M., Schneeberger A., Weikert S., Knapp W., Wegener K. Thermally caused location errors of rotary axes of 5 axis machine tools // *Int. J. of Automation Technology*. 2014. vol. 8(4), pp. 511-522.
15. Jedrzejewski J., Kowal Z., Kwasny W., Winiarski Z. In-house system for holistic modelling of machine tool operating properties // *2014 2nd International Conference on Systems and Informatics. ICSAI 2015*. pp. 411-416. DOI: 10.1109/ICSAI.2014.7009324.
16. Polyakov A.N., Goncharov A.N. Automated system for correcting the temperature error of CNC machines // *Directory. Engineering Journal with the application*, 2016, no. 2 (227), pp. 33-41.
17. Fedorov F.M., Ivanova O.F., Pavlov N.N. On the singularities of infinite systems // *Mathematical notes of NEFU*. 2015, vol. 22, no. 4, pp. 62-78.
18. Afanas'ev A.P., Dzyuba S.M., Emelyanova I.I. Horner's scheme for investigation of solutions of differential equations with polynomial

right-hand side // Business Informatics, 2017, no. 2 (40), pp. 33–39.

19. Kalitkin N.N., Kolganov S.A. Precision approximations of Fermi-Dirac functions of the whole index // Mod. Modeling, 2016, vol. 28, no. 3, pp. 23–32.

20. Zav'yalov V.V. The use of the iterative process of Gauss-Seidel method of singling out a diag-

onal element for thermal radiation transport // Atomic energy, 2014, vol. 117, no. 3, pp. 127–131.

21. Lapin A.V., Zalyalov D.G. Penalty method for the state equation for an elliptical optimal control problem // Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Mat. 2015, no. 7, pp. 36–48.

Information about the author

Vladimir V. Pozevalkin, Masterstudent, Lead programmer.

E-mail: pozevalkinvv@mail.ru.

Orenburg State University.

Russia, 460018, Orenburg, ave. Pobedy, 13.

Igor' V. Parfenov, PhD, Assistantprofessor.

E-mail: ivparfenov@mail.ru.

Orenburg State University.

Russia, 460018, Orenburg, ave. Pobedy, 13.

Aleksandr N. Polyakov, PhD, Professor.

E-mail: anp_temos@mail.ru.

Orenburg State University.

Russia, 460018, Orenburg, ave. Pobedy, 13.

Received in March 2018

Семикопенко И.А., канд. техн. наук, доц.,
Воронов В.П., канд. физ.-мат. наук, проф.,
Вялых С.В., аспирант,
Маняхин А.С., магистрант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

К ВОПРОСУ О ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ УЗЛА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ МАТЕРИАЛА В ДЕЗИНТЕГРАТОРЕ

semikopenko.ia@bstu.ru

Одним из недостатков работы дезинтеграторов является незначительное количество соударений частиц материала в камере помола. В связи с этим была создана дезинтеграторная установка, в которой осуществляется предварительное измельчение материала при его загрузке в камеру помола. Наряду с измельчением в зоне загрузки осуществляется непрерывный отвод части измельченного материала. В данной статье получено аналитическое выражение, позволяющее определить пропускную способность узла предварительного измельчения и классификации материала в дезинтеграторе. Представлена схема для определения пропускной способности данного узла с учетом непрерывного отвода мелких частиц через призматические каналы верхней ступени многоступенчатого корпуса. Анализ полученных соотношений позволяет сделать вывод о том, что пропускная способность узла предварительного измельчения и классификации материала и количество отделяемого продукта зависят от геометрических и технологических параметров.

Ключевые слова: многоступенчатый корпус, узел, частица, пропускная способность.

Дезинтеграторы в настоящее время являются перспективным оборудованием для помола, смешения и активации мягких материалов средней прочности [1]. Одним из недостатков дезинтеграторов является незначительное количество соударений частиц материала в камере помола и пропускная способность ударных элементов внутреннего ряда. В связи с этим авторами была создана экспериментальная установка с узлом предварительного измельчения и классификации материала (рис. 1).

Данный узел представляет собой вращающиеся в противоположных направлениях многоступенчатый ротор 14 с ударными билами, жестко закрепленный на нижнем горизонтальном диске 9 (рис. 2) и закрепленный на верхнем горизонтальном диске 6 многоступенчатый корпус 15 с отражательной поверхностью, которая включает вертикальные призматические каналы 16 для отвода предварительно измельченного материала [2]. Дезинтегратор работает следующим образом. Исходный материал через загрузочный бункер 3 поступает в проточную зону между внешней поверхностью многоступенчатого ротора 14 и внутренней поверхностью многоступенчатого корпуса 15. Здесь частицы материала посредством ударных бил многоступенчатого ротора 14 направляются на отражательную поверхность каждой ступени многоступенчатого корпуса 15, в результате чего осуществляется их предварительное измельчение.

Мелкие частицы проходят через сквозные призматические каналы 16 и направляются в верхнюю часть ударных элементов 7. Остальной материал, пройдя через проточную зону, с помощью разбрасывающих лопаток 17 направляются в нижнюю часть ударных элементов 12. При движении материала в зоне действия ударных элементов 7 и 12 происходит его окончательный помол. При рассмотрении пропускной способности узла предварительного измельчения материала сделаем следующее допущение: частицы материала равномерно распределяются по всей длине ударных бил многоступенчатого ротора 14 за время его полного оборота.

Время загрузки материала за один полный оборот многоступенчатого ротора:

$$T = \frac{1}{n}, \quad (1)$$

где n – частота вращения нижнего горизонтального диска, с^{-1} .

Скорость загрузки (поступления) материала на верхнюю ступень многоступенчатого ротора определяется следующим соотношением:

$$Q_1 = \sqrt{2gH_1}, \quad (2)$$

здесь g – ускорение свободного падения; H_1 – высота патрубка загрузочного бункера.

Длина цепочки частиц материала, захватываемого каждым ударным билом верхней ступени за время одного полного оборота на основании (1) и (2) определяется соотношением:

$$l_1 = T \cdot g_1 = \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot H_1}}{n} \quad (3)$$

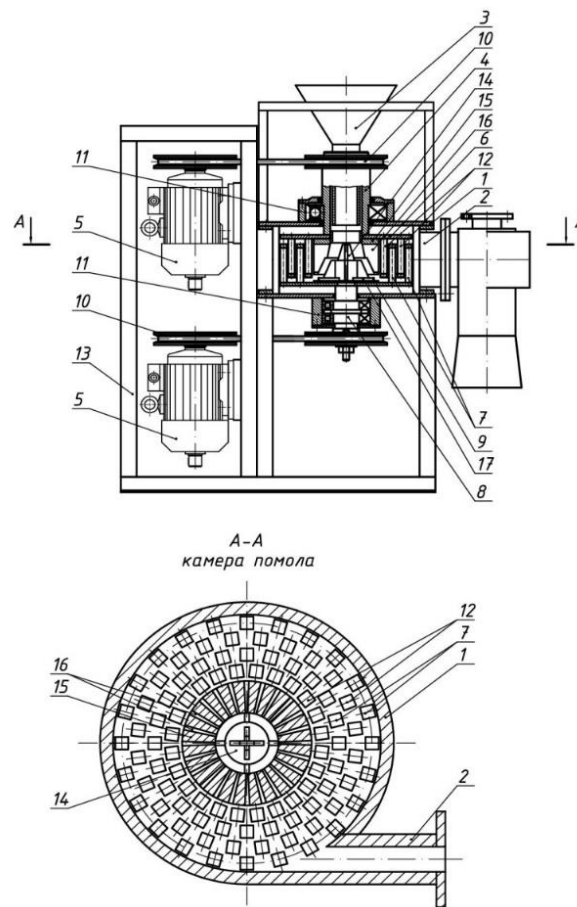


Рис. 1. Дезинтегратор с узлом предварительного измельчения и классификации материала:
 1 – цилиндрический корпус; 2 – тангенциальный разгрузочный патрубок; 3 – загрузочный бункер;
 4 – осевой загрузочный патрубок; 5 – электродвигатели; 6 – верхний горизонтальный диск;
 7 – ударные элементы нижнего горизонтального диска; 8 – вал; 9 – нижний горизонтальный диск;
 10 – клиноременная передача; 11 – подшипниковый узел;
 12 – ударные элементы верхнего горизонтального диска; 13 – рама; 14 – многоступенчатый ротор;
 15 – многоступенчатый корпус; 16 – призматические каналы;
 17 – разбрасывающие лопасти многоступенчатого ротора

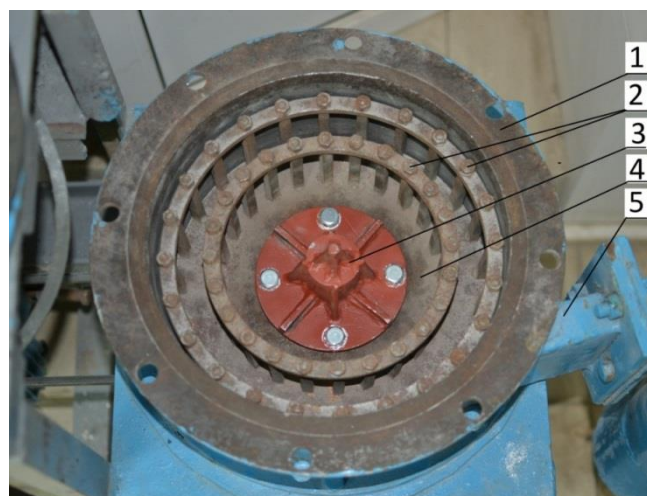


Рис. 2. Многоступенчатый ротор с ударными билами:
 1 – цилиндрический корпус; 2 – ряды ударных элементов нижнего горизонтального диска;
 3 – многоступенчатый ротор; 4 – тангенциальный разгрузочный патрубок.

Объем материала V_1 , перемещаемый всеми ударными билами количеством k_1 верхней ступени определяется следующим выражением:

$$V_1 = l_1 \cdot h_1 \cdot S_1 \cdot k_1, \quad (4)$$

здесь S_1 – длина ударных бил верхней ступени узла предварительного измельчения и классификации; h_1 – высота ударных бил верхней ступени узла предварительного измельчения и классификации.

С учетом выражения (3) соотношение (4) принимает вид:

$$V_1 = \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot H_1}}{n} \cdot h_1 \cdot S_1 \cdot k_1 \quad (5)$$

Для согласованной пропускной способности ударных бил верхней ступени рассматриваемого узла и подачи материала из загрузочного бункера необходимо выполнение следующего равенства:

$$\frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot H_1}}{n} \cdot h_1 \cdot S_1 \cdot k_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{D \cdot g}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha}} \cdot \frac{1}{n}, \quad (6)$$

где D – диаметр загрузочного патрубка, величина которого совпадает с диаметром его выпускного отверстия; α – угол наклона стенок конического загрузочного бункера к вертикали.

Выражение (6) в правой части представляет собой величину объема материала, проходящего через выпускное отверстие диаметром D конического бункера за время одного полного оборота. Величину данного объема находим согласно работе [3].

На основании (6) находим:

$$\sqrt{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{\pi}{8} \cdot \frac{D^2}{S_1 \cdot h_1 \cdot k_1} \cdot \sqrt{\frac{D}{H_1}}. \quad (7)$$

Полученное соотношение (7) устанавливает взаимосвязь между конструктивными параметрами конического загрузочного бункера и параметрами ударных бил верхней ступени узла предварительного измельчения и классификации.

Длина цепочки материала, захватываемого каждым ударным билом нижней ступени, за время одного полного оборота равна:

$$l_2 = T \cdot \mathcal{Q}_2, \quad (8)$$

где $\mathcal{Q}_2$ – скорость поступления материала на ударные била нижней ступени узла предварительного измельчения и классификации.

Величину скорости $\mathcal{Q}_2$ можно принять равной [4]:

$$\mathcal{Q}_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot H_2}, \quad (9)$$

здесь H_2 – расстояние между верхней и нижней ступенями ударных бил узла предварительного измельчения и классификации.

С учетом (9) и (1) формула (8) принимает вид:

$$l_2 = \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot H_2}}{n}. \quad (10)$$

Объем материала, перемещаемого всеми k_2 ударными билами нижней ступени узла предварительного измельчения и классификации за время одного полного оборота равен:

$$V_2 = \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot H_2}}{n} \cdot h_2 \cdot S_2 \cdot k_2, \quad (11)$$

где h_2 и S_2 – соответственно высота и длина ударного била нижней ступени данного узла; k_2 – количество ударных бил нижней ступени данного узла.

В связи с наличием в верхней ступени многоступенчатого корпуса узла предварительного измельчения и классификации сквозных призматических каналов с объемом V_0 каждого через данные призматические каналы материал поступает на второй ряд ударных элементов камеры помола.

Далее будем предполагать, что объем материала, поступающий через призматические каналы верхней ступени многоступенчатого корпуса пропорционален суммарному объему всех призматических каналов с коэффициентом пропорциональности α , равным:

$$\alpha = \frac{k_3 \cdot \Delta}{S_0}, \quad (12)$$

здесь k_3 – количество призматических каналов; Δ – площадь поверхности меньшего основания одного призматического канала; S_0 – площадь внутренней поверхности верхней ступени многоступенчатого корпуса, равная:

$$S_0 = \pi \cdot (R_1 + R_2) \cdot L, \quad (13)$$

где R_1 и R_2 – соответственно радиусы верхнего и нижнего оснований верхней ступени многоступенчатого корпуса; L – длина образующей конической поверхности верхней ступени многоступенчатого корпуса.

На основании изложенного выше уравнение баланса пропускной способности узла предварительного измельчения имеет следующий вид:

$$V_1 = V_2 + \alpha \cdot k_3 \cdot V_0. \quad (14)$$

С учетом (5), (11), (12) и (13) уравнение (14) принимает вид:

$$\frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot H_1}}{n} \cdot h_1 \cdot S_1 \cdot k_1 = \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot H_2}}{n} \cdot h_2 \cdot S_2 \cdot k_2 + \frac{k_3 \cdot \Delta}{\pi \cdot (R_1 + R_2) \cdot L} \cdot V_0. \quad (15)$$

Разрешая уравнение (15) относительно величины V_0 , находим:

$$V_0 = \frac{\pi(R_1 + R_2) \cdot L \cdot \sqrt{2 \cdot g}}{k_3 \cdot \Delta \cdot n} \cdot (h_1 \cdot S_1 \cdot k_1 \cdot \sqrt{H_1} - h_2 \cdot S_2 \cdot k_2 \cdot \sqrt{H_2}). \quad (16)$$

Таким образом, полученные соотношения (5), (11), (14) и (16) позволяют определить пропускную способность проточной зоны между многоступенчатым корпусом и многоступенчатым ротором узла предварительного измельчения и классификации материала в дезинтеграторе с учетом непрерывного отвода частиц через призматические каналы верхней и нижней ступени многоступенчатого корпуса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хинт И.А. Основы производства силикатных изделий. М.: Стройиздат. 1962. 636

Информация об авторах

Семикопенко Игорь Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры механического оборудования.

E-mail: semickopencko.i@yandex.ru, semickopencko.ia@bstu.ru

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

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

Воронов Виталий Павлович, кандидат физико-математических наук, профессор кафедры механического оборудования

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

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

Вялых Сергей Владимирович, аспирант, кафедра механического оборудования.

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

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

Маняхин Алексей Степанович, магистрант, кафедра механического оборудования.

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

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

Поступила в январе 2018 г.

© Семикопенко И.А., Воронов В.П., Вялых С.В., Маняхин А.С., 2018

I.A. Semikopenko, V.P. Voronov, S.V. Vyalykh, A.S. Manyakhin ON THE QUESTION OF THE CAPACITY OF PRELIMINARY MILLING AND MATERIAL CLASSIFICATION UNIT IN A DISINTEGRATOR

One of the drawbacks of the work of disintegrators is the insufficient number of collisions of material particles in the chamber. In this regard, a disintegrator unit was created in which the material is pre-grinded before it is loaded into the grinding chamber. Along with grinding in the loading area, part of the ground material is continuously removed. In this paper we obtain an analytical expression that allows us determining the capacity of the pre-grinding unit and the material classification in the disintegrator. A scheme for determining the capacity of a given node is presented, with account of the continuous removal of small particles through the prismatic channels in the upper stage of the multi-stage housing. Analysis of the obtained correlation allows us making a conclusion that the capacity of the pre-grinding and material classification unit and the amount of the removed product depends on its geometric and technological parameters.

Keywords: multi-stage case, unit, particle, capacity

REFERENCE

1. Hint I.A. Basics of production of silicalcitic products. Moscow: Stroyizdat. 1962, 636 p.
2. The patent of the Russian Federation № 2637216 The disintegrator. Semikopenko I.A., Vyalykh S.V., Gorban T.L., Belyaev D.A. Opubl. 12/01/17. Bull, no.34.
3. Semikopenko I.A., Voronov V.P., Vyalykh S.V. A mathematical description of the process of preliminary destruction of material in the shock-reflective assembly of the disintegrator // Vestnik IrSTU, 2014, no 10, pp. 139–142.
4. Sivukhin D.V. General course of physics. T.1. Mechanics. 4 edition, Moscow: FIZMATLIT, publishing house of MIPT, 2005. 560 p.

Information about the author

Igor A. Semikopenko, PhD, Assistant professor.

E-mail: semickopenko.i@yandex.ru

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

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

Vitaly P. Voronov, PhD, Assistant professor.

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

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

Sergey V. Vyalykh, Research assistant.

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

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

Alexey S. Manyakhin, graduate student.

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

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

Received in January 2018

*Петровский Э.А., д-р техн. наук, проф.,
Соловьёв Е.А., канд. техн. наук, доц.,
Коленчуков О.А., магистрант*

Сибирский федеральный университет, Институт нефти и газа.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТЕШЛАМОВ

OlegAndrenalin.ru@mail.ru

В результате добычи, транспортировки, переработки и хранения нефти происходит образование нефтяных отходов – нефтешламмов. С каждым годом запасы нефтешламмов увеличиваются и копятся в специально построенных хранилищах, занимающих огромные территории и наносящих большой ущерб экологии. Статья посвящена исследованию эффективной и экологически безопасной утилизации отходов нефти и нефтепродуктов. Представлен анализ источников нефтяных загрязнений и их влияния на компоненты природной среды. Приведен обзор существующих термических методов воздействия на углеводородсодержащие отходы. Отмечены основные преимущества и недостатки, свойственные рассмотренным методам. Проанализированы современные установки и разработки направленные на улучшение переработки отходов нефтепродуктов. Установлен наиболее перспективный метод обезвреживания углеродсодержащих отходов. Полученный результат может быть использован нефтеперерабатывающими и нефтедобывающими предприятиями при создании более эффективной технологии утилизации отходов нефтепродуктов и соответствующего оборудования.

Ключевые слова: нефтешлады, утилизация, методы, загрязнение, оборудование, отходы нефтепереработки.

Введение. Нефть и газ – это основные энергоресурсы, которые играют ключевую роль в экономике всех развитых стран мира. Продукты их переработки применяются почти во всех отраслях промышленности, на всех видах транспорта, в строительстве, сельском хозяйстве, энергетике, в быту и т. д. Также из нефти и газа вырабатывают в больших количествах разнообразные химические материалы, пластмассы, синтетические волокна, каучуки, лаки, краски, моющие средства, минеральные удобрения и многое другое. Использование нефти и газа определяет уровень экономического развития и жизни современного человека.

Энергетическое направление в использовании нефти до сих пор остается главным во всем мире. Нефть и природный газ до сих пор являются незаменимыми источниками энергии, они обладают высокой теплотворной способностью и дешевы по сравнению с другими видами топлива.

Источники нефтяных загрязнений. С развитием технологий увеличивается потребление нефти. Ежегодно в России добывается около 400 млн. т. нефти [1], из которых от 1,5 % до 10 % (4,5 % млн. т. за год) теряется при добыче и транспортировке, приводя катастрофическим загрязнениям окружающей среды [2].

Основные источники загрязнения окружающей среды нефтью и нефтепродуктами можно представить в виде табл. 1 [2].

Особо опасны разливы нефти на водных системах. Только в Мировой океан сливается около 10 млн. тонн в год нефтяного сырья (табл. 2) [3]. Одним из источников данного загрязнения является утечка нефти с плавучих буровых установок и морских стационарных платформ как при бурении и добыче нефти, так и при имеющих место авариях.

В результате загрязнения воды нефтью изменяются ее физико-химические свойства (изменение цвета, вкуса, запаха, затемнение и т.д.), ухудшаются условия обитания в воде живых организмов и растительности, затрудняются все виды дальнейшего водопользования [4].

В почву нефть попадает при ее разведке и добыче, при авариях на нефтепроводах, утечках на нефтебазах. Из-за этого площади почв, пригодных для земледелия уменьшаются на 67 млн. га ежегодно [5]. При загрязнении почв нефтью, изменяются свойства почвы, в результате чего её очистка становится затруднительной. Нефть обволакивает почвенные частицы, из-за чего они перестают смачиваться водой и слипаются. В результате гибнет микрофлора и растения не получают должного питания. Со временем, под действием атмосферного кислорода и солнечных лучей нефть может трансформироваться в более окисленное состояние и затвердевать. Из-за этого, при высоких уровнях загрязнения нефтью, почва может напоминать асфальтоподобную массу [5].

Таблица 1

Источники загрязнения окружающей среды

Деятельность	Виды загрязнения	Характеристика
Добыча и подготовка	Проливы	Грунт с нефтепродуктами, содержащий в своем составе до 20 % нефтепродуктов и от 80 % механических примесей.
Транспортировка	Морским транспортом	Представляет собой эмульсию I рода с содержанием воды до 95 %, если загрязнение произошло вблизи побережья, то содержание воды – до 80 %, грунта до 30 %, нефтепродукта до 20 %.
	Сухопутным транспортом	Грунт с нефтепродуктами, содержащий в своем составе до 20 % нефтепродуктов и от 80 % механических примесей.
	Трубопроводным транспортом	
	Разливы	
Переработка	Очистные мероприятия (защитка резервуаров)	Нефтепродукты с механическими примесями до 5 %, эмульгированная вода до 10 %.
	Очистные сооружения	В зависимости от уровня шламонакопителя: верхний слой – до 80 % нефтепродукта, до 20 % воды, до 5 % мех. примесей; средний слой – до 90 % воды, до 10 % мех. примесей, до 10 % нефтепродукта; нижний слой (донный ил) – илистое с содержанием нефтепродукта до 1 %.
Хранение	Разливы объекта хранения нефтепродуктов	Грунт с нефтепродуктами, содержащий в своем составе до 20 % масс. нефтепродуктов и от 80 % масс. механических примесей
	Очистные мероприятия (защитка резервуаров)	Нефтепродукты с механическими примесями до 5 %, эмульгированная вода до 10 %.

Таблица 2

Источники поступления нефтяных углеводородов в Мировой океан

Источник	млн. т/год
Морская транспортировка (кроме аварийных разливов)	1,83
Аварийные разливы	0,3
Речной сток, включая сточные воды городов	1,9
Сточные воды прибрежной зоны	0,8
Атмосферные осадки	0,6
Естественные нефтяные скважины	0,6
Добыча нефти в море	0,08
Всего:	6,11

Нефть очень токсична для высших растений при концентрации более 2 г на 1 кг почвы. Это приводит к задержке в их развитии [1].

Также при разливах нефти образуются пары, которые попадая в атмосферу, наносят серьезный вред человеческому организму в результате интоксикации. Такие проблемы возникают при возникновении ситуации, когда взаимодействие летучих углеводородов, входящих в состав нефти и нефтепродуктов, окислов азота и ультрафиолетового излучения приводит к образованию смога. В таких случаях количество серьезно пострадавших может составлять тысячи человек [6].

Остатки тяжелых компонентов нефти после различных видов деятельности (добыча, переработка и т.д.) сливаются в специальные вырытые в земле углубления (амбары, пруды-

отстойники), где образуются так называемые нефтяные шламы (нефешламы) [7], то есть сложные физико-химические смеси, которые состоят из нефтепродуктов, механических примесей (глины, окислов металлов, песка) и воды. Соотношение составляющих элементов в нефешламах может быть самым различным, поэтому переработка нефешламов является достаточно сложным мероприятием.

Методы борьбы с нефешламами. В настоящее время используют термические, химические, биологические, физико-химические, комбинированные методы переработки и утилизации нефешламов [8]. При этом термические методы переработки нефешламов по сравнению с остальными обладают рядом существенных преимуществ. К ним относится отсутствие дорогостоящих стадий разделения; возможность переработки сырья с высокой зольностью; отказ от использования расходных материалов (растворителей и микроорганизмов); отсутствие отходов и продуктов, требующих утилизации (фильтрующие элементы, гидрофобные капсулированные продукты и т.п.) [9].

Термические методы предусматривают тепловое воздействие на отходы, что приводит к разложению исходного сырья на составные части. Основные виды термических методов это: сжигание, газификация, пиролиз, нагревание на воздухе, в вакууме и т.д. Также данные методы обычно включают в себя такие стадии как под-

готовка шлама к переработке, высокотемпературная обработка, многоступенчатая очистка газов, утилизация тепла, получение побочных органических (газообразное и жидкое топлив) и минеральных продуктов (оксиды, цемент, минеральные соли) [10, 11].

Наибольшее распространение получили следующие три метода: сжигание, газификация, пиролиз. Существенное их различие заключается в количестве используемого кислорода [12]. Рассмотрим по отдельности каждый из них.

Сжиганием называется контролируемый процесс окисления различных видов отходов, в результате чего образуются диоксид углерода, вода и зола. В свою очередь, сера и азот, содержащиеся в отходах, образуют при сжигании различные оксиды, а хлор восстанавливается до HCl . Кроме газообразных продуктов при сжигании отходов образуются различные твердые частицы (металлы, стекло, шлаки и др.) которые требуют дальнейшей утилизации или захоронения [13].

Как правило, сжиганию подвергаются углеводородсодержащие отходы дальнейшая переработка которых является затруднительной и затратной [14].

Сжигание производят в печах различной конструкции, при высоких температурах (не менее $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$). Для устранения эффекта резкого понижения концентрации кислорода в реакторе печи оборудуют системами остановки подачи отходов до момента восстановления концентрации кислорода до оптимальной или быстрой инъекции кислорода в зону горения (инсинераторы фирм УралАгроМаш, ПрехQig и др.) [13,14].

Обычно процесс сжигания протекает в пять стадий (сушка, газификация, воспламенение, горение и дожигание), которые, как правило, протекают последовательно, но иногда и одновременно [13].

Для утилизации нефтешламов методом сжигания используют следующие виды печей:

1) Вращающиеся печь. Представляет собой цилиндрическую конструкцию облицованную термоизоляцией, расположенную горизонтально с небольшим уклоном. Температура горения от 850°C до $1650\text{ }^{\circ}\text{C}$, время конверсии может длиться от нескольких секунд до нескольких часов. Дополнительно во вращающейся печи может находиться еще одна камера сгорания, в ней происходит дожигание несгоревших частей углеводородов (температура камеры $820\text{--}890\text{ }^{\circ}\text{C}$). Также существуют и барабанные вращающиеся печи, они оснащены шнековыми питателями и требуют дополнительной подготовки (разделе-

ние, измельчение) отходов перед сжиганием [14].

2) Печи с «кипящим слоем». Принцип работы печи данного типа состоит в подаче газового потока под слой дисперсного материала (размер частиц $1\text{--}5\text{ мм.}$), в таком случае, при определенной скорости газов слой переходит в режим витания, образуя псевдооживленное состояние, что обеспечивает контакт газов со значительно большей поверхностью частиц, таким образом ускоряется сгорание отходов (температура порядка $600\text{--}1100\text{ }^{\circ}\text{C}$) [14].

3) Колосниковые и ретортные печи. Для утилизации небольшого количества твердых нефтесодержащих отходов широкое распространение получили колосниковые печи. Распространенность данного вида печей обусловлена за счет низкой стоимости и высокой надежности конструкции печи. Недостатком такого вида печей является невозможность сжигания жидких нефтешламов, для которых используются ретортные печи [14].

Кроме печей также получили применение установки для сжигания жидких нефтесодержащих отходов типа «Вихрь-1» (трубобарботажная установка) или «Форсаж-1» (рис. 1) [14,15]. Данные установки имеют высокий КПД, возможность утилизации маслоотходов с содержанием минеральных примесей и влаги до 80% [12].

К недостаткам всех вышеперечисленных установок, работающих по принципу прямого сжигания, следует отнести:

- неэкологичность из-за образования при сжигании термоустойчивых и токсичных соединений (полиароматических углеводородов, диоксинов и фуранов) в отходящих газах, а также выбросов в атмосферу значительных количеств тяжелых металлов (свинца, кадмия, ртути, ванадия и др.);

- низкая эффективность с точки зрения уничтожения ценных компонентов, которые можно использовать как вторичное сырьё [16,17].

Ещё одним эффективным методом утилизации углеродсодержащих отходов является газификация. Газификация представляет собой термохимический высокотемпературный процесс взаимодействия органической массы с газифицирующими агентами или преобразование органической части твердого (жидкого) топлива в горючие газы при высокотемпературном нагреве с окислителем (кислород, воздух, водяной пар и др.). В результате газификации образуются только газообразные компоненты. Сам процесс протекает в специальных колоннах, называемых генераторами, а все газы, получаемые при газификации,

фикации, называют генераторными газами [13, 16].

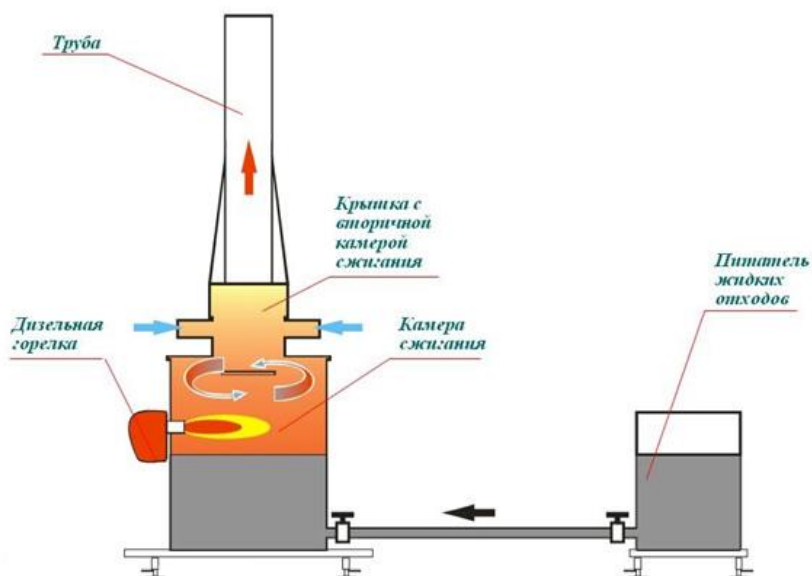


Рис. 1. Установка для сжигания промышленно-бытовых отходов серии «Форсаж»

Газогенерация состоит из четырех стадий: нагрев (100–150 °C), сушка (150–200 °C), сухая перегонка (начинается при 250–550 °C и заканчивается при 800 °C), газификация (1000–1500 °C) [16]. Основная особенность процесса газификации заключается в том, что в отличие от сжигания в реакторе газовая фаза имеет восстановительные свойства. Именно поэтому образование оксида азота и серы термодинамически невыгодно, вследствие этого вредных выбросов в атмосферу от газификаторов меньше, чем от печей сжигания [14]. Газификация может осуществляться в плотном слое под давлением и псевдоожиженном слое [12]. Состав и свойство получаемого газа зависит от типа окислителя и состава сырья. Способы получения генераторных газов представлены в табл. 3 [16].

Таким образом, метод газификации имеет следующие преимущества по сравнению с методом прямого сжигания:

- использование получаемых горючих газов и смолы в качестве топлива или сырья;
- возможность получения различных видов продуктов (вариативность);
- уменьшение вредных выбросов в атмосферу (по сравнению с сжиганием) [13].

К недостаткам данного метода относятся:

- выбросы вредных веществ в атмосферу (хотя и меньшие, по сравнению с сжиганием);
- возможность загрязнения вырабатываемого газа продуктами полукоксования;
- необходимость захоронения золы остающаяся после процесса газификации.

Последним из рассматриваемых методов борьбы с углеродсодержащими отходами явля-

ется пиролиз. Пиролиз представляет собой контролируемое термическое разложение исходного сырья на составные части и является одним из самых перспективных направлений утилизации нефтешламов на сегодняшний день [18].

Таблица 3

Способы получения генераторных газов

Название генераторного газа	Способ получения и состав
Воздушный газ	Получают при чисто воздушном дутье, целевым компонентом является CO
Кислородный газ	Образуется при чисто кислородном дутье, содержит 95–97 % CO
Парокислородный газ	Получается при использовании парокислородного дутья, содержит 95–97 % CO и H ₂ (синтез газ)
Паровоздушный газ	Образуется при продувке генератора соответствующей смесью, является дешевым и распространенным видом газообразного топлива
Водяной газ	Содержит до 86 % CO и H ₂ , используется для синтеза аммиака, метанола, этанола, детергентов, жидких топлив и парафинов
Полуводяной газ	Содержит в основном CO, CO ₂ , H ₂ и N ₂ , используется непосредственно для получения аммиака

В зависимости от температуры различают три вида пиролиза:

- Низкотемпературный пиролиз или полукоксование. Процесс протекает при 450–550 °С и характеризуется минимальным выходом газа, максимальным количеством жидкого продукта и твердого остатка (полукокса). При этом, газ образующиеся при данном виде пиролиза, обладает максимальной теплотой сгорания, а полукоксы можно использовать в качестве энергетического и бытового топлива. Жидкие продукты (нефтяной конденсат) образуются в количестве 29 % от исходной массы, теплота сгорания нефтяного конденсата составляет 9000 ккал/кг [13, 14, 19];

- Среднетемпературный пиролиз или среднетемпературное коксование. Данный процесс протекает при температуре до 800 °С и характеризуется увеличением выхода газа (по сравнению с низкотемпературным пиролизом), одновременно снижается выход жидкого и твердого продуктов, при этом, теплота сгорания газа снижается [13, 14, 19];

- Высокотемпературный пиролиз или коксование. Процесс проводят при 900–1050 °С. При такой температуре количество образующихся газов максимально, а выход жидкого и твердого продуктов сведен к минимуму, при этом, газ имеет самую низкую теплоту сгорания [13, 14, 19].

По видам реакции различают окислительный и сухой пиролиз. При окислительном пиролизе происходит термическое разложение углеводородсодержащих отходов, при этом происходит их частичное сжигание. Данный метод хорошо применим к отходам (вязкие, пастообразные и др.) которые затруднительно перерабатывать сжиганием или газификацией. Сухой пиролиз представляет собой термическое разложение углеводородсодержащих отходов без доступа кислорода. Данный метод обеспечивает перера-

ботку отходов и получение полезных продуктов используемых в качестве топлива и химического сырья. В результате сухого пиролиза образуется газ (пиролизный газ), жидкие продукты и твердый углеродистый остаток [14].

В 2014 году компанией IPEC (international power ecology company) промышленной группы «Безопасные Технологии» была испытана и введена в эксплуатацию на Вынгапурском нефтегазовом месторождении в Тюменской области установка УТД-2 (установка термической деструкции) (рис. 2), способная перерабатывать любые буровые отходы и нефтешламы независимо от их состава методом технологии низкотемпературного пиролиза [20]. На выходе получают кондиционные продукты: синтетическое топливо и технический углерод. Пиролизный газ используется в качестве топлива для самой установки, что играет важную роль в низком потреблении энергоносителей для её функционирования (дизельное топливо требуется только для разогрева установки до выхода на технологический режим). Производительность установки непрерывного цикла - до 1500 кг/час, причем вследствие конструктивных особенностей возможна одновременная подача жидкого и сухого сырья. Работа установки заключается в следующем. Углеродсодержащий отход с помощью шнека загружаются в камеру пиролиза, где происходит их термическое разложение. Отходящий пирогаз попадает в систему фильтров и конденсаторов, где происходит очистка и сепарация паров жидкой фракции, воды и газа. Пройдя очистку, продукт конденсируется и собирается в ёмкость хранения. Вся установка герметична, включая и систему выгрузки твердого остатка, поэтому её воздействие на окружающую среду минимально.



Рис. 2. Установка термической деструкции «УТД-2»

Данная установка пользуется хорошим спросом, так, например, в 2017 была отгружена первая пиролизная установка УТД для компании

ПАО «НК «Роснефть», а также осуществляется изготовление установок УТД для таких крупных компаний как ОАО «Газпромнефть-

Ноябрьскнефтегаз» и ООО «Лукойл-Коми» (ПАО «Лукойл») [21].

Существующие разработки. На сегодняшний день существует множество разработок реакторов для осуществления пиролиза, рассмотрим наиболее перспективные из них.

Известен реактор для переработки органических отходов и нефтешламов [22]. Путем введения лазера импульсного типа, установки в ресивере оптической линзы, выполнения такого расположения лазера, оптической линзы и щелевого паза по одной вертикальной оси, при котором лазерный луч проходит до уровня расположения щелочного электролита в камере газификации, обеспечивается такая высокая температура пиролиза отходов, при которой содержащаяся в отходах влага мгновенно распадается на молекулы кислорода и водорода. Посредством введения лазера импульсного типа и мембранного кислородного генератора, заполнения камеры газификации щелочным электролитом обеспечивается одновременно течение процесса пиролиза и газификации с получением в виде конечного продукта метана, пригодного для использования в качестве топлива. В результате того, что в узле фильтрации находится молотая смесь солей с негашеной известью, в канал шнекового транспортера выходит первое выходное отверстие ресивера, а выходное отверстие узла фильтрации соединено с каналом шнекового транспортера, обеспечивается очистка газообразных продуктов пиролиза от диоксинов и фуранов. Посредством выполнения в узле загрузки отходов экструдера и камеры прессования газообразные продукты пиролиза, содержащие диоксины и фураны, не проходят через экструдер в атмосферу. Техническим результатом изобретения является понижение требований к влажности органических отходов и нефтешламов, повышение эффективности и экологичности процесса переработки отходов и нефтешламов [22].

Известно устройство для переработки отходов нефти с высоким содержанием кислотосодержащих веществ и тяжелых парафинов в полезную продукцию [23]. Целью изобретения служит устройство, для переработки отходов нефти с высоким содержанием кислотосодержащих веществ и тяжелых парафинов в полезные продукты, нагревая до высокой температуры в условиях низкого вакуума, с высоким КПД (коэффициент полезного действия) использования первичного потока энергии излучателя. Технический результат достигается тем, что устройство для переработки отходов нефти с высоким содержанием кислотосодержащих веществ и тяжелых парафинов в полезные продукты выполнено из корпуса с полостью и нагрева-

теля поверхности, отличающееся тем, что отходы нефти смешаны с карбонатом кальция, а полость выполнена в форме правильного цилиндра с пазом вдоль оси вращения, а сам корпус выполнен из жаропрочного материала с полированной внутренней поверхностью и имеет в пазе трубу для подачи отходов нефти через плоскую фильеру на барабан на валу, на оси вращения цилиндра, причем на обоих торцах барабана расположены два диска, имеющие высокую разность электрического потенциала, а также в пазу корпуса расположена труба для удаления продуктов пиролизного газа и для создания низкого вакуума, а также в корпусе расположено окно для удаления шлака, причем торцевые поверхности полости цилиндра в корпусе полированные, и на поверхности барабана и обоих дисков располагается скребок, жестко закрепленный внутри корпуса [23].

Известны способ и устройство переработки бытовых и промышленных органических отходов [24]. Данный способ включает в себя проведение первой низкотемпературной стадии пиролиза в первой части реактора и второй высокотемпературной стадии пиролиза во второй части реактора, разделение продуктов пиролиза на фракции и переработку каждой фракции с получением полезных продуктов. Устройство для переработки бытовых и промышленных органических отходов содержит реактор пиролиза, состоящий из первой и второй частей, систему разделения парогазовых продуктов пиролиза, источник электромагнитного воздействия, установленный на второй части реактора, выход которой соединен системой разделения парогазовых продуктов пиролиза. Технический результат: повышение эффективности процесса переработки бытовых и промышленных органических отходов с получением из органических отходов ценных продуктов в виде твердых, жидких и газообразных топливных компонентов [24].

Заключение. Таким образом, термические методы переработки нефтешламов являются наиболее эффективными на сегодняшний день, а пиролизный метод является самым перспективным направлением борьбы с данными видами отходов. Пиролиз характеризуется такими преимуществами как отсутствие вредных выбросов в атмосферу; возможность получения полезных продуктов; отсутствие необходимости сортировки сырья перед загрузкой в реактор. При этом не до конца решены задачи связанные со снижением капитальных затрат и энергообеспечения процесса. Первая задача должна решаться путём оптимизации конструкции пиролизного реактора. А вторая – путем обеспечения энерго-

независимости. Например за счёт использования вырабатываемого газа на месте в качестве топлива для поддержания теплового режима процесса пиролиза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каблов В.Ф., Иошенко Ю.П. Проблема сбора нефти и нефтепродуктов при аварийных разливах: отчет о НИР // Волжский политехнический институт (филиал) Волгоградского государственного технического университета. 2004. 2 с.
2. Ахметов А.Ф., Гайсина А.Р., Мустафин И.А. Методы утилизации нефтешламов различного происхождения // Нефтегазовое дело. 2011. Том 9. № 3. С. 108 – 111.
3. Владимиров В.А. Разливы нефти: причины, масштабы, последствия // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. Серия: Охрана окружающей среды. Экология человека. 2014. Том 4. № 1. С. 217–229.
4. Другов Ю.С., Родин А.А. Экологический анализ при разливах нефти нефтепродуктов. Спб: Анатолия, 2000. 250 с.
5. Суть проблемы загрязнения природы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://deit.name/2011/10/суть-проблемы-загрязнения-природы/> Дайджесты про экономику, инвестиции, технологии и про то, что это окружает (дата обращения: 06.02.2018).
6. Давыдова С.Л., Тагасов В.И. Нефть и нефтепродукты в окружающей среде. Учебное пособие. М.: Изд-во РУДН, 2004. 163 с.
7. Вайсман Я.И. [и др.]. Исследования физико-химических свойств и термической деструкции отходов нефтеперерабатывающих предприятий // Научные исследования и инновации. 2010. Том 4. №3. С. 21–27.
8. Мазлова Е.А., Мещеряков С.В. Проблема утилизации нефтешламов и способы их переработки. Учебное пособие. М.: Ноосфера, 2001. 52 с.
9. Чалов К.В. Каталитический пиролиз нефтешламов: автореф. дис. канд. техн. наук. Москва, 2013. 18 с.
10. Гринин А.С., Новиков В.Н. Промышленные и бытовые отходы: Хранение, утилизация, переработка. Учебное пособие. М.: ФАИР – ПРЕСС, 2002. 336 с.
11. Багрянцев Г.И., Черников В.Е. Термическое обезвреживание и переработка промышленных и бытовых отходов // Муниципальные и промышленные отходы: способы обезвреживания и вторичной переработки – аналитические обзоры. Серия Экология. Новосибирск, 1995. С. 128–137.
12. Лотош В.Е. Переработка отходов природопользования. Екатеринбург: Изд-во ПОЛИГРАФИСТ, 2007. 503 с.
13. Бобович Б.Б. Переработка промышленных отходов. Учебник для вузов. М.: СП Интермет Инжиниринг, 1999. 445 с.
14. Бахонина Е.И. Современные технологии переработки и утилизации углеводородсодержащих отходов // Башкирский химический журнал. 2015. Том 22. №1. С. 20 – 29.
15. Установка «Форсаж-1» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.ecoOilgas.ru/ru/catalogue/04/cat_04_01.php ЭКОсервис – НЕФТЕГАЗ (Дата обращения: 06.02.2018).
16. Поташников Ю.М. Утилизация отходов производства и потребления. Учебное пособие. Тверь: Изд-во ТГТУ, 2004. 107 с.
17. Глушникова И.С. [и др.]. Возможные направления использования остатков после термообработки нефтесодержащих отходов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2013. №1. С. 45–56.
18. Шантарин В.Д. Безальтернативный метод утилизации углеродсодержащих отходов // Научное обозрение. Технические науки. 2016. №2. С. 71–74.
19. Соколов [и др.]. Утилизация отходов производства и потребления. Учебное издание. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2006. 388 с.
20. Янковой Д.С. Новая технология утилизации нефтешламов // Экология производства. 2014. №9. С. 47–51.
21. Проекты [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://i-pec.ru/category/referens> International power ecology company (Дата обращения: 06.02.2018).
22. Пат. 2406031 С1 Российская Федерация, МПК F23G 5/00. Реактор для переработки органических отходов и нефтешламов / В.В. Масленников, В.И. Баженов, Н.А.Зудилин; заявитель и патентообладатель Масленников Владимир Васильевич. № 2009130472; заявл. 11.08.09; опубл. 10.12.2010, Бюл. № 34. 8 с.
23. Пат. 2451039 С2 Российская Федерация, МПК C08J 11/00, F23G 7/05, C10G 9/08, C10G 9/42. Устройство для переработки отходов нефти с высоким содержанием кислотосодержащих веществ и тяжелых парафинов в полезную продукцию / А.Е. Насонов; заявитель и патентообладатель Насонов Александр Ефимович. – № 2010154601; заявл. 30.12.10; опубл. 20.05.2012, Бюл. № 14. 7 с.
24. Пат. 2392543 С2 Российская Федерация, МПК F23G 5/027, F23G 5/20. Способ и устройство переработки бытовых и промышленных органических отходов / С.Г. Гага; заявитель и

патентообладатель Закрытое акционерное общество «Финансово-промышленная группа «Теза-

урум». № 2008107014; заявл. 22.02.08; опубл. 20.06.2010, Бюл. № 17. 16 с.

Информация об авторах

Петровский Эдуард Аркадьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологических машин и оборудования нефтегазового комплекса.

E-mail: petrovsky_quality@mail.ru.

Сибирский федеральный университет, Институт нефти и газа.

Россия, 660041, Красноярск, Свободный просп., д. 82, строение 6.

Соловьёв Евгений Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологических машин и оборудования нефтегазового комплекса.

E-mail: easoloviov@mail.ru.

Сибирский федеральный университет, Институт нефти и газа.

Россия, 660041, Красноярск, Свободный просп., д. 82, строение 6.

Коленчуков Олег Александрович, магистрант кафедры технологических машин и оборудования нефтегазового комплекса.

E-mail: OlegAndrenalin.ru@mail.ru.

Сибирский федеральный университет, Институт нефти и газа.

Россия, 660041, Красноярск, Свободный просп., д. 82, строение 6.

Поступила в февраль 2018 г.

© Петровский Э.А., Соловьёв Е.А., Коленчуков О.А., 2018

E.A. Petrovsky, E.A. Solovyev, O.A.Kolenchukov **MODERN TECHNOLOGIES OF OIL SLUDGE PROCESSING**

As a result of oil production, transportation, processing and storage, the oil waste is generated – namely, the oil sludge. Every year the oil sludge reserves increase and are accumulated in specially constructed storage facilities that occupy vast territories and cause great damage to the environment. The article is devoted to the efficient and environmentally safe disposal of waste oil and petroleum products. It presents an analysis of the sources of oil pollution and their impact on environmental components. The review of existing thermal methods of hydrocarbon waste treatment is given. The principal advantages and disadvantages of the methods are considered. The article analyzes the current installations and designs aimed at improving the processing of waste oil. The most promising method of disposal of carbon-containing waste is determined. The obtained result can be used by oil-refining and oil-producing companies when creating more efficient technologies for recycling waste petroleum products and using the required equipment.

Keywords: oil sludge, disposal, methods, pollution, equipment, petroleum processing waste.

REFERENCES

1. Kablov V.F., Ioschenko Ju.P. The problem of collecting oil and oil products in case of emergency spills: a report on research // Volzhsky Polytechnic Institute (branch) of the Volgograd State Technical University, 2004, 2 p.

2. Ahmetov A.F., Gajsina A.R., Mustafin I.A. Methods of utilization of oil sludge of different origin // Oil and gas business, 2011, Vol. 9, no. 3, pp. 108–111.

3. Vladimirov V.A. Oil spills: causes, scales, consequences // Civil defense strategy: problems and research. Series: Environmental protection. Human Ecology, 2014, Vol. 4, no. 1, pp. 217–229.

4. Drugov Ju.S., Rodin A.A. Ecological analysis for oil spills of petroleum products. St. Petersburg: Anatolia. 2000, 250 p.

5. The essence of the problem of pollution of nature. Available at: [http://deit.name/2011/10/суть-](http://deit.name/2011/10/суть-проблемы-загрязнения-природы)

[проблемы-загрязнения-природы](http://deit.name/2011/10/суть-проблемы-загрязнения-природы) / (accessed 6 February 2018).

6. Davydova S.L., Tagasov V.I. Oil and oil products in the environment. Tutorial. Moscow: PFUR. 2004, 163 p.

7. Vajsman Ja.I.[et al.]. Research of physical and chemical properties and thermal destruction of waste products of oil refineries // Scientific research and innovations, 2010, Vol. 4, no. 3, pp. 21–27.

8. Mazlova E.A., Mescherjakov S.V. The problem of utilization of oil sludge and ways of their processing. Tutorial. Moscow: Noosphere. 2001, 52 p.

9. Chalov K.V. Catalytic pyrolysis of oil sludge: avtoref. dis. Cand. tech. sciences. Moscow, 2013. 272 p.

10. Grinin A.S., Novikov V.N. Industrial and household waste: Storage, utilization, processing. Tutorial. Moscow: FAIR - PRESS. 2002, 336 p.

11. Bagrjantsev G.I., Chernikov V.E. Thermal neutralization and processing of industrial and domestic wastes // Municipal and industrial waste: methods of neutralization and recycling - analytical reviews. Ecology series. Novosibirsk, 1995, pp. 128–137.
12. Lotosh V.E. Processing of environmental waste. Ekaterinburg: POLYGRAPHIST. 2007, 503 p.
13. Bobovich B.B. Processing of industrial waste. Textbook for high schools. Moscow: Intermet Engineering. 1999, 445 p.
14. Bahonina E.I. Modern technologies of processing and utilization of hydrocarbon-containing waste // Bashkirsky Chemical Journal, 2015, Vol. 22, no. 1, pp. 20 – 29.
15. Installation "Forsag-1". Available at: http://www.ecooilgas.ru/ru/catalogue/04/cat_04_01.php (accessed 6 February 2018).
16. Potashnikov Ju.M. Utilization of production and consumption wastes. Tutorial. Tver: TSTU. 2004, 107 p.
17. Glushnikova I.S. [et al.]. Possible uses of residues after heat treatment of oily waste // Transport. Transport facilities. Ecology, 2013, no. 1, pp. 45 – 56.
18. Shantarin V.D. Non-alternative method of utilization of carbonaceous wastes // Scientific review. Technical science, 2016, no. 2, pp. 71–74.
19. Sokolov [et al.]. Utilization of production and consumption wastes. Educational edition. Yaroslavl: YSTU. 2006, 388 p.
20. Jankovoj D.S. New technology of oil sludge utilization // Ecology of production, 2014, no. 9, pp. 47–51.
21. Projects. Available at: <http://ipec.ru/category/referens> (accessed 6 February 2018).
22. Maslennikov V.V., Bazhenov V.I., Zudilin N.A. Reactor for processing of organic waste and oil sludge. Patent RF, no. 2009130472, 2010.
23. Nasonov A.E. Device for processing oil waste with a high content of acid-containing substances and heavy paraffins in useful products. Patent RF, no. 2010154601, 2012.
24. Gaga S.G. Method and device for processing domestic and industrial organic waste. Patent RF, no. 2008107014, 2010.

Information about the author

Eduard A. Petrovsky, PhD, Professor.

E-mail: petrovsky_quality@mail.ru.

Siberian Federal University, Institute of oil and gas.

Russia, 660041, Krasnoyarsk, Svobodnyy ave., 25, building 6.

Eugene A. Solovyev, PhD, Assistant professor.

E-mail: easoloviov@mail.ru.

Siberian Federal University, Institute of oil and gas.

Russia, 660041, Krasnoyarsk, Svobodnyy ave., 25, building 6.

Oleg A. Kolenchukov, Master student.

E-mail: OlegAndrenalin.ru@mail.ru.

Siberian Federal University, Institute of oil and gas.

Russia, 660041, Krasnoyarsk, Svobodnyy ave., 25, building 6.

Received in February 2017

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

DOI: 10.12737/article_5ac24a2deda988.15230571

Старикова М.С., д-р экон. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

АДАПТАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ПРЕДПРИЯТИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

starikova.ms@bstu.ru

В статье проведен анализ системы деловых взаимодействий предприятия промышленности строительных материалов. Выделены группы вертикальных и горизонтальных взаимодействий. Показано, что интеграция на современных рынках осуществляется в мягких формах и носит партнерский характер, позволяя предприятиям повысить степень адаптивности к возмущениям внешней среды. Ключевыми тенденциями, определяющими систему вертикальных взаимодействий предприятия промышленности строительных материалов, становится необходимость совершенствования способов поставки сырья, укрепление позиций розничных сетей в цепях поставок, необходимость внедрение концепции CRM. В статье предложена методика оценки адаптационного потенциала вертикальных взаимодействий предприятия промышленности строительных материалов, позволяющая оценить возможную степень влияния сотрудничества с субъектом рынка на приспособляемость производителя к изменяющимся условиям внешней среды. В результате апробации методики осуществлена классификация форм вертикальных взаимодействий по влиянию на признаки адаптивности производителей строительных материалов.

Ключевые слова: адаптивность предприятия, адаптационный потенциал, деловое взаимодействие, партнерство.

Введение. В настоящее время наиболее ярко обнаруживает себя нестабильность в экономической и политической сферах, следствием которой является изменение институциональных условий ведения бизнеса. Циклические факторы раскрывают себя на фоне перманентно происходящего распространения влияния транснациональных корпораций и изменения формата конкуренции. Для промышленности строительных материалов (ПСМ) влияние ТНК проявляется через их деятельность в добывающих отраслях. Диффузия информационно-коммуникационных технологий формирует предпосылки для взаимопроникновения экономик предприятий, для интеграции баз данных. По мнению некоторых ученых, «новая экономика» представляет собой совокупность отраслей, характеризующихся большим вкладом человеческого капитала по сравнению с материально-вещественными элементами [1]. В ней отношения и связи воспринимаются как специфический нематериальный ресурс, а центральной стратегической задачей бизнес-организаций становится не обладание долей рынка, размер которой никогда не является величиной постоянной, а формирование эффективного «портфеля отношений», обеспечивающего предприятию правильность выбора бизнес-сети, его места в цепочке создания ценности [2]. В этом контексте, следует отметить, что современный маркетинг сегодня не столько реагирует на потребности и

спрос, сколько сам активно формирует и потребности и спрос на них, делая акцент на привлечении потребителя и построение с ним взаимно полезных отношений [3]. Отсюда получает приоритет проблема управления базами данных клиентов.

Развитие научно-технического прогресса способствует созданию среды, где инновации зарождают жизненные циклы новых партнерских пространств, в том числе кластерных [4]. Вместе с тем, исторически сложившиеся формы бизнес-интеграции под влиянием обозначенных предпосылок в настоящее время видоизменяются. Трансформация корпоративной организации, внедрение новейших информационных технологий, увеличение степени логистического взаимодействия и распространение партнерских взаимоотношений, возникновение гетерархических структур, размывание организационных границ предприятий и переориентация их деловых процессов на взаимодействие с конкурентами и субподрядчиками, сетевизация экономики обуславливают все более часто происходящую, по мнению некоторых авторов [5], мобилизацию преимуществ могущественной корпоративной структуры в рамках стратегических альянсов и консорциумов. Иными словами, современные интеграционные образования все больше сосредоточены на инвестировании проектов, а не активов, что было характерно для вертикальной интеграции и свойственным ей

слияниям и поглощениям. Критерий партнерства становится определяющим при интеграции [6]. Он рассматривается исследователями и как необходимое оценочное звено инновационного процесса [7]. Партнерские отношения характерны также для различных форм социального, образовательного и государственного сотрудничества промышленных предприятий [8, 9, 10], в том числе в строительной индустрии. В конечном счете, они определяют стратегическое развитие предприятий промышленности строительных материалов [11].

Можно заключить, что для современной бизнес-среды, особенно на рынках B2B, к которым относится рынок строительных материалов, характерны не столько процессы объединения активов, сколько процессы формирования системы деловых взаимодействий (ДВ). При этом интеграция, основанная на деловом взаимодействии, в отличие от «мягкой» формы интеграции может осуществляться без предшествующей ей концентрации ресурсов в рамках укрупненной структуры субъектов рынка. Вместе с тем, в отличие от аутсорсинговой и виртуальной форм она предполагает более постоянные модели партнерства.

Факторами, наиболее сильно влияющими на формирование системы ДВ предприятия ПСМ, на макро-уровне становятся: изменения в темпах экономической активности, кризисы и

вызванные ими вариации мер государственного регулирования, трансформация международной конкуренции, развитие информационно-коммуникационных технологий. На мезоуровне наиболее значимыми факторами мы считаем сформировавшиеся тесные внутри- и межотраслевые связи, сверхфрагментацию рынков, аморфность отраслевых структур и границ, мобильность ресурсов, технологическую и отраслевую конвергенцию. Во внутренней среде предприятий ПСМ рост числа взаимодействий вызывают негативные (недостаточность компетенций и ресурсов, исчерпанный потенциал сбыта, кризис менеджмента и пр.) и трансформационные (обладание уникальными навыками и знаниями, мотивация владельца бизнеса к успеху, высокая зависимость от контрагентов и пр.) причины.

Поскольку предприятие ПСМ, как правило, является сложной структурой, зачастую включенным в деловую сеть, необходимо осознавать все направления взаимодействий с компаниями, входящими в цепь поставки. Традиционные рынки заменяются в настоящее время сетями взаимосвязанных фирм и других субъектов (правительственных, общественных, научно-исследовательских организаций). В трактовке групп взаимодействия промышленной компании мы опираемся на исследование К. Мелера и А. Халинена [12] (рис. 1).



Рис. 1. Основные группы взаимодействия субъекта ПСМ

Иными словами, целесообразно выделять группы вертикальных (поставщики, покупатели) и горизонтальных ДВ (конкуренты, некоммерческие организации). В литературе горизон-

тальные взаимодействия называют также относительными партнерствами, выделяя их наряду с партнерствами поставщиков и покупателей [13].

Поставщики и покупатели, образующие систему вертикальных взаимодействий промышленного предприятия, чаще всего вступают в договорные и административные (основанные на финансовой мощи и размере одного из участников) интегративные формы сотрудничества. К их числу мы относим: 1) аутсорсинг части или всех функций снабжения поставщику; 2) сотрудничество в сформированной цепи поставки (SCM); 3) встречную торговлю (толлинг, компенсационные соглашения); 4) аутсорсинг части или всех функций сбыта посреднику; 5) сотрудничество с розничными операторами в сфере создания собственных марок сетей, мерчандайзинга, ко-маркетинга; 6) создание программ лояльности для конечных потребителей.

Наиболее значимыми тенденциями, определяющими специфику вертикальных взаимодействий промышленного предприятия, являются совершенствование способов поставки сырья за счет технологии VMI, укрепление позиций розничных сетей в цепях поставок и связанное с этим давление на производителей посредством механизма создания частных марок, а также осознание предприятиями значимости концепции маркетинга отношений при формировании лояльных потребителей.

Глобальная конкуренция обуславливает необходимость повышения эффективности цепи поставки за счет сокращения и увеличения гибкости сроков поставки. Результатом взаимоотношений с поставщиками становится создание упрощенных сетей, где каждый участник специализируется на определенном виде деятельности/продукте, в котором имеет сильную ключевую компетенцию. Применение логистических решений, реализованных в автоматизированных процессах, в сочетании с концепцией всеобщего повышения качества также приводит к сокращению сроков поставки. В современной (новаторской) организации снабжения преобладают горизонтальные, координированные отношения, результатом чего является рост оперативности и снижение затрат в системе управления закупками [14]. Имеет место сокращение базы поставщиков, глобализация источников снабжения, долгосрочность и информационная открытость взаимоотношений с владельцами ресурсов в рамках организованной на принципах партнерства цепи поставок. Результатом трансформации ключевых аспектов организации снабженческой деятельности является снижение уровней запасов, ускорение поставок.

Сетевизация приводит к изменению характера распределения и трансформациям отношений с клиентами. Усложняется доступ к конечным потребителям из-за укрепления позиций

дистрибьюторов, имеющих тенденцию образовывать мощные цепи. Изменение роли дистрибьюторских сетей в цепочке создания ценности связано с развитием категорийного менеджмента, эффективным управлением базами данных клиентов, осознанным использованием программ лояльности и ускорением реагирования на запросы клиентов. Влиятельным фактором в выстраивании взаимоотношений с клиентами становится Интернет, позволяющий использовать преимущества прямого сбыта. Электронная торговля выступает как альтернатива традиционным формам организации сбыта с участием посредников и ее развитие может изменить позиции дистрибьюторов в цепи поставки. Основные тенденции развития процессов взаимодействия в процессе сбыта можно обобщенно представить следующим образом:

- рост стратегического значения каналов сбыта: создание партнерств, альянсов в рамках вертикальных систем [15];
- создание систем управления взаимоотношениями с ключевыми клиентами и переоценка маркетинга как философии развития доверия и удовлетворенности партнеров [16];
- изменение поведения потребителей под влиянием информационных технологий и широкого использования Интернета [17].

Методика. После рассмотрения различных форм вертикальных взаимодействий предприятия с субъектами внешней среды целесообразно произвести оценку их адаптационного ресурса, то есть заложенной в них возможности повышать гибкость и адаптивные способности предприятия ПСМ. В связи с этим предлагается ввести категорию «адаптационный потенциал взаимодействия» как характеристику возможной степени влияния сотрудничества с субъектом рынка на приспособляемость промышленного предприятия к изменяющимся условиям внешней среды. Анализ наиболее распространенных форм взаимодействий по критерию их адаптационного потенциала предлагается осуществить на основе следующих ниже признаков изменения адаптивности предприятия ПСМ к внешним воздействиям в результате более тесного и скоординированного сотрудничества с субъектами рынка:

- характеризующие скорость приспособления: скорость реагирования на рыночные изменения; скорость процесса создания и коммерциализации инноваций; потенциал влияния на доход; степень специализации; объем функций менеджмента; скорость и гарантированность получения результата сотрудничества;
- характеризующие изменение среды: уровень удовлетворенности и лояльности поку-

пателей; уровень удовлетворенности и лояльности контрагентов; уровень конкуренции, перевод ее в конструктивное русло сотрудничества; изменение качества (благоприятность) бизнес- и социосреды; уровень согласованности поведения участников рынка.

Оценка форм взаимодействий предприятия ПСМ с субъектами рынка осуществляется экспертным путем на основе следующей шкалы:

«+1» – оценка, выставляемая в случае позитивного изменения признака при использовании рассматриваемой формы ДВ;

«0» – оценка, отражающая нейтральность признака, компенсацию позитивных изменений негативными;

«-1» – оценка, характеризующая отрицательное изменение признака адаптивности при использовании рассматриваемой формы ДВ.

Основная часть. Анализ и оценка существующих форм вертикальных взаимодействий по выделенным выше признакам (табл. 1) позволили структурировать их по степени влияния на адаптивные способности предприятия ПСМ (рис. 1).

Таблица 1

Оценка адаптивного ресурса вертикальных форм взаимодействия предприятия ПСМ

Формы взаимодействия	Характеризующие скорость приспособления							Характеризующие изменение среды							СУММА	
	Скорость реагирования на изменения	Скорость создания и коммерциализации инноваций	Изменение дохода	Степень специализации	Объем функций менеджмента (способность менеджмента выполнять свои функции)	Скорость и гарантированность получения результатов сотрудничества	ИТОГО	Уровень удовлетворенности и лояльности потребителей	Уровень удовлетворенности и лояльности контрагентов	Уровень конструктивности конкурентной борьбы	Благоприятность бизнес-среды корпорации	Благоприятность социо-среды корпорации	Уровень согласованности поведения участников рынка	Предсказуемость рыночной среды		ИТОГО
VMI	1	0	1	1	1	0	4	1	1	0	0	0	1	0	3	7
Частные марки	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	3	4
Аутсорсинг части производственных функций поставщику, сбытовому посреднику	1	0	1	1	1	1	5	0	1	0	0	0	1	0	2	7
Мерчандайзинг	1	0	1	0	0	1	3	1	1	0	0	0	0	1	3	6
Толлинг	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	2	3
SCM	1	0	1	0	1	1	4	1	1	0	1	0	1	0	4	8
3PL, 4PL	1	0	0	1	0	1	3	1	1	0	0	0	1	0	3	6
Прото-кооперация	0	0	1	0	0	1	2	1	1	0	0	0	1	0	3	5
Компенсационные соглашения	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	2
Программы лояльности	0	0	1	0	0	1	2	1	1	0	0	0	1	1	4	6

Прим.: Оценки выставлены в соответствии со шкалой: «+1» – позитивное влияние формы взаимодействия на адаптивные ресурсы корпорации, «0» – нейтральное влияние, «-1» – негативное влияние.

Выделенные формы делового взаимодействия также можно классифицировать по степени их влияния на скорость реагирования пред-

приятием ПСМ на экстра-нестабильность внешней среды и по степени их влияния на характеристики внешней среды (рис. 2).

Сфера взаимодействия	Высокий адаптационный потенциал ДВ	Средний адаптационный потенциал ДВ	Низкий адаптационный потенциал ДВ
Производственно-инвестиционная	VMI, Аутсорсинг части функций поставщику, SCM	Толлинг	Компенсационные соглашения
Реализация	Франчайзинг, Аутсорсинг части функций посреднику	Частные марки, Мерчандайзинг, 3PL/ 4PL-посредники, Промо-кооперация, Программы лояльности	

Рис. 1. Направления взаимодействия с поставщиками и покупателями по степени их влияния на адаптивные способности предприятия ПСМ

Скорость приспособления предприятия ПСМ к изменениям	Высокая	Аутсорсинг части производственных функций поставщику или сбытовому посреднику	VMI	SCM
	Средняя		Мерчандайзинг 3PL, 4PL-посредничество	
	Низкая	Компенсационные соглашения	Толлинг Частные марки Promo-кооперация	Программы лояльности
		Низкая	Средний	Высокая
		Степень изменения среды взаимодействия		

Рис. 2. Классификация вертикальных форм взаимодействия по влиянию на признаки адаптивности предприятия ПСМ

Выводы. Поставщики и покупатели образуют систему вертикальных взаимодействий предприятия ПСМ. Одной из главных тенденций в этой сфере становится необходимость совершенствования способов поставки сырья, в том числе за счет технологии VMI. Основными причинами неполного использования адаптационного потенциала VMI-технологии являются статичность сложившихся взаимоотношений, отсутствие интереса компаний к глубокому зондированию спроса и более целостному восприятию экономической системы и производственных отношений.

Другим важным трендом выступает укрепление позиций розничных сетей в цепях поставок и связанное с этим давление на предприятия ПСМ в сфере создания частных марок. В периоды спада экономики наиболее сильно предпринимательский интерес промышленной компании во взаимодействии с дистрибьюторскими сетями затрагивается в контрактах на производство продуктов под частными марками сетей, которые получают наибольшее распространение в категории товаров со слабой брендовой зависимостью, товаров повседневного спроса, для которых характерен рутинный тип покупки. Вме-

сте с тем, изменение внешнеполитического фона и нарушение существовавших связей с зарубежными поставщиками обусловили изменение типа взаимодействий розничных сетей с отечественными производителями на более партнерские (в противовес распространенным отношениям зависимости), что повышает целесообразность включения PL в их производственные программы.

Ключевой особенностью развития взаимодействий с покупателями предприятий ПСМ, ориентированных преимущественно на рынок B2B, является активное внедрение концепции CRM и различных аналитических инструментов, позволяющих оценивать роль долгосрочных связей с клиентами в формировании финансовых показателей. Количество лояльных компаний покупателей колеблется в зависимости от особенностей отрасли: более высокая прибыль на единицу продукции определяет более ответственное и тесное сотрудничество.

Предложено осуществлять оценку адаптационного потенциала взаимодействия предприятия ПСМ с субъектами его деловой среды. Под адаптационным потенциалом ДВ понимается характеристика возможной степени влияния сотрудничества с субъектом рынка на приспособляемость производителя к изменяющимся условиям внешней среды. Проведен анализ наиболее распространенных форм взаимодействий с точки зрения их влияния на скорость приспособления предприятия к изменяющимся условиям функционирования и на благоприятность трансформации среды. На его основе осуществлена классификация форм ДВ по влиянию на признаки адаптивности предприятий ПСМ. Определено, что наибольшим адаптационным потенциалом взаимодействия в сфере отношений с поставщиками и покупателями обладают VMI-технологии, аутсорсинг части функций поставщику и посреднику, SCM, франчайзинг.

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Владыка М.В., Дорошенко Ю.А. Инновационная среда экономики, основанной на знаниях (knowledge based economy) // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. 2007. Т. 1. № 1. С. 168–174.
2. Щетинина Е.Д., Щетинина Е.А. Формирование конкурентоспособной рыночной политики фирм с учетом маркетинга отношений // Белгородский экономический вестник. 2016. № 4 (84). С. 90–94.
3. Щетинина Е.Д. Концепция инновационного партнерства как способ повышения конкурентоспособности экономических систем // Белгородский экономический вестник. 2012. № 2 (66). С. 44–47.
4. Куприянов С.В., Стрябова Е.А. Место кластера в системе хозяйственного планирования // Фундаментальные исследования. 2014. № 3-2. С. 330–334.
5. Пушкарь А.И., Жуков Ю.Е., Пилипенко А.А. Стратегические группы предприятий: концепция, методология, управление: научное издание. Харьков : Кроссруд, 2006. 440 с.
6. Микалут С.М. Структура и формы деловых отношений субъектов социально-экономического пространства: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. 119 с.
7. Щетинина Е.Д., Шатохина Е.А. Развитие форм инновационного делового партнерства: концептуальные проблемы // Белгородский экономический вестник. 2012. № 3 (67). С. 14–16.
8. Глаголев С.Н., Михайличенко С.А., Бурык Ю.Ю. Социальное партнерство вуза и работодателя: индикатор успеха // Совет ректоров. 2016. № 9. С. 16–19.
9. Селивёрстов Ю.И. Государственно-частное партнерство как необходимый элемент формирования инновационной экономики // Белгородский экономический вестник. 2016. № 3 (83). С. 13–21.
10. Щетинина Е.Д. Бизнес и вузы – новые формы партнерства и управления ими // Белгородский экономический вестник. 2016. № 3 (83). С. 21–26.
11. Глаголев С.Н., Дорошенко Ю.А., Бухонова С.М., Лычев Ю.А. Стратегическое развитие промышленности строительных материалов: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. 211 с.
12. Möller K., Halinen A. Business relationships and networks: Managerial challenge of the network era, Industrial Marketing Management, 1999. 25(5). 413–427.
13. Ваш М. Маркетинг отношений и сетевая экономика // Проблемы теории и практики управления. 2002. №2. С. 113–120.
14. Дыбская В.В., Зайцев Е.И., Сергеев В.И., Стерлигова А.Н. Логистика; под ред. В.И. Сергеева. М.: ЭКСМО, 2009. 944 с.
15. Rosenbloom, B. 2003. Marketing Channels: A Management View. Chicago: The Dryden Press, pp. 672.
16. Винкельманн П. Маркетинг и сбыт: основы ориентированного на рынок управления

компаний. М.: Издательский дом Гребенникова, 2006. 665 с.

17. Штерн Л.В., Эль-Ансари А.И., Конфлан Э.Т. Маркетинговые каналы. М.; СПб.; Киев : Вильямс, 2002. 621 с.

Информация об авторах

Старикова Мария Сергеевна, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры маркетинга.

E-mail: starikova.ms@bstu.ru; s_ms@bk.ru

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

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

Поступила в январе 2018 г.

© Старикова М.С., 2018

M.S. Starikova

THE ADAPTATION POTENTIAL OF VERTICAL INTERACTIONS OF BUILDING MATERIALS INDUSTRY ENTERPRISES

The article analyzes the system of business interactions in the building materials industry. Groups of vertical and horizontal interactions are identified. It is shown that integration in modern markets has soft forms and partnership nature, which allows enterprises to increase the degree of adaptability to external disturbances. The key trends that determine the system of vertical interactions in building materials industry are the need to improve the ways of supplying raw materials, strengthening the position of retail chains in supply chain and the need to introduce the concept of CRM. The article proposes a methodology for assessing the adaptation potential of vertical interactions of an enterprise in building materials industry, which makes it possible to assess the possible degree of influence of cooperation with a market entity on the adaptability of a producer to the changing conditions of the external environment. As a result of the methodology approbation, a classification of vertical interactions forms by their influence on the adaptability of building materials manufacturers has been carried out.

Keywords: enterprise adaptability, adaptive potential, business interaction, partnership.

REFERENCES

1. Vlydyka M.V., Doroshenko Yu.A. Innovative environment of the knowledge based economy // Scientific bulletins of Belgorod State University. Series: History. Political science. Economy. Computer science, 2007, vol. 1, no 1. pp. 168–174.

2. Shchetinina E.D., Shchetinina E.A. Formation of a competitive market policy of firms taking into account marketing relations // Belgorod economic bulletin, 2016, no. 4 (84), pp. 90–94. Shchetinina E.D. The concept of innovative partnership as a way of increasing the competitiveness of economic systems // Belgorod economic bulletin, 2012, no 2 (66), pp. 44–47.

4. Kupriyanov S.V., Stryabkova E.A. Place of the cluster in the system of economic planning // Fundamental research, 2014, no 3-2, pp. 330–334.

5. Pushkar A.I., Zhukov Yu.E., Pilipenko A.A. Strategicheskie gruppy predpriyatij: koncepcija, metodologija, upravlenie [Strategic groups of enterprises: concept, methodology, management]. Kharkov: Crossroad, 2006. 440 p.

6. Mikalut S.M. Structure and forms of business relations of subjects of socio-economic space. Belgorod: BGTU, 2015. 119 p.

7. Shchetinina E.D., Shatokhina E.A. Development of forms of innovative business partnership:

conceptual problems // Belgorod economic bulletin, 2012, no. 3 (67), pp. 14–16.

8. Glagolev S.N., Mikhaylichenko S.A., Buriak Yu.Yu. Social partnership of the university and the employer: the indicator of success // The Council of Rectors, 2016, no 9, pp. 16–19.

9. Seliverstov Yu.I. Public-private partnership as a necessary element in the formation of an innovative economy // Belgorod economic bulletin, 2016, no. 3 (83), pp. 13–21.

10. Shchetinina E.D. Business and universities – new forms of partnership and management of them // Belgorod economic bulletin, 2016, no. 3 (83), pp. 21–26.

11. Glagolev S.N., Doroshenko Yu.A., Bukhonova S.M., Lychev Yu.A. Strategic development of the building materials industry. Belgorod: BGTU, 2010, 211 p.

12. Möller K., Halinen A. Business relationships and networks: Managerial challenge of the network era, Industrial Marketing Management, 1999, 25 (5), pp. 413–427.

13. Vash M. Marketing of Relations and Network Economics // Problems of Management Theory and Practice, 2002, no 2, pp. 113–120.

14. Dybskaya V.V, Zaitsev E.I., Sergeev V.I., Sterligova A.N. Logistics. M.: EKSMO, 2009, 944 p.

15. Rosenbloom B. Marketing Channels: A Management View. Chicago: The Dryden Press, 2003, pp. 672.

16. Winckelmann P. Marketing and sales: the fundamentals of market-oriented management of

the company. M.: Grebennikova Publishing House, 2006. 665 p.

17. Shtern L.V., El-Ansari A.I., Conflan E.T. Marketing channels. M.; St. Petersburg; Kiev: Williams, 2002. 621 p.

Information about the authors

Maria S. Starikova, PhD, Professor

E-mail: starikova.ms@bstu.ru; s_ms@bk.ru

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

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

Received in January 2018

Демененко И.А., канд. соц. наук, ст. препод.,
Шавырина И.В., канд. социол. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

КЛИЕНТООРИЕНТИРОВАННОСТЬ ПЕРСОНАЛА СТРОИТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

inna12manager@gmail.com

Формирование новой социально-экономической среды, развитие сервисной экономики, переориентация стратегии развития организации в ситуации социально-экономической турбулентности существенно корректируют политику компаний строительного сектора экономики и определяют острую необходимость построения и внедрения клиентоориентированных траекторий управленческой деятельности. В данной статье рассмотрен генезис развития клиентоориентированности в организации, уточнено содержание термина «клиентоориентированность» как инструмента формирования и развития организации в условиях социально-экономической нестабильности. Авторами проведен анализ персонала как основного субъекта, реализующего клиентоориентированный подход в организации, предложена модель клиентоориентированности персонала, основанная на формировании ключевых элементов персонала клиентоориентированной строительной организации в условиях нестабильности и рисков на рынке.

Ключевые слова: клиентоориентированность, строительный сектор экономики, персонал, конкурентоспособность, социально-экономическая система.

Введение. Современная теория и практика маркетинга наглядно демонстрируют, что формирование его целостного теоретического представления как самостоятельной области научного знания и разработку прикладного инструментария использования нельзя признать завершенными во времени процессами. С одной стороны, это обусловлено резкой активизацией внимания отечественных и зарубежных исследователей к разработке новых теоретических концепций маркетинга и подходов к его организации, следствием чего является разнообразие направлений развития маркетинговой теории. С другой стороны, незавершенный характер формирования маркетингового инструментария можно объяснить расширением состава управленческих и маркетинговых инструментов, привнесенных в маркетинговую деятельность из других предметных областей общей прикладной экономики, управленческой науки и т.д., следствием чего выступает использование таких инструментов, которые для маркетинга еще совсем недавно считались неприемлемыми. В данном случае речь идет о таком специфическом инструменте управления маркетингом взаимоотношений, как клиентоориентированность.

Направленность организаций на повышение уровня конкурентоспособности, повышение показателей производительности труда, увеличение финансовых показателей деятельности компании, формирование благоприятного имиджа, стремление увеличить клиентскую базу в условиях нестабильности и рисков на рынке опреде-

ляют необходимость переориентации вектора внимания на взаимоотношения с клиентами как главными участниками рынка. Современная внешняя среда формирует нестабильные условия для долгосрочной устойчивости и развития организаций и характеризуется такими параметрами как ежегодное усиление конкуренции, динамичное насыщение предложения на рынках, трансформация «рынка продавца» в «рынок покупателя», стремительное старение используемых маркетинговых технологий, масштабность и повышенная конкурентность [1]. Следовательно, организации вынуждены разрабатывать и внедрять новые маркетинговые и управленческие инструменты для приспособления к быстроизменяющимся условиям внешней среды в условиях экономической турбулентности. Процесс адаптации к таким изменениям организаций, характеризующихся сложностью организационной структуры, многоуровневостью менеджмента, бюрократизированностью процесса принятия управленческих решений и экономической сложностью бизнес-процессов является еще более сложно разрешимой задачей. Это дает толчок ученым и представителям бизнес-сообщества для активного поиска технологий и инструментов адаптации к выдвигаемым требованиям внешнего окружения, применение которых позволит сохранить устойчивость корпорации и приумножить финансовые результаты в долгосрочной перспективе.

Постоянное развитие, достижение целей, эффективная реализация стратегий во многом

зависят от репутации, товарной марки, человеческого капитала и других нематериальных активов. Финансовые показатели деятельности отходят на второй план, их следует рассматривать как результат наличия и использования интеллектуального потенциала.

В рамках повышения роли интеллектуального потенциала происходят изменения в менеджерских и маркетинговых аспектах практики деятельности организаций. Появляются новые подходы, которые конкретизируются в инновационных приемах работы с нематериальными активами. В частности, заметно растет внимание организаций к стратегии клиентоориентированности бизнеса.

Методология. Истоками формирования понятия о клиентоориентированности является публицистический американский журнал (1936 г.), организованный обществом маркетологов. В 1990-х гг. организации, направленные на клиентскую ориентацию, определяют, как компании, деятельность которых в первую очередь нацелена на удовлетворение требований клиентов. В свою очередь, авторы акцентируют внимание на то, что понимание и удовлетворение требований клиентов должно стать самой приоритетной задачей организации, направленной на клиентскую ориентацию [3].

С точки зрения Б. Рыжковского, клиентоориентированность является принципиальным и эффективным инструментом организации взаимоотношений с клиентами, нацеленный прежде всего на получение стабильного дохода на стратегической основе и определяющийся следующими критериями: ключевая компетенция, целевые клиенты и равенство позиций [6].

Как отмечает, Ю.И. Смирнов «клиентоориентированный подход предполагает целую стратегию организации, направленную на учет и удовлетворение потребностей клиента и обеспечение достаточно позитивных отношений с ним с целью долгосрочного взаимодействия и получения определенного дохода» [7].

В свою очередь, Ф. Котлер полагает, что отдельная часть организаций в современных социально-экономических условиях ориентированы в первую очередь не на покупателей и целевые рынки, а на товары и продажи. Для того чтобы организация стала клиентоориентированной, необходимо:

- поощрение положительного отношения к клиентам в рамках всей организации;
- формирование организационной структуры, направленной на клиента, а не на товары;

– изучение потребностей клиентов путём качественных и количественных исследований [9].

С нашей точки зрения, понятие «клиентоориентированности по своей сущности и направленности сопоставимо с понятием конкурентоспособности с тем отличием, что конкурентоспособность подразумевает соответствие рынку в целом, а клиентоориентированность показывает уровень соответствия требованиям потребителей. Необходимо понимать стратегический характер клиентоориентированности, т.к. организация, которая учитывает интересы клиента, стремится именно к долгосрочным отношениям с ним, отказываясь от оперативной и тактической выгоды» [1].

При взаимодействии с клиентами (покупателями) ведущее значение имеют непосредственно сотрудники компании, являющиеся главным потенциальным источником построения клиентоориентированных отношений, направленных на поддержание и развитие долгосрочных отношений. Отдельная группа американских научных исследователей (Д. Митчелл, С. Шерман, Дж. Сперри, Р.М. Сэмюэль и др.) в процессе управленческой деятельности с персоналом при формировании клиентоориентированной организации отмечают, что персонал играет ведущую роль во взаимоотношениях с клиентами, создании и развитии имиджа компании, а также достижении положительных показателей динамики экономического роста. Однако, ни в научно-исследовательской, ни в учебной и публицистической литературе, нет концептуального определения клиентоориентированности персонала, но в свою очередь, авторы зачастую отождествляют данное понятие с клиентоориентированным подходом и клиентоориентированной организацией [12].

Анализ научной литературы показывает, что не существует единого концептуального подхода к определению клиентоориентированности. Также установлено, что как практики, так и теоретики используют различную терминологию для определения сущности и содержания клиентоориентированности (рис. 1.).

Рассматривая клиентоориентированность строительной организации можно отметить, что это показатель, который характеризует способности и возможности предприятия строительного сектора экономики, направленные на максимизацию объема покупательского потока и доходов, с помощью повышения качества обслуживания потребителей, соответствия предлагаемых товаров и услуг требованиям клиентов и осознания их потребностей.



Рис. 1. Концептуальные основания рассмотрения клиентоориентированности [5]

Основная часть. Изучение феномена клиентоориентированной организации предполагает, что с процесса разработки и реализации управленческих решений по вопросам ориентации на непосредственного клиента, компании необходимо мониторить прогнозные выгоды и экономические результаты, на которые она ориентируется изначально. Отдельная группа исследователей в своих работах полагает, что возможность дополнительной прибыли компании определяется посредством следующих показателей:

- повышение частоты и объема покупок (заказов) клиентом;
- снижение экономических и социальных издержек на привлечение клиентов посредством экономии затрат на маркетинговые инструменты, в частности на рекламу, систематические переговоры, поиск новых клиентов, программы лояльности клиентов и др.;
- систематический мониторинг клиентской информации, направленной на улучшение выпускаемой продукции повышение качественных характеристик сервисной ориентации компании;
- рекомендаций продукта и организации другим клиентам [11].

Важно то, что непосредственно эффективность от внедрения политики клиентской ориентации, выражается как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе для организации, что является важным показателем развития. Исходя из сказанного, можно сделать вывод о том, что, потребитель, не являющийся клиентом компании на отчетный период (сегодня), может быть им в перспективе; в свою очередь внедрение в компанию программ лояльности способствует увеличению и сохранению клиентской базы.

Одним из действенных инструментов формирования клиентоориентированной компании является стратегия CRM, customer relationship management (управление отношениями с клиентами).

Сущность предлагаемого понятия возможно определить следующим образом: «CRM – стратегия, предполагающая использование передовых управленческих и информационных технологий, с помощью которых компания собирает данные о своих клиентах на всех стадиях взаимоотношений, извлекая из них знания и используя их в интересах своего бизнеса путем выстраивания взаимовыгодных отношений с клиентами».

Невозможно стать клиентоориентированной организацией без формирования соответствующих подходов работы сотрудников с клиентами. С точки зрения Д. Панова, «кlientоориентированность персонала – это когда клиент ушел довольным. Удовлетворение клиента зависит от сущих мелочей. Как тебя встретили, как улыбнулись, как обслужили, какой вокруг был интерьер, как выглядят другие посетители и персонал, какая музыка играет и прочее» [10].

Как отмечает, Н. Шикунова, «кlientоориентированный персонал – это тот персонал, основным для которого является ценность клиента» [12].

Американский ученый Дж. Шоул говорит, что «кlientоориентированные работники – это те, которые любят и уважают людей, а также обладают такими качествами, как расторопность, общительность, энтузиазм». Таким образом, анализ теоретико-методологической базы клиентоориентированности организации показывает наличие теоретических научных изысканий в области отдельных характеристик персонала, его поведенческих траекторий и поведения, но определяет отсутствие четкого определения клиентоориентированности персонала с учетом специфики и направленности организации, в которой осуществляет профессиональную деятельность персонал [14].

С нашей точки зрения, под клиентоориентированностью работников целесообразно понимать совокупный арсенал знаний, умений,

навыков, которые, благодаря соответствующей мотивации, ценностям, установкам и личным качествам сотрудников, способствуют определенному поведению, установлению и поддержа-

нию отношений с клиентами для получения необходимого результата.

Модель клиентоориентированности персонала представлена на рисунке 2.

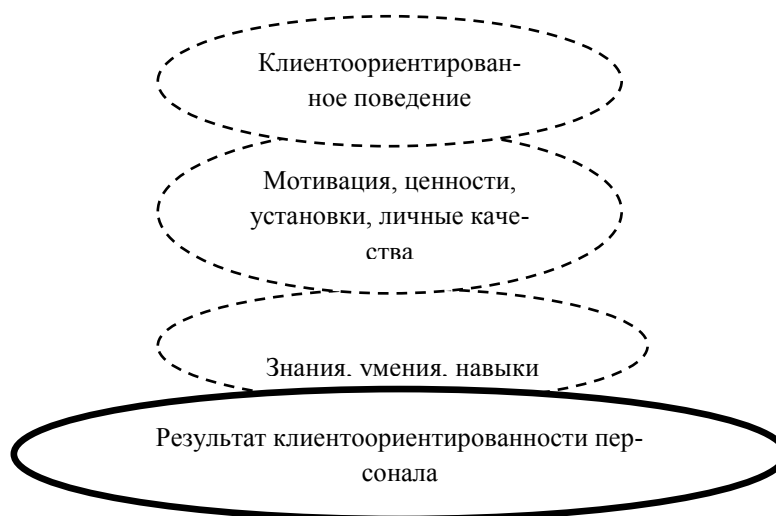


Рис. 2. Модель клиентоориентированности персонала

Далее подробно разберем ведущие компоненты, лежащие в основе концептуального понятия клиентоориентированности персонала.

Знания, в самом общем смысле, – это осведомленность о чем-либо, приобретенная из опыта. Так, с позиции, А.Л. Гапоненко, Т.М. Орлова, «это проверенный практикой результат познания деятельности, его верное отражение в мышлении человека» [8]. Клиентоориентированный персонал должен знать основные принципы работы с клиентами, технологию обслуживания клиентов, методы установления и поддержания отношений.

Приведем основные структурные элементы представленной модели клиентоориентированности персонала. Умения – это структурные элементы деятельности, способствующие выполнению работы высокого качества, с учетом максимальных профессиональных, мотивационных и личностных вложений. Для примера: для персонала, занимающегося сферой продаж, посредством клиентоориентированности возможно выделить несколько основных умений: установление контакта, выяснение потребности, презентация, работа с возражениями и завершение контакта.

Навык представляет собой профессиональное действие, которое сформировано с помощью операций повторения и характеризующееся повышенным уровнем освоения, профессиональным мастерством, мобильностью в рамках предметов и данных. При формировании и поддержании взаимоотношений с клиентами особенно важным является навык активного слу-

шания, присоединения к возражению, использования техники «малого разговора» и др.

Личные качества персонала определяют его результативность и успешность трудовой деятельности и как следствие, способствуют выполнению определенных действий, а также формированию требуемых поведенческих реакций.

Такое внутреннее состояние личности как мотивация, определяет траекторию направленности поведения, а также уровень степень лично вложенных усилий в условиях возникновения затруднений и отсутствия стабильности. Система мотивации персонала является важным показателем клиентоориентированности персонала организации, потому что отдельный сотрудник может обладать необходимыми знаниями, умениями и навыками, но не реализовывать полностью или частично в процессе выполнения трудовой деятельности.

Относительно системы мотивации важное значение при формировании клиентоориентированности играют ценности. Ценности, возможно, рассматривать с двух позиций: ценности как «представление субъекта о главных и важных целях жизни и работы и ценности как представление об основных средствах достижения этих целей».

Следующим элементом клиентоориентированности персонала организации является клиентоориентированное поведение, представляющее собой совокупность действий и поступков персонала, направленных на установление и поддержание взаимоотношений с клиентами с

целью получения запланированного результата на краткосрочную и долгосрочную перспективу. Отметим, что в ситуации, когда персонал имеет необходимую информацию о продукте (услуге), умения и навыки, но не интегрирует их под потребности отдельного клиента, вероятность построения эффективных взаимоотношений сводится к нулю.

По нашему мнению, только в совокупности все выделенные составляющие компоненты могут сформировать полное определение клиентоориентированности персонала. Формирование клиентоориентированного поведения персонала возможно, при учете следующих аспектов:

- привлечение работников, имеющих потенциал для формирования клиентоориентированного поведения;
- удержание клиентоориентированных сотрудников, имеющих ценность для организации;
- стимулирование клиентоориентированных сотрудников к эффективной трудовой деятельности [15].

В организации, направленной на клиентскую ориентацию необходимо учитывать, как внутренних клиентов, так и внешних. Например, чтобы поставить продукт или оказать услугу с соблюдением согласованных технических условий в оговоренные сроки, может понадобиться участие целой цепочки сотрудников, каждый из которых будет удовлетворять потребности своих коллег в нисходящей цепочке. Их внутренние отношения по своей природе являются отношениями клиент - поставщик. Проявление уважения, передача безупречной работы решительно необходимы, чтобы клиент мог получить безупречное обслуживание с первого раза. Обслуживание, которое, в конечном счете предоставляется клиенту, зачастую зависит от «неафишируемого обслуживания» – взаимного обслуживания членов организации.

Клиентоориентированность строительной компании имеет три принципиальных аспекта:

- предприятие, находящееся на начальном уровне развития качественного обслуживания;
- предприятие, достигшее профессионального уровня сервисных услуг;
- предприятие, которое позиционирует себя сервисным центром для клиентов [2]. Ни одна строительная организация не может за короткий срок полностью переориентировать свою деятельность и принципы работы. Поэтому не следует спешить, стараясь одновременно выполнить несколько задач или попросту проигнорировать некоторые из них. Для того чтобы изменения привели к положительным результатам, необходимо начинать внедрение перемен в самом коллективе.

Эффективным методом развития клиентоориентированности персонала, а также организации в целом является правильно построенная корпоративная культура. Корпоративная культура – это показатель того, как люди относятся не только к друг другу, но и к покупателям. Необходимо, чтобы изменилось мировоззрение персонала, отношение к работе, к коллегам и к посетителям, сформировались кардинально новые приоритеты. Перемены в самом персонале происходят на стадии развития качественного обслуживания.

Важным условием формирования клиентоориентированности как метода эффективного развития строительной организации, по нашему мнению, является соблюдение следующих принципов, реализующихся посредством развития элементов корпоративной культуры:

1. Идентификация клиентов – система знаний о клиентах и осознание их ценности. Чем большей информацией располагает организация о своих клиентах, тем лучше. Чтобы организация могла оценить клиентов (в том числе, их потенциальный вклад в ее развитие) со значительной долей вероятности, она должна составить представление о них, основываясь на данных каналов маркетинга, событиях и истории взаимоотношений. Это достигается с использованием баз данных и ведением простого наблюдения со стороны преподавателей и руководителей. На данном этапе важным критерием является спланированная технология сбора и хранения информации.

2. Обеспечение приверженности клиентов строительной организации посредством формирования соответствующих образцов организационной культуры. Основная цель клиентоориентированности – это создание групп лояльных потребителей (приверженцев), сохранение лояльности нужных для вуза потребителей. Приверженец организации – это потребитель, который в ситуации выбора осознанно предпочитает ее брэнд и готов платить за него ценовую премию. Данные покупатели нечувствительны к таким действиям конкурентов, как изменения стоимости товаров и услуг, разнообразия товаров и услуг, социальное обеспечение внутренних клиентов и т.д.

Таким образом, это наиболее предсказуемая группа клиентов, которая может принести и приносит строительной организации максимальную выгоду. Приверженность клиентов можно отследить по объективным показателям (удовлетворенность продукцией, ценовой политикой и услугами, повышенный спрос и др.).

3. Дифференциация клиентов – отнесение клиентов к группам, по выбранным руковод-

ством организации критериям. Разработка и предложение для каждой группы клиентов различных программ (бонусы, специальные предложения, акции для постоянных клиентов и др.), соответствующих условиям конкуренции и стратегии развития строительной организации. Таким образом, сохраняется баланс потребностей клиента и интересов организации. Данная работа требует системности, целенаправленной и организованной деятельности ответственных лиц.

4. Персонализация – чем больше персонализировано предложение организации непосредственно клиенту, тем выше ее конкурентоспособность на рынке. При этом персонификацию не стоит понимать буквально. Каждая организация действует в этом аспекте в соответствии со своими возможностями (чем в большей степени детализирована клиентская база компании, тем она ближе к индивидуальному запросу клиента). Это достигается ведением баз данных, которые уже активно внедряются в организации строительного сектора экономики.

Рассмотрение клиентоориентированности в контексте организационной культуры строительной компании предполагает использование стратегического подхода к развитию, обеспечивающего повышение ее конкурентоспособности и рост доходности, подразумевающий мобилизацию всех его ресурсов на выявление, вовлечение, привлечение клиентов и удержание наиболее прибыльных из них, за счет повышения качества обслуживания клиентов и удовлетворения потребностей клиентов. Данный подход предполагает системный подход к формированию корпоративной культуры на основе клиентоориентированности в условиях социально-экономической турбулентности.

Главным условием формирования клиентоориентированной корпоративной культуры организации является внедрение философии клиентоориентированности во все структуры. Данное обстоятельство обусловлено систематической и спланированной работой всех структурных подразделений (отделы, управления, департаменты и др.).

Выводы. Таким образом, формирование клиентоориентированного персонала различных сфер производства, в частности организаций строительного сектора экономики предполагает целенаправленную деятельность управленческого состава организации, направленную прежде всего на трансформацию устоявшихся поведенческих стереотипов персонала с момента его найма в организацию. Клиентоориентированный персонал – это действенный инструмент управления взаимоотношениями с внеш-

ними клиентами, нацеленный на получение устойчивой прибыли в долгосрочном периоде, повышение конкурентоспособности компании посредством привлечения и удержания клиентов, повышения лояльности клиентов и являющийся балансирующим звеном в условиях социально-экономической турбулентности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Демененко И.А., Шавырина И.В. Клиентоориентированность в компаниях строительного сектора экономики // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. №3. С. 176–181.
2. Резник Г.А., Яшина О.В. Стратегическая клиентоориентированность корпорации как вызов времени // Менеджмент и бизнес-администрирование. 2013. №2. 67–76.
3. Дивиченко О.И. Факторы формирования предпринимательского климата в регионе // Общество: социология, психология, педагогика. 2017. №6. С. 9–14.
4. Патлах И. Клиентоориентированность как философия бизнеса // Ваш бизнес. 2011. №10. С. 24–26.
5. Дорошенко Ю.А., Климашевская А.А. Анализ научно-технического потенциала предприятий промышленности строительных материалов в контексте оценки необходимости проведения технологической модернизации в отрасли // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. №1. С. 214–218.
6. Avilova. Z.N., Gulei I.A., Shavyrina I.V. Formation of the Customer-Centric Organizational Culture of the University as a Factor of Effective Social and Economic Development of the Region // Mediterranean Journal of Social Sciences. 2015. Т. 6. №3. С. 207–216.
7. Пачин Н.А. Клиентоориентированность в современных концептуальных подходах к управлению компанией // Научное обозрение. 2013. №1. С. 227–233.
8. Дорошенко Ю.А., Малахова И.О. Перспективы инновационного развития высших школ в современных условиях // Белгородский экономический вестник. 2015. №2 (78). С. 3–8.
9. Arkatova O.G., Danakin N.S., Shavyrina I.V. Enhancing adaptability of foreign students // Mediterranean Journal of Social Sciences. 2015. Т. 6. № 6 S.7. С. 276–281.
10. Алиева З.М. Клиентоориентированность в системе управленческого инструментария маркетинга отношений // Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. 2012. №4. С. 208–212.

11. Загорулько Е.А. Клиентоориентированность как основа конкурентной стратегии предприятия // Современные аспекты экономики. 2016. №5 (225). С. 82–85.

12. Кравченко Е.Ю. Разработка маркетинговой стратегии организации // Белгородский

экономический вестник. 2014. №4 (76). С. 117–127.

13. Пантина А.А. Взгляд на клиентоориентированность как на основу стратегии современной организации // Менеджмент сегодня. 2011. №3. С. 140–144.

Информация об авторах

Демененко Инна Арамовна, кандидат социологических наук, старший преподаватель кафедры социологии и управления.

E-mail: inna12manager@gmail.com.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Шавырина Ирина Валерьевна, кандидат социологических наук, доцент кафедры социологии и управления.

E-mail: shavyrina_77@mail.ru.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в февраль 2018 г.

© Демененко И.А., Шавырина И.В., 2018

I.A. Demenenko, I.V. Shavyrina

THE CUSTOMER ORIENTATION OF CONSTRUCTION ORGANIZATIONS PERSONNEL IN CONDITIONS OF SOCIO-ECONOMIC TURBULENCE

The formation of a new socio-economic environment, the development of service economy, the reorientation of an organization's development strategy in the situation of socio-economic turbulence substantially correct the construction sector companies' policy and determine the urgent need to build and implement the customer-oriented trends of management. In this article the genesis of customer-oriented development in an organization is examined; the meaning of the term "customer-oriented" is clarified as being a tool for the formation and development of an organization in conditions of socio-economic instability. The authors have analyzed the personnel as the main subject implementing the customer-oriented approach in an organization; a model of customer-oriented approach of the personnel was proposed, based on the formation of key elements of the personnel of a customer-oriented construction organization in conditions of instability and market risks.

Keywords: customer focus, management, construction sector, personnel, efficiency, competitiveness, socio-economic system.

REFERENCES

1. Demenenko I.A., Shavyrina I.V. Customer focus in the construction industry companies // Bulletin of the Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov, 2017, no. 3, pp. 176–181.

2. Reznik G.A., Yashina O.V. Strategic corporate customer orientation as a challenge of time // Management and Business Administration, 2013, no. 2, pp. 67–76.

3. Divichenko O.I. Factors of formation of an entrepreneurial climate in the region // Society: sociology, psychology, pedagogy, 2017, no. 6, pp. 9–14.

4. Patlah I. Client-Oriented as a Business Philosophy // Your business, 2011, no. 10, pp. 24–26.

5. Doroshenko Yu.A., Klimashevskaya A.A. Analysis of the scientific and technical potential of enterprises of the building materials industry in the context of assessing the need for technological

modernization in the industry // Bulletin of the Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov, 2017, no. 1, pp. 214–218.

6. Avilova. Z.N., Gulei I.A., Shavyrina I.V. Formation of the Customer-Centric Organizational Culture of the University as a Factor of Effective Social and Economic Development of the Region // Mediterranean Journal of Social Sciences, 2015, vol. 6, no. 3, pp. 207–216.

7. Pachin N.A. Client-oriented approach in modern conceptual approaches to company management // Scientific Review, 2013, no. 1, pp. 227–233.

8. Doroshenko Yu.A., Malykhina I.O. Prospects for innovative development of higher schools in modern conditions // Belgorod Economic Herald, 2015, no. 2 (78), pp. 3–8.

9. Arkatova O.G., Danakin N.S., Shavyrina I.V. Enhancing adaptability of foreign students //

Mediterranean Journal of Social Sciences, 2015, vol. 6, no. 7, pp. 276–281.

10. Alieva Z.M. Client-Orientation in the System of Management Tools for Marketing Relations // Bulletin of the Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, 2012, no. 4, pp. 208–212.

11. Zagorulko E.A. Customer-centered approach as the basis of the company's competitive strategy // Modern aspects of the economy, 2016, no. 5 (225), pp. 82–85.

12. Kravchenko E.Yu. Development of marketing strategy of the organization // Belgorod Economic Herald, 2014, no. 4 (76), pp. 117–127.

13. Pantina A.A. A view on client-oriented approach as the basis of the strategy of modern organization // Management today, 2011, no. 3, pp. 140–144.

Information about the authors

Inna A. Demenenko, PhD, Senior lecturer.

E-mail: inna12manager@gmail.com.

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

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

Irina V. Shavyrina, PhD, Assistant professor

E-mail: shavyrina_77@mail.ru.

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

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

Received in February 2018

Научное издание

**«Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова»
№ 4, 2018 г.**

Научно-теоретический журнал

**Ответственный за выпуск Н.И. Алфимова
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 01.03.18. Подписано в печать 2.04.18. Формат 60×84/8

Усл. печ. л. 17,02. Уч.-изд. л. 18,5.

Тираж 1000 экз. Заказ 153. 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