

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

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВЕСТНИК

БГТУ им. В.Г. ШУХОВА

№ 12, 2017 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 по основным направлениям работы журнала:

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

академик РААСН, д-р техн. наук, проф. Бондаренко В.М.;

д-р техн. наук, проф. Богданов В.С.; д-р техн. наук, проф. Борисов И.Н.;

д-р экон. наук, проф. Глаголев С.Н.; д-р техн. наук, проф. Гридчин А.М.;

д-р экон. наук, проф. Дорошенко Ю.А.;

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

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

д-р техн. наук, проф. Патрик Э.И.; д-р техн. наук, проф. Пивинский Ю.Е.;

д-р техн. наук, проф. Рубанов В.Г.; Ph. D., доц. Соболев К.Г.;

д-р техн. наук, проф. Строкова В.В., н. с. Фишер Ханс-Бертрам;

д-р техн. наук, проф. Шаповалов Н.А.

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 и доктора наук.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Траутвайн А.И., Акимов А.Е., Яковлев Е.А., Черногиль В.Б., Лукашук А.Г. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СТАБИЛИЗАТОРОВ СЕРИИ «ЧИМСТОН» В ГРУНТАХ, УКРЕПЛЕННЫХ НЕОРГАНИЧЕСКИМИ ВЯЖУЩИМИ	6
Лунёв А.А., Сиротюк В.В. ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ИЗ ЗОЛОШЛАКОВОЙ СМЕСИ	14
Косухин М.М., Косухин А.М. К ВОПРОСУ О РОЛИ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ФАСАДНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ	21
Рахимбаев Ш.М., Тольпина Н.М., Хахалева Е.Н. ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ И ПОРИСТОСТИ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ НА РАЗЖИЖАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ДОБАВОК ПЛАСТИФИЦИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ	27
Погорелова И.А., Сулейманов К.А., Кудинова Д.В. ПОЛИДИСПЕРСНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ВЯЖУЩИЕ ДЛЯ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ	32
Лукутцова Н.П., Васюнина С.В., Пыкин А.А., Момот В.О., Пехенько Д.А. ВЛИЯНИЕ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ ВОЛЛАСТОНИТА НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ СТРОИТЕЛЬНОЙ КЕРАМИКИ	38
Тарасенко В.Н. ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКИХ УСКОРИТЕЛЕЙ СХВАТЫВАНИЯ НА ПЕННУЮ МАТРИЦУ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА	45
Матвеева Л.Ю., Ястребинская А.В. НАПРАВЛЕННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ НАДМОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛИМЕРНЫХ СВЯЗУЮЩИХ И СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ИХ ОСНОВЕ	49
Пыкин А.А., Лукутцова Н.П., Лукаш А.А., Ласман И.А., Головин С.Н., Тугай Т.С. СВОЙСТВА И СТРУКТУРА СТРОИТЕЛЬНОГО ГИПСА С МИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗОЙ	55
Сулейманова Л.А., Погорелова И.А., Марушко М.В., Огнев Н.В. ВИБРОВАКУУМИРОВАННЫЕ ГИПСОСОДЕРЖАЩИЕ КОМПОЗИТЫ	62
Кузнецова С.В., Ванькова Т.Е. ОПТИМИЗАЦИЯ ОРТОТРОПНЫХ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ОБОЛОЧЕК, ПОДКРЕПЛЕННЫХ ПОПЕРЕЧНЫМИ РЕБРАМИ	67
Авдяков Д.В. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КЛЕЕННЫХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ТРЕЩИНАМИ НОРМАЛЬНОГО ОТРЫВА	74
Донченко О.М., Дегтев И.А., Тарасенко В.Н., Литовкин Н.И. ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА И ВЕЛИЧИНА КОНТАКТНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ РАСТВОРНЫХ ШВОВ КАМЕННОЙ КЛАДКИ ПРИ СИЛОВОМ СЖАТИИ	78
Юрьев А.Г., Зинькова В.А. УСТОЙЧИВОСТЬ СТЕРЖНЕЙ В СТРУКТУРНОМ СИНТЕЗЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ФЕРМ	84
Алексанин А.В., Воронов Д.А. ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЕЙ И ОРГАНИЗАЦИЕЙ ВОЗВЕДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НИЖНЕ-БУРЕЙСКОЙ ГЭС	88
Долженко А.В., Наумов А.Е. ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СБОРНО-МОНОЛИТНОГО ПАНЕЛЬНОГО МАЛОЭТАЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА	94
Колесникова Л.И. ХРАМ СВЯТЫХ АПОСТОЛОВА ПЕТРА И ПАВЛА В ПРОХОРОВКЕ – МЕМОРИАЛ ВОИНСКОЙ СЛАВЫ	99
Перькова М.В. ИСТОРИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РАССЕЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ	103

- Ярмош Т.С., Иванилова Е.И.**
 ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОЗЕЛЕНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ГОРОДА, КАК СРЕДСТВО
 УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ ГОРОДСКОГО НАСЕЛЕНИЯ 109

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

- Павленко А.В., Ястребинский Р.Н.**
 ИССЛЕДОВАНИЕ АГРЕГАТИВНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ МЕТИЛСИЛИКОНАТ
 НАТРИЯ – НИТРАТ ВИСМУТА 113
- Клименко В.Г.**
 РОЛЬ ДВОЙНЫХ СОЛЕЙ НА ОСНОВЕ СУЛЬФАТОВ Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , NH_4^+ В ТЕХНОЛОГИИ
 ПОЛУЧЕНИЯ АНГИДРИТОВЫХ ВЯЖУЩИХ 119
- Ключникова Н.В., Гордеев С.А., Гордиенко М.Д.**
 ПОЛИМЕРНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО
 ПОЛИИМИДА 126
- Бондаренко Д.О., Бондаренко Н.И., Бессмертный В.С., Купавцев Э.Л., Дюмина П.С.,
 Макаров А.В.**
 СИНТЕЗ СИЛИКАТ-ГЛЫБЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛАЗМЕННОГО НАГРЕВА 130
- Дребезгова М.Ю.**
 ОСОБЕННОСТИ МИКРОСТРОЕНИЯ ЗАТВЕРДЕВШЕГО КГВ
 С МНОГОКОМПОНЕНТНЫМИ МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ 136
- Коробанова Е.В., Онищук В.И., Дороганов В.А., Евтушенко Е.И.**
 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГРАНУЛИРОВАНИЯ
 ИСКУССТВЕННОГО КЕРАМИЧЕСКОГО ВЯЖУЩЕГО НА ОСНОВЕ ГЛИНОЗЕМА 141

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

- Теличенко В.И., Кайтуков Б.А., Скель В.И.**
 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ СМЕСИТЕЛЬНЫХ
 БАРАБАНОВ ГРАВИТАЦИОННЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ 147
- Гавриленко А.В., Богданов В.С., Лозовая С.Ю., Фадин Ю.М., Кулаков Л.С., Гавшин А.П.,
 Тюфанова Ю.В.**
 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НА ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ
 ПНЕВМОКАМЕРНОГО НАСОСА 153
- Логачев И.Н., Семикопенко И.А., Смирнов Д.В.**
 ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДВИЖЕНИЯ КРУПНЫХ ЧАСТИЦ ИЗМЕЛЬЧЕННОГО МАТЕРИАЛА
 В КРИВОЛИНЕЙНОМ ПАТРУБКЕ ВОЗВРАТА ДЕЗИНТЕГРАТОРА 159
- Чепчуров М.С., Дудукало Д.В., Горбачев И.А.**
 ДИНАМИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ
 РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА МЕХАТРОННОГО ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО
 МОДУЛЯ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ 163
- Уральский В.И., Синица Е.В., Уральский А.В., Сажнева Е.А.**
 ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
 ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ 168

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

- Ломакин В.В., Асадуллаев Р.Г., Зайцева Т.В., Путивцева Н.П., Белоконь Ю.Ю.**
 ФОРМАЛЬНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО
 ЯЗЫКА УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ 173
- Ханин С.И., Старченко Д.Н., Мордовская О.С., Харин Н.П.**
 ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
 ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОЧНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ КЛАССИФИЦИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ
 ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦ 181
- Шапгала В.Г., Северин Н.Н., Радоуцкий В.Ю., Шапгала В.В., Северин С.Н., Олейник Д.В.**
 КОГНИТИВНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ПЕРВИЧНЫМИ МЕРАМИ ПОЖАРНОЙ
 БЕЗОПАСНОСТИ НА МУНИЦИПАЛЬНОМ УРОВНЕ 188

- Таваева А.Ф., Петунин А.А.**
ВЫЧИСЛЕНИЕ СТОИМОСТИ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ В ЗАДАЧЕ ОПТИМИЗАЦИИ
МАРШРУТА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА МАШИНАХ С ЧПУ 194

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Иванов Н.А., Сафиаддин А.М-А.**
ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ РЕСПУБЛИКИ ЙЕМЕН И ПУТИ
ИХ РЕШЕНИЯ 203
- Авилова И.П., Крутилова М.О.**
ЭКООРИЕНТИРОВАННАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СТОИМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА
ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ ГЭС 212
- Сборщиков С.Б., Лазарева Н.В., Бахус Е.Е.**
К ВОПРОСУ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬНОЙ
ПРОДУКЦИИ 220
- Никулина О.М., Акимова Г.З.**
АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПРОБЛЕМ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ЖКХ РЕГИОНА 226
- Абакумов Р.Г., Наумов А.Е., Ходыкина И.В.**
ДЕМПИНГ ЦЕН В ТЕНДЕРАХ НА СТРОИТЕЛЬНЫЕ ПОДРЯДЫ 233
- Хорошун Н.А., Шамаева О.П., Дорошев Б.А.**
КОНКУРЕНТНАЯ РАЗВЕДКА С ПОМОЩЬЮ ЯНДЕКС.ДИРЕКТ 239
- Тумин В.М., Бухонова С.М., Молчанова В.А.**
ПРИОРИТЕТЫ РОССИЙСКОГО ФИНАНСОВОГО СЕКТОРА В УСЛОВИЯХ
ПОТЕНЦИАЛЬНОГО РОСТА ЭКОНОМИКИ 245
- Чикина Е.Д., Янченко Е.Ю.**
АНАЛИЗ И ОЦЕНКА КРЕДИТНОГО РИСКА КОММЕРЧЕСКОГО БАНКА
С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ЭММ И ПРОГРАММ МАТНСАД И EXCEL 251
- Леонова О.В.**
ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНОСТРАННОГО ЧАСТНОГО КАПИТАЛА
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИННОВАЦИОННО-ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПОТРЕБНОСТЕЙ
НАЦИОНАЛЬНЫХ ХОЗЯЙСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ 262
- Шматко А.Д., Селиверстов Ю.И.**
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ В РОССИИ: РЕГИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТ 267

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.12737/article_5a27cb7c733e24.73795944

¹Траутвайн А.И., канд. техн. наук, доц.,²Акимов А.Е., канд. техн. наук,¹Яковлев Е.А., канд. техн. наук, доц.³Черногиль В.Б., научный консультант,⁴Лукашук А.Г., аспирант^{1,2}Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова³ООО «Научно-Производственное Предприятие

«Завод Инновационного Промышленного Оборудования»

⁴Воронежский государственный технический университет

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СТАБИЛИЗАТОРОВ СЕРИИ «ЧИМСТО» В ГРУНТАХ, УКРЕПЛЕННЫХ НЕОРГАНИЧЕСКИМИ ВЯЖУЩИМИ*

trautvain@bk.ru

В статье представлены исследования физико-механических характеристик грунтов, укрепленных неорганическими вяжущими в комплексе со стабилизирующими добавками серии «Чимстон» различного функционального назначения. В данной работе рассмотрена эффективность применения добавок для комплексного улучшения характеристик грунтов марки «Чимстон-1» и «Чимстон-2» разработанные ООО «НПП «ЗИПо». Для изготовления образцов укрепленного грунта применялись местные грунты: суглинок легкий песчанистый и супесь легкая.

Добавки вводились вместе с водой увлажнения в соответствии с рекомендациями производителя. Количество добавки «Чимстон-1» для стабилизации грунта составляло 0,007 % от массы грунта, «Чимстон-2» вводили в количестве 0,01 % по отношению к цементу.

В процессе проведения экспериментальных работ были изучены пластифицирующий эффект добавок на основе изменения максимальной плотности и оптимальной влажности грунта; водонасыщение, прочностные характеристики грунтобетона при сжатии и в условиях нагружения по схеме растяжение при изгибе.

Было установлено, что применение добавок серии «Чимстон» позволяет значительно поднять ключевые характеристики грунтобетонных конструкций, не увеличивая при этом расход вяжущего. Добавка «Чимстон-1» имеет ярко-выраженный пластифицирующий эффект, способствует улучшению уплотняемости грунта и снижает количество воды, требуемое для достижения максимальной плотности. Добавка «Чимстон-2» является гидрофобизатором с высокой степенью эффективности при стабилизации грунтов.

Ключевые слова: добавка «Чимстон», грунт, стабилизация, укрепление, физико-механические характеристики, автомобильные дороги.

Введение. Развитие автомобильного транспорта и интенсивности грузовых перевозок предъявляет все более жесткие требования к конструкции автомобильных дорог. Постоянный рост веса подвижного состава приводит к тому, что традиционные конструкции автомобильных дорог зачастую не выдерживают даже гарантийного срока эксплуатации. Другая проблема состоит в том, что часто местные материалы не подходят для устройства дополнительных дренажных или морозозащитных слоев основания дорожных одежд, а применение привозных материалов вызывает удорожание строительства. В описанных выше случаях наиболее рациональным технологическим приемом становится укрепление рабочего слоя грунта минеральным или комплексным вяжущим [1–8].

Известно, что укрепленный грунт может применяться в различных конструктивных элементах: рабочий слой земляного полотна на дорогах высших категорий с усовершенствованными капитальными покрытиями, в качестве слоя основания на дорогах с облегченными и переходными типами покрытия, и в качестве нижнего слоя дорожной одежды на дорогах низших технических категорий. В зависимости от конструктивного слоя, к укрепленным грунтам применяются различные требования по прочности и морозостойкости. Зачастую, используя в составе укрепленного грунта только грунт и вяжущее, добиться требуемых значений по прочности, а особенно, по морозостойкости, сложно. Для по-

вышения прочностных и эксплуатационных характеристик укрепленных грунтов используют специальные добавки.

Следует отметить, что конечная задача укрепления грунтов состоит в создании таких новых материалов, которые бы отвечали возрастающим техническим требованиям строящихся автомобильных дорог. При этом должно максимально учитываться и использоваться влияние природно-климатических условий.

Методология. Для проведения исследований использовались следующие грунты: суглинок легкий песчаный, супесь твердая, песок мелкий, именуемые в дальнейшем суглинок и супесь. Физико-механические характеристики исходных грунтов представлены в табл. 1, гранулометрический состав – в табл. 2.

Таблица 1

Физико-механические характеристики исходных грунтов

Наименование показателя	Вид грунта	
	Суглинок легкий песчаный	Супесь твердая
Естественная влажность, $W_{ест}$, %	19,8	9,55
Влажность на границе текучести, W_L , %	34,7	18,8
Влажность на границе раскатывания, W_p , %	25,6	12,84
Число пластичности, I_L	9,1	5,96
Максимальная плотность, ρ_{max} , г/см ³	1,39	2,03
Оптимальная влажность, $W_{опт}$, %	20,0	8,2

Таблица 2

Гранулометрический состав грунтов

Размер сит, мм	2	1	0,5	0,25	0,1	<0,01
Суглинок легкий песчаный						
Частные остатки, %	0,00	0,05	0,38	3,22	8,46	84,99
Полные остатки, %	2,90	2,95	3,33	6,55	15,01	100,00
Полные проходы, %	97,10	97,05	96,67	93,45	84,99	0,00
Супесь твердая						
Частные остатки, %	4,21	12,62	64,38	10,31	4,77	5,02
Полные остатки, %	2,90	15,52	79,90	90,21	94,98	100,00
Полные проходы, %	97,10	84,48	20,10	9,79	5,02	0,00

Для укрепления грунтов использовали стабилизирующие добавки торговой марки «Чимстон» («Чимстон-1» и «Чимстон-2») производства ООО НПП «ЗИПО» г. Липецк в комплексе с цементом ЦЕМ II/A-III 22,5.

Физико-механические характеристики грунтов испытывали в соответствии со следующими нормативными документами: ГОСТ 5180-2015 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик», ГОСТ 12071-2014 «Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов», ГОСТ 30416-2012 «Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения», ГОСТ 22733-2016 «Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности», ГОСТ 12536-2014 «Грунты. Метод лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава».

Физико-механические характеристики цемента исследовали по ГОСТ 310.3-76 «Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема», ГОСТ 310.4-91 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии»

Определение предела прочности при сжатии осуществляли по ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам», ГОСТ 10060-2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости». Водонасыщение укрепленных грунтов определяли в соответствии с разделом 4.7.4 ГОСТ 12801-98 «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний».

Основная часть. Согласно данным ООО «НПП «ЗИПО» «Чимстон-1» – это стабилизатор – гидрофобизатор – модификатор – полимерный пластификатор. Коэффициент растворения добавки «Чимстон-1» с водой находится в пределах от 1:100 до 1:5000. Расход Стабилизатора грунта «Чимстон-1» составляет 0,007 % от массы грунта или 1 л на 7,5 м³ конструктивного слоя дорожной одежды. «Чимстон-2» – это стабилизатор – гидрофобизатор для строительной промышленности. Норма расхода добавки при объемной гидрофобизации «Чимстон-2» применяется в количестве 0,1–0,2 % от массы вяжущего (цемента) или другого сухого продукта. Может

вводиться в раствор с водой затворения. При работе в морозную погоду расход можно увеличить вдвое. Добавки включают ПАВы, эфирные масла, биополимеры, красящие вещества [9].

Добавки вводились вместе с водой увлажнения в соответствии с рекомендациями производителя. Количество добавки «имстон-1» для стабилизации грунта составляло 0,007 % от массы

грунта, «Чимстон-2» вводили в количестве 0,01 % по отношению к цементу.

Исследование пластифицирующих свойств добавок «Чимстон-1» и «Чимстон-2» проводилось путем анализа изменения оптимальной влажности различных видов грунтов при максимальной плотности. Результаты стандартного уплотнения грунтов с исследуемыми добавками представлены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристики стандартного уплотнения грунтов с исследуемыми добавками

Тип грунта	Применяемая добавка	Максимальная плотность, кг/см ³	Оптимальная влажность, %
Суглинок	Без добавки	1,77	19,5
	«Чимстон-1»	1,74	17,5
	«Чимстон-2»	1,71	19,0
Супесь	Без добавки	2,02	8,2
	«Чимстон-1»	2,04	6,0
	«Чимстон-2»	2,00	8,9

Из представленных результатов видно, что добавка «Чимстон-1» проявляет пластифицирующий эффект, так как она позволяет снизить оптимальную влажность различных видов грунтов на 2 %, в то время как «Чимстон-2» практически не влияет на данный показатель. Так, оптимальная влажность суглинистого грунта без добавки составляла 19,5 %, при введении «Чимстон-1» она снизилась до 17,5 %, а при использовании «Чимстон-2» значение данного показателя составило 20,6 %. При введении добавки «Чимстон-1» в супесь привело к уменьшению оптимальной влажности с 8,2 до 6,0 %.

Очевидно, что внесение водного раствора стабилизатора «Чимстон-1» в глинистый грунт приводит к существенному снижению поверхностного натяжения воды на границе раздела фаз, тем самым облегчая ее распределение на поверхности твердых частиц грунта за счет улучшения смачиваемости поверхности. В конечном итоге, введение добавки «Чимстон-1» приводит к улучшению подвижности частиц грунта друг относительно друга при наличии более тонкой и равномерной пленки воды вокруг них, что улучшает упаковку зерен в процессе уплотнения и высокая плотность достигается при меньшем количестве воды.

Важно отметить, что при введении добавок оптимальная влажность суглинистого грунта достигается при максимальной плотности скелета грунта, значение которого чуть ниже, чем контрольного образца без добавки. Так, для суглинистого грунта без добавки максимальная плотность грунта составила 1,77 г/см³, в то время как при использовании добавки «Чимстон-1» она составила 1,74 г/см³, «Чимстон-2» – 1,71 г/см³. На

песчаном грунте и супеси данная тенденция не наблюдается.

Таким образом, анализ изменения оптимальной влажности при максимальной плотности различных видов грунтов при введении стабилизаторов «Чимстон-1» и «Чимстон-2» показал, что «Чимстон-1» проявляет пластифицирующий эффект и может быть отнесен к классу пластифицирующих добавок. Введение добавки «Чимстон-2» не приводит к уменьшению оптимальной влажности при максимальной плотности грунтов, а, следовательно, не может являться добавкой-пластификатором.

Известно, что снижение водопотребности грунтобетона положительно сказывается на его прочностных характеристиках и морозостойкости [10–15].

Для проведения исследований по изучению прочностных характеристик укрепленного грунта с применением добавок «Чимстон-1» и «Чимстон-2» были изготовлены цилиндрические образцы диаметром и высотой, равными 50 мм. Изготовленные образцы после выдерживания были испытаны согласно требованиям нормативных документов. Количество добавки «Чимстон-1» для стабилизации грунта составляло 0,007 % от массы грунта, «Чимстон-2» вводили в количестве 0,01 % по отношению к массе цемента. Количество портландцемента – 1, 3 и 5 % масс. Продолжительность твердения образцов составила 28 суток. Изготовленные образцы после выдерживания были испытаны согласно требованиям нормативных документов с определением прочности при сжатии, прочности при растяжении при изгибе и водонасыщения.

Результаты исследования прочности образцов в зависимости от количества вводимого цемента и стабилизаторов «Чимстон-1» и «Чимстон-2» представлены на рис. 1–3. Установлено, что прочность образцов всех рецептур увеличивается с повышением количества цемента. При этом максимальная прочность достигается при введении 5 % цемента в суглинистый грунт.

Важно отметить, что применение стабилизатора «Чимстон-1» приводит к большему увеличению прочности, по сравнению с добавкой «Чимстон-2». Анализ проведенных исследований

показал, что при укреплении суглинистого грунта добавкой «Чимстон-1» и 5 % цемента привело к увеличению прочности образцов грунтобетона при сжатии по сравнению с контрольными образцами, приготовленными на основе соответствующего количества цемента без применения добавки на 32 %; при укреплении супеси – на 21%. Изменение предела прочности грунта, укрепленного добавкой «Чимстон-2» в комплексе с 5 % цемента, привело к менее значительному увеличению прочности суглинистого и супесчаного грунтов, по сравнению с контрольными (12 и 15 % соответственно).

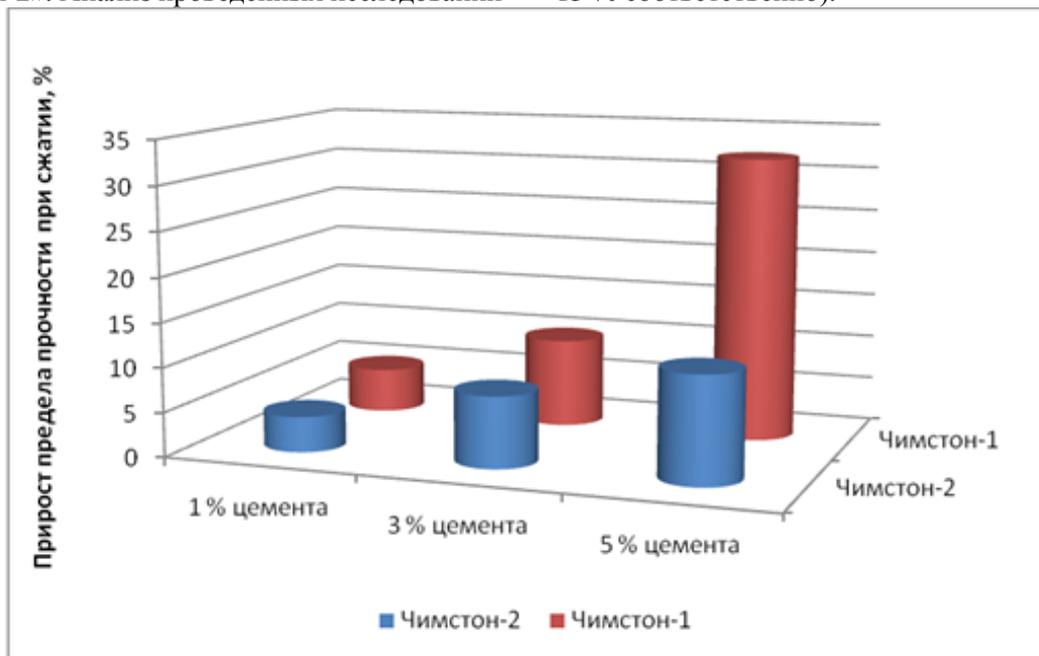


Рис. 1. Прирост предела прочности при сжатии образцов грунтобетона на основе суглинка при введении стабилизаторов «Чимстон-1» и «Чимстон-2»

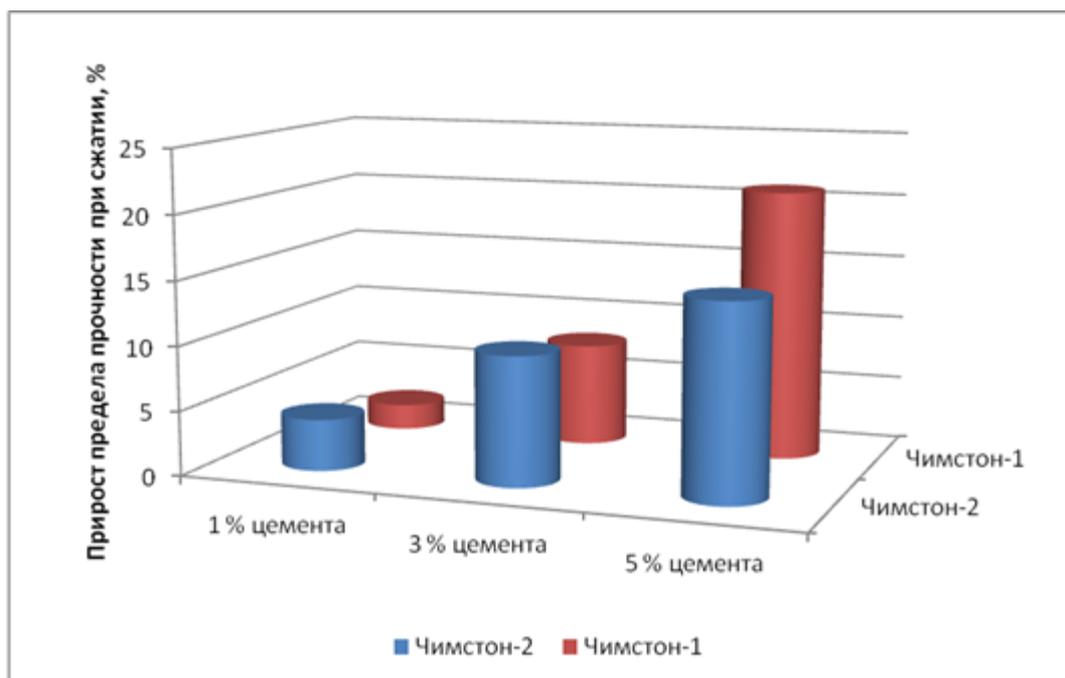


Рис. 2. Прирост предела прочности при сжатии образцов грунтобетона на основе супеси при введении стабилизаторов «Чимстон-1» и «Чимстон-2»

Введение стабилизатора «Чимстон-1» и 3 % цемента в грунт приводит к увеличению предела прочности при сжатии образцов грунтобетона на основе суглинка и супеси, по сравнению с контрольными, на 10 и 8 % соответственно. Характер изменения предела прочности при сжатии образцов грунта различных видов, укрепленных «Чимстон-2» и 3 % цемента, аналогичен изменению грунтобетонных образцов на основе данной добавки и 5 % цемента. По сравнению с «Чимстон-1», зафиксировано незначительное увеличение прочности суглинистого грунта – 8 % и более высокое изменение данного показателя при стабилизации супеси – на 10 %.

Введение 1 % цемента и стабилизатора «Чимстон-1» или «Чимстон-2» в состав исход-

ного грунта на значения предела прочности образцов отразилось незначительно. Изменение составило 3–5 %.

Анализ предела прочности при изгибе комплексной системы «грунт-стабилизатор-вяжущее» показал, что динамика набора прочности образцов грунтобетона к воздействию изгибающей силы суглинистых грунтов значительно выше, по сравнению со сжимающей нагрузкой (табл. 4). Введение различного количества цемента (1, 3 и 5 %) и стабилизатора «Чимстон-1» в суглинок способствует увеличению прочности образцов при изгибе на 7, 15 и 42 % соответственно; при использовании добавки «Чимстон-2» с аналогичным количеством цемента повышает данный показатель на 6, 12 и 15 % соответственно.

Таблица 4

Показатели прочности образцов грунтобетона при растяжении при изгибе

Наименование добавки	Прочность при сжатии, МПа, для грунтов					
	Суглинок с цементом, %			Супесь, с цементом, %		
	1	3	5	1	3	5
Контроль	0,42	0,80	1,16	0,07	0,58	0,89
«Чимстон-1»	0,45	0,92	1,65	0,07	0,62	0,94
«Чимстон-2»	0,45	0,85	1,35	0,07	0,60	0,92

Эффективность использования добавок серии «Чимстон» для повышения предела прочности при изгибе супеси имеет менее выраженный характер. Так, укрепление супесчаного грунта 5 % цемента и добавками серии «Чимстон» привело к увеличению показателя в пределах 10–12 %.

Важно отметить, что по аналогии с пределом прочности при сжатии, максимальный эффект на

показатель предела прочности при изгибе оказывает добавка «Чимстон-1».

Образцы грунта, укрепленного цементом совместно с добавками серии «Чимстон», подвергались полному водонасыщению в соответствии с ГОСТ 12801-98. Результаты исследований представлены в табл. 5. Для сравнения были заформованы контрольные образцы, приготовленные на основе соответствующего количества цемента без применения добавок.

Таблица 5

Значение водонасыщения образцов грунта, укрепленного цементом различного количества и стабилизаторами «Чимстон-1» и «Чимстон-2»

Наименование добавки	Вид грунта					
	Суглинок, укрепленный цементом в количестве, %			Супесь, укрепленная цементом в количестве, %		
	1	3	5	1	3	5
Контроль	3,05	1,93	1,68	1,97	1,21	0,78
«Чимстон-1»	2,44	1,68	1,56	1,73	0,98	0,55
«Чимстон-2»	2,20	1,62	1,48	1,65	0,73	0,18

Анализ представленных результатов показал, что водонасыщение образцов грунтобетона на основе супеси было минимальным. Это может быть связано с тем, что гранулометрический состав супеси является наиболее рациональным, так как крупные поры между частицами песка заполнены тонкодисперсными глинистыми частицами.

Установлено, что стабилизатор «Чимстон-2» способствует наименьшему насыщению образцов грунта водой. Так, образцы суглинка, укрепленного 1 % цемента без использования стабилизатора, показывают водонасыщение равное 3,05 %, в то время как дополнительное введение добавки «Чимстон-2» приводит к снижению водонасыщения на 28 %, «Чимстон-1» – на 20 %. Увеличению количества неорганического вяжущего в составе грунта приводит к уменьшению

водонасыщения. При этом важно отметить, что расхождение в показателе водонасыщения в присутствии добавок по сравнению с контрольным образцом при увеличении количества цемента также становится менее выраженным. Использование стабилизатора «Чимстон-1» в составе суглинистого грунта, укрепленного 5 % цемента, приводит к снижению показателя на 7 %, а введение добавки «Чимстон-2» – на 12 %.

Выводы. Было установлено, что применение добавок серии «Чимстон» позволяет значительно поднять ключевые характеристики грунтобетон, не увеличивая при этом расход вяжущего. Добавка «Чимстон-1» имеет ярко-выраженный пластифицирующий эффект, способствует улучшению уплотняемости грунта и снижает количество воды, требуемое для достижения максимальной плотности. Добавка «Чимстон-2» не оказывает какой-либо значительный пластифицирующий эффект на грунт, незначительно повышает физико-механические характеристики, однако приводит к значительному повышению прочности грунтобетона.

Результаты исследования показали, что укрепление грунтов исследуемыми добавками совместно с цементом в количестве 1 % не целесообразно, так как изменение прочностных характеристик составляет не более 5 %.

Использование стабилизатора «Чимстон-1» и 3 % цемента способствовало увеличению пределов прочности при сжатии и изгибе в пределах 10–15 % по сравнению с контрольными образцами, приготовленными на основе соответствующего количества цемента без применения добавки. Увеличение количества цемента до 5 % привело к повышению прочности при сжатии образцов грунтобетона от 20 до 30 %, а при изгибе до 40 % (максимальные значения наблюдались при укреплении суглинистого грунта).

Введение стабилизатора «Чимстон-2» совместно с 3 и 5 % цемента не способствовало значительному увеличению прочности как при сжатии, так и при изгибе и составило не более 10%, по сравнению с контрольными образцами.

Введение добавок серии «Чимстон» положительно отразилось на водонасыщении образцов грунта, укрепленных неорганическими вяжущими. Эффективность их использования обусловлена снижением данного показателя. Важно отметить, что добавка «Чимстон-2» оказала максимальный эффект на снижения показателя водонасыщения. Это доказывает, что она является гидрофобизатором с высокой степенью эффективности при стабилизации грунтов.

**Работа выполнена в рамках Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Золотых С.Н. Стабилизация глинистых грунтов в транспортном строительстве // В сборнике: Образование, наука, производство Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2015. С. 600–603.
2. Траутвайн А.И., Евтухова Д.А., Могилевцев Д.А. Осушение грунтов повышенной влажности при реализации проекта «Комплексная реконструкция участка им. Максима Горького - Котельниково - Тихорецкая - Крымская с обходом Краснодарского железнодорожного узла» // Сборник статей: Синтез науки и общества в решении глобальных проблем современности Международной научно-практической конференции: в 2-х частях. 2016. С. 91–95.
3. Могилевцев Д.А., Траутвайн А.И. Теоретические основы укрепления и стабилизации грунтов [Электронный ресурс] / Сборник докладов IX Международного молодежного форума «Образование. Наука. Производство»: сб. докладов // Белгор. гос. технол. ун-т. (6-13 октября 2017 г, Белгород). Белгород, 2017.
4. Прокопец А.С., Сергеев А.С., Юшков Б.С., Сушков С.И. Методы и мероприятия по укреплению лесовозных дорог, устраиваемых на слабых глинистых грунтах // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. 2016. Т. 3. № 3 (6). С. 376–379.
5. Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Ломакин Д.В., Логойда В.С. Исследование отходов промышленности для укрепления грунтов // Фундаментальные исследования. 2016. № 12-1. С. 102–106.
6. Акимов А.Е., Траутвайн А.И., Черногиль В.Б. Повышение физико-механических характеристик укрепленных грунтов при применении стабилизирующих добавок серии Чимстон [Электронный ресурс] // В сборнике: Наука и образование в современных условиях. Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции. Под общей редакцией А.И. Вострецова. 2017. С. 49–55.
7. Траутвайн А.И., Акимов А.Е., Яковлева А.А. Особенности использования стабилизирующих добавок для укрепления грунтов // В сборнике: Наука и образование в современных условиях. Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции. Под общей редакцией А.И. Вострецова. 2017. С. 200–207.
8. Рубашкина Т.И. Экспериментальные исследования физико-технических свойств золошлаковых отходов местных ТЭЦ с целью применения в дорожном строительстве // В сборнике: Транссиб: на острие реформ материалы

международной научно-практической конференции. Иркутский государственный университет путей сообщений; Забайкальский институт железнодорожного транспорта. 2016. С. 134–140.

9. ТУ 2493–001–97980347–2016. Полимерные пластификаторы серии «Чимстон» для грунтобетонных и бетонных смесей. Введен 10.10.2016. Липецк: ООО «НПП «ЗИПО». 26 с.

10. Абрамова Т.Т., Босов А.И., Валиева К.Э. Использование стабилизаторов для улучшения свойств связных грунтов // Геотехника. 2012. № 3. С. 4–28.

11. Воронкевич С.Д. Основы технической мелиорации грунтов. М.: Научный мир, 2005. 504 с.

12. Автомобильные дороги и мосты. Строительство конструктивных слоев дорожных одежд из грунтов, укрепленных вяжущими материалами. Обзорная информация/Составитель С.Г. Фурсов. М.: ФГУП «Информавтодор», 2007. Вып. 3. URL: <http://files.stroyinf.ru/Data1/52/52596/>.

13. Майорова Л.С., Акчурин Т.К., Потапов А.А. Долговечность модифицированных мелкозернистых бетонов // В сборнике: Инженерные

проблемы строительного материаловедения, геотехнического и дорожного строительства материалы IV Международной научно-технической конференции. 2013. С. 211–217.

14. Алексиков С.В., Симончук Д.Н. Дорожные одежды на переуплотненном грунтовом основании // В сборнике: Инженерные проблемы строительного материаловедения, геотехнического и дорожного строительства материалы IV Международной научно-технической конференции. 2013. С. 56–57.

15. Жигайлов А.А., Куюков С.А., Шуваев А.Н. Влияние степени уплотнения на основные характеристики цементогрунта с полимерной добавкой // Научно-технический вестник Поволжья. 2011. № 5. С. 131–134.

16. Ядыкина В.В., Гридчин А.М., Антонова Р.О. Перспективы использования полимерных стабилизаторов при укреплении грунтов в дорожном строительстве // В сборнике: Эффективные строительные композиты Научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Юрия Михайловича. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2015. С. 767–770.

Информация об авторах

Траутвайн Анна Ивановна, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных и железных дорог.
E-mail: trautvain@bk.ru.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Акимов Андрей Евгеньевич, ведущий инженер ЦВТ БГТУ им. В.Г. Шухова.
E-mail: akimov548@gmail.com.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Яковлев Евгений Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных и железных дорог.
E-mail: jea@intbel.ru.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Черногиль Виталий Богданович, научный консультант.
E-mail: vital.zipo@gmail.com.
Общество с ограниченной ответственностью «Научно-Производственное Предприятие «Завод Инновационного Промышленного Оборудования».
Россия, 398531, Липецкая область, Липецкий район, с. Ленино, ул. Титова, д. 27 а.

Лукашук Александр Геннадьевич, аспирант
E-mail: vital.zipo@gmail.com.
Воронежский государственный технический университет
Россия, 394026, г. Воронеж, Московский проспект, 14

Поступила в октябре 2017 г.

© Траутвайн А.И., Акимов А.Е., Яковлев Е.А., Черногиль В.Б., Лукашук А.Г., 2017

Trautvain A.I., Akimov A.E., Yakovlev E.A., Chernogil V.B., Lukashuk A.G.
ESTIMATION OF APPLICATION "CHIMSTON" ADDITIVES EFFICIENCY FOR
SOIL STABILIZED BY CEMENT

Paper observes research of the mechanical characteristics of the stabilized soil with different «Chimston» additives. Current work focuses on the application of the «Chimston-1» and «Chimston-2» produced by Zipo research and production company. Stabilized soil is based on local soils: argillaceous sand ground and sand clay.

Chemical additives are mixed with water according to the manufacture's recommendations. Amount of the «Chimston-1» is 0.07 % of the soil. Amount of the «Chimston-2» is 0.01 % of the cement.

During the research plasticize effect is studied, based on maximum density and optimal humidity. Water saturation, mechanical strength under tension in bending and compression.

It is established, application of the "Chimston" additives allow to increase key characteristics of the stabilized soil without increasing of the cement. «Chimston-1» additive has strongly pronounced plasticize effect which allow to increase soil compaction and decrease optimal humidity. Additive "Chimston-2" is a water repellent with a high degree of efficiency with soil stabilization.

Keywords: *"Chimston" additives, soil, stabilizing, mechanical characteristics, roads, road bed.*

Information about the authors

Trautvain Anna Ivanovna, PhD, Assistant professor.

E-mail: trautvain@bk.ru.

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

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

Yakovlev Evgeniy Aleksandrovich, PhD, Assistant professor.

E-mail: jea@intbel.ru.

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

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

Akimov Andrey Evgenievich, Leading engineer of the Center for High Technologies

E-mail: akimov548@gmail.com.

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

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

Chernogil Vitaly Bogdanovich, scientific consultant

E-mail: vital.zipo@gmail.com.

Limited Liability Company "Scientific-Production Enterprise" Plant of Innovative Industrial Equipment "

Russia, 398531, Lipetsk region, village Lenino, st. Titova, 27 a

Lukashuk Alexander Gennadievich, Postgraduate student

E-mail: vital.zipo@gmail.com.

Voronezh State Technical University

Russia, 394026, Voronezh, Moskovsky prospect, 14

Received in October 2017

© Trautvain A.I., Akimov A.E., Yakovlev E.A., Chernogil V.B., Lukashuk A.G., 2017

*Лунёв А.А., аспирант,
Сиротюк В.В., д-р техн. наук, проф.*
Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ИЗ ЗОЛОШЛАКОВОЙ СМЕСИ*

lunev.al.al@gmail.com

Для полномасштабного использования отходов тепловых электростанций – золошлаковых смесей, в качестве строительного материала земляного полотна автомобильных дорог необходимо обосновать их механические характеристики, в частности – модуль упругости этого техногенного грунта и его изменение в зависимости от влажности. В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований по определению несущей способности (модуля упругости) насыпи земляного полотна из золошлаковой смеси от сжигания углей Экибастузского бассейна. В ходе исследований проводились штамповые испытания, при этом влажность земляного полотна искусственно изменялась. В результате установлена зависимость величины модуля упругости ЗШС в теле насыпи от влажности этого техногенного грунта. Дополнительно проведено сравнение результатов определения величин этого показателя, полученных на лабораторных образцах и в натуральных условиях.

Ключевые слова: автомобильные дороги, земляное полотно, золошлаковая смесь, несущая способность, модуль упругости.

Введение. Повышение объёмов промышленного производства вызывает постоянное увеличение потребности страны в тепло- и электроэнергии. Несмотря на усилия по разработке новых источников энергии, на большей части Сибирского, Уральского и Дальневосточного федеральных округов энергия генерируется на тепловых электростанциях (ТЭС) за счёт сжигания ископаемых углей. При этом способе производства энергии образуется огромное количество отходов (до 45 % от количества сжигаемого угля) в виде золошлаковых смесей (ЗШС), которые складировать в специализированных отвалах. Поскольку переход на новые источники энергии является делом отдалённой перспективы, в ближайшие десятилетия количество золошлаковых отходов будет только увеличиваться и, по прогнозам, к 2030-му году их количество в РФ достигнет 2,0 млрд. тонн.

В то же время в крупных городах РФ остро стоит вопрос нехватки кондиционных грунтов для сооружения земляного полотна автомобильных дорог и выполнения вертикальных планировок территорий для промышленного и гражданского строительства. Поскольку стоимость пригородных земель очень высока, под карьеры выделяют участки с переувлажнёнными глинистыми грунтами, как правило, расположенные за десятки километров от строящихся объектов. Это не только увеличивает стоимость этих объектов, но и усложняет производство работ, может снижать качество конструкции.

Многолетний иностранный и отечественный опыт показывают возможность эффективной утилизации ЗШС в строительстве [1, 2], в том числе при возведении земляных сооружений [3–7]. Однако имеются данные о существенных различиях в механических свойствах ЗШС разного генезиса [8, 9]. Поэтому мы выполняем комплексные исследования по определению механических характеристик (в том числе модуля упругости) ЗШС от сжигания Экибастузских углей, которые другими авторами ранее не выполнялись.

Методика испытаний. Несущая способность дорожной конструкции характеризуется эквивалентным модулем упругости её конструктивных слоёв. Для изучения модуля упругости золошлаковых смесей в натуральных условиях был построен опытный участок автомобильной дороги с земляным полотном из ЗШС. Конструкция земляного полотна представляет собой насыпь высотой 1,20 м, протяжённостью 12,0 м с шириной проезжей части 4,0 м. Поперечный профиль дорожной конструкции опытного участка приведён на рис. 1.

Для возведения земляного полотна использовали ЗШС (от сжигания Экибастузского угля) с влажностью 40 % из отвала ТЭЦ-5 г. Омска. Насыпь отсыпалась и разравнивалась слоями толщиной по 0,30 м с уплотнением виброплитой и виброкатком до $K_{упл} = 0,95$ [10].

Среди всех методов определения модуля упругости конструктивных слоёв в дорожной от-

расли наибольшее распространение получил метод штамповых испытаний. Модуль упругости земляного полотна опытного участка оценивался

дважды – после его возведения, в июле 2010 г, и в июле 2017 г.

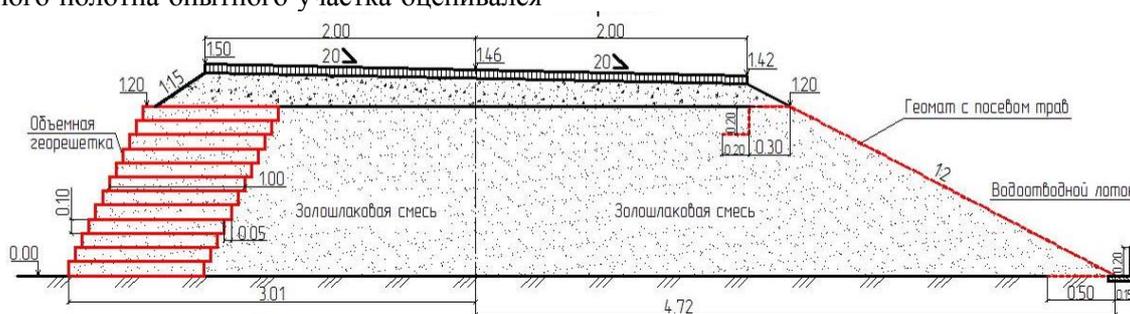


Рис. 1. Поперечный профиль дорожной конструкции опытного участка

Первый цикл испытаний проводили по методике Э.В. Костерина [11]. Измерение модуля упругости выполняли путём установки жёсткого штампа на поверхности земляного полотна в трёх точках участка.

Доведение ЗШС до влажности, соответствующей расчётному периоду, осуществляли путём увлажнения земляного полотна посредством дождевания поверхности. Для испытаний применялся жёсткий металлический штамп диаметром

0,33 м. Нагрузка передавалась посредством гидравлического цилиндра с максимальным усилием 40 кН, который был установлен в подрессоренную часть грузового автомобиля. Нагрузку прикладывали ступенями по 0,05 МПа до достижения максимального расчетного значения 0,3 МПа. Процесс выполнения испытаний изображен на рисунке 2.



Рис. 2. Проведение штамповых испытаний на поверхности земляного полотна из ЗШС: а – установленный на насыпе автомобиль; б – измерение осадок штампа при нагружении

Отбор проб для определения влажности осуществляли с верхней части земляного полотна. Определение влажности ЗШС после испытаний проводили по методу высушивания до постоянной массы по ГОСТ 5180-2015 [12].

Второй цикл испытаний выполняли по методике ОДМ 218.5.007-2016 [13]. Испытания проводили в четырех точках земляного полотна. Перед испытаниями были сделаны вырубki в покрытии и основании.

Для второго цикла штамповых испытаний использовался жёсткий пресс-штамп ПШ-050С диаметром 300 мм, нагружаемый при помощи гидравлического цилиндра с максимальным усилием 50 кН. Домкрат устанавливали в подрессоренную часть загруженного автомобиля марки ЗИЛ-130. Индикаторы часового типа ИЧ-10 крепили к стальной балке, не допускающей переме-

щений под действием ветра, нагрузок и случайных прикосновений к ней. Размещение штампа в лунке и его крепление к автомобилю показано на рис. 3.

Нагрузку на штамп прикладывали ступенями, как указано в [13], контроль нагрузки вели с помощью электронного динамометра ДЭП/3-1Д-50С-2. При ступени 0,33 МПа, были отмечены предельные для испытаний деформации (5,0 мм), поэтому нагружение проводили только до этого уровня. После достижения максимальной нагрузки, производили разгрузку нагрузочной плиты в три ступени до уровней 50 %, 25 % и 2 % от максимальной нагрузки. На завершающей стадии эксперимента выполняли вторичное нагружение, без ступени, с максимальной нагрузкой. По полученному в результате графику испытаний штамповой установкой и определяли модуль упругости. По результатам

статистической обработка, некоторые значения выборки исключались.

После испытаний земляного полотна с природной влажностью было проведено его водонасыщение посредством подачи воды через шланг в лунку (см. рис. 3а).



Рис. 3. Проведение штамповых испытаний земляного полотна из ЗШС:

а – водонасыщение золошлаковой смеси перед испытанием; б – установка нагружающего устройства; в – измерение осадок штампа при нагружении

В процессе проведения эксперимента была отмечена следующая особенность. При увлажнении земляного полотна приходила потеря воды не только за счёт частичного испарения, но и за счёт значительного дренирования влаги в нижележащие слои ЗШС. Несмотря на низкий коэффициент фильтрации ЗШС (0,02 м/сут.), влажность этого материала в течение суток падала с 50 до 30 % по массе, а ещё через сутки до 20 %. Наблюдения на протяжении двух недель показали, что влажность ЗШС стабилизировалась на уровне 18 %. Это подтверждает ранее выдвинутое положение [10] о быстром сбросе излишней влаги из ЗШС, до уровня, близкого к оптимальной.

Результаты определения модуля упругости. Испытания в 2010 г. году проводились однократно в трёх точках, только при естественной влажности.

В ходе испытаний в 2017 г. было выполнено пять циклов испытаний в течение года, в каждом из которых измерение проводили в четырёх точках. Модуль упругости определяли по формуле:

$$E = 0,75 \cdot D \frac{\Delta\sigma^{v2}}{\Delta s^{v2}} \quad (1)$$

где $\Delta\sigma^{v2}$ – приращение нагрузки, создаваемой штампом по ветви вторичного нагружения при росте от 30 до 70% от максимального её значения, МН/м²;

Δs^{v2} – приращение осадки, штампа по ветви вторичного нагружения при росте нагрузки от 30 до 70 % от максимальной нагрузки.

Далее проводили повторные испытания по вышеуказанной методике. Контроль полученной влажности ЗШС проводили по [12] путём отбора проб после испытаний. Отбор проб осуществляли с поверхности и путём вертикального бурения земляного полотна для получения образцов с глубины 0,4 м и 0,8 м. Для каждой лунки отбирали не менее 9 образцов на влажность.

Результаты первого и второго испытания, обработанные по методике ОДМ 218.5.007-2016 [13], приведены в таблице 1.

Результаты экспериментов показывают существенное влияние влажности на несущую способность ЗШС. Этот факт ранее отмечался в исследованиях *Pandian* [8]. Он определял CBR (калифорнийское число несущей способности) отвалных шлаков, золы-уноса и топливного шлака при насыщении их водой и получил похожие результаты. Сравнить данные из его работы с результатами наших испытаний можно в силу наличия прямой связи модуля упругости и CBR [14].

Существенное снижение модуля упругости ЗШС при увлажнении так же подтверждается опытами *Toth et al* [14], в которых обнаруживается снижение несущей способности этого техногенного грунта при водонасыщении в 1,43–1,99 раза, в зависимости от условий испытаний. Подобное поведение характерно для большинства природных грунтов, что подтверждается опытами *Н.Н. Маслова* [16].

Установлено, что изменений несущей способности насыпи из ЗШС за семь лет (с 2010 г.) практически нет, несмотря на многочисленные природные деструктивные воздействия (водонасыщение – высушивание, замораживание – оттаивание). Не изменилась и первоначальная плотность ЗШС ($K_{пл} = 0,95$). Следовательно, увеличение прочности ЗШС со временем, отмеченное в работе *Н.И. Барац* [17], характерно для ЗШС в отвале, уложенной гидромеханизированным способом с постепенным отводом избыточной влаги и

возможным возникновением слабых конденсационно-кристаллизационных связей.

Результаты натурного эксперимента на насыпи сравнивали с результатами лабораторных исследований, проведённых по методике ВСН 29-

76 [18] в рамках предыдущих исследований [19]. На графиках (рис. 4) представлено сравнение результатов лабораторных и натуральных испытаний ЗШС.

Таблица 1

Модуль упругости на поверхности земляного полотна из ЗШС

Номер точки	Влажность материала, % по массе				Относительная влажность	Модуль упругости E_y , МПа
	0,0 м	0,4 м	0,8 м	Средняя		
Испытания земляного полотна естественного сложения (август 2010)						
1	40,5	-	-	40,5	0,72	25,81
2	40,2	-	-	40,2	0,72	26,12
3	39,6	-	-	39,6	0,71	26,45
Испытания земляного полотна естественного сложения (август 2017)						
1	23,35	21,26	18,76	21,12	0,38	33,96
2	21,35	20,62	18,24	20,07	0,36	31,37
3	23,8	22,11	20,12	22,01	0,39	31,40
Испытания земляного полотна после первого увлажнения (август 2017)						
1	32,27	27,06	26,28	28,54	0,51	31,19
2	31,38	27,78	25,93	28,36	0,51	29,20
3	31,34	28,91	26,94	29,06	0,52	27,11
Испытания земляного полотна после второго увлажнения (сентябрь 2017)						
1	44,58	43,26	41,94	43,26	0,77	20,09
2	41,71	39,65	37,90	39,75	0,71	25,74
3	43,07	42,53	41,39	42,33	0,76	25,84
Испытания земляного полотна после третьего увлажнения (сентябрь 2017)						
1	35,38	34,02	32,66	34,02	0,61	26,35
2	38,39	35,11	31,83	35,11	0,63	29,25
3	36,86	35,57	34,27	35,57	0,64	26,46
Испытания земляного полотна в процессе осеннего влагонакопления (октябрь 2017)						
1	45,66	45,94	43,33	44,98	0,80	20,00
2	51,10	42,20	33,33	42,21	0,75	21,33
3	54,11	45,07	34,27	44,48	0,79	22,08
4	45,21	44,03	41,64	43,63	0,78	21,93

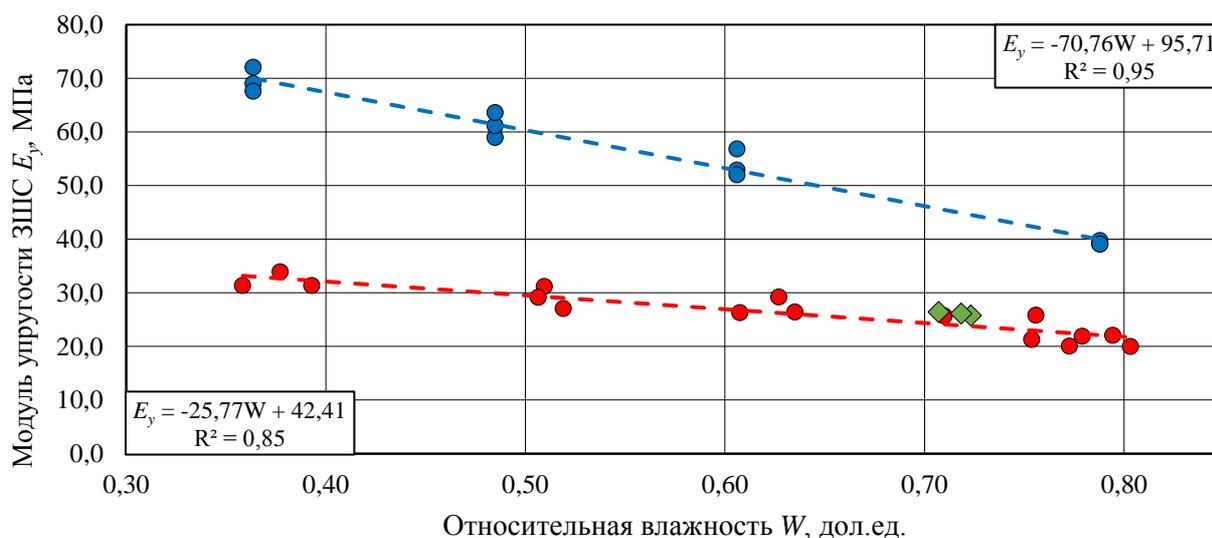


Рис. 4. Графики изменения модуля упругости при изменении влажности ЗШС:

- – значения модуля упругости ЗШС на опытном участке при разной влажности (2017 г.);
- ◆ – то же при первом испытании насыпи из ЗШС (в 2010 г.);
- – значения модуля упругости ЗШС при разной влажности, полученные в лабораторных условиях

На графиках виден близкий характер закономерностей изменения значений модуля упругости при росте влажности ЗШС, полученного в лабораторных условиях и на опытном участке. Снижение модуля упругости ЗШС в ходе натурального эксперимента составило 0,27 МПа при повышении относительной влажности на 0,01. Снижение модуля упругости ЗШС в рамках лабораторного исследования оказалось гораздо больше – 0,72 МПа на каждые 0,01 увеличения относительной влажности.

Таким образом, обе зависимости показывают устойчивое падение несущей способности (E_y) ЗШС при её дополнительном увлажнении, особенно при величине относительной влажности 0,7 и более. При этом следует отметить, что столь высокое водонасыщение ЗШС было осуществлено искусственно, из условий эксперимента. В реальных условиях происходит сброс воды из массива ЗШС до уровня относительной влажности 0,30–0,35, при котором несущая способность сооружения является максимальной (в рамках текущего исследования). Тем не менее, полученные результаты свидетельствуют, что при отсыпке насыпи из ЗШС «на воду», или при длительном подтоплении такой насыпи несущая способность нижних слоёв, находящихся в воде, будет достаточно мала. В этих случаях могут быть использованы различные способы повышения несущей способности ЗШС, например, способ, рекомендованный нами в патенте № 2614236 [20].

Сопоставление результатов определения модуля упругости ЗШС на лабораторных образцах по методике ВСН 29-76 [18] и на опытном участке (по методике ОДМ 218.5.007-2016 [13]) свидетельствует, что лабораторные испытания могут дать общую закономерность изменения параметра (E_y) под воздействием какого-либо фактора (W), однако численные значения этого параметра, полученные на лабораторных образцах, можно использовать при расчётах несущей способности дорожных конструкций с осторожностью. Это связано с масштабным фактором при испытаниях в лаборатории, влиянием жёсткой формы, в которой находится лабораторный образец при нагружении штампом. Кроме того, структура (а значит и свойства) образцов, уплотнённых прессованием или ударной нагрузкой, отличается от аналогичных образцов, полученных методами уплотнения, применяемыми на дороге (укатка, вибрация).

Испытания показали, что в целом исследованная ЗШС соответствует среднедеформируемым грунтам по Российской классификации, в то время, как по результатам опытов *Martin et al.* она может быть классифицирована, как малосжимаемый (с высокой жёсткостью) грунт [21].

Подводя итоги, можно констатировать, что несущая способность (E_y) насыпи из ЗШС от сжигания углей Экибастузского бассейна не ниже, чем насыпи, построенной из большинства природных грунтов (кроме средних и более крупных песков) при любой реально достижимой степени увлажнения.

Выводы. По результатам исследований сделаны следующие краткие выводы:

- влажность оказывает существенное влияние на несущую способность земляного полотна автомобильной дороги из золошлаковой смеси. При возрастании влажности до максимального в рамках программы испытаний значения происходит падение модуля упругости в 1,5 раза для натурального эксперимента, и в 1,8 раза для лабораторного эксперимента.

- закономерность снижения несущей способности ЗШС при росте влажности имеет схожую тенденцию, как в лабораторных, так и натуральных экспериментах. Но при росте относительной влажности на 0,01 модуль упругости при натуральных испытаниях уменьшается на 0,27 МПа (0,8 %), а при лабораторных испытаниях уменьшается на 0,72 МПа (1,03 %);

- численные значения модулей упругости, полученные в лаборатории значительно выше, чем определённые в полевых условиях, что связано с использованием малого штампа, жёсткой металлической формы в ходе лабораторных испытаний, разной структурой образцов;

- характер снижения несущей способности (E_y) ЗШС при увлажнении имеет сходство с падением несущей способности природных грунтов при увлажнении;

- золошлаковые смеси от сжигания Экибастузских углей, относятся к среднедеформируемым грунтам и могут выступать как техногенный грунт для возведения земляного полотна автомобильных дорог с позиции механических свойств.

**Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №16-48-550508 p_a). Научные исследования выполнены за счёт средств бюджета Омской области.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Толстой А.Д., Ковалева И.А., Новиков К.Ю. Совершенствование состава и свойств порошковых бетонов с техногенным сырьем // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. №2. С. 19–24.
2. Путилин Е.И., Цветков В.С. Применение зол уноса и золошлаковых смесей при строительстве автомобильных дорог. М.: Изд -во Союздорнии, 2003. 58 с.

3. User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction. [Online] URL: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/97148/019.cfm> (date of reference: 28.09.2017).
4. Collins R.J., Srivastava L. Use of Ash in Highway Construction: Delaware Demonstration Project, Final Report. Electric Power Research Institute, Report No. GS-6540, Palo Alto, California, November, 1989. 126 p.
5. Brendel G.F., Glogowski P.E. Ash Utilization in Highways: Pennsylvania Demonstration Project. Electric Power Research Institute, Report No. GS-6431, Palo Alto, California, June 1989. 132 p.
6. Haleema A., Luthrab S., Mannana B., Khurana S., Kumarc S. Critical factors for the successful usage of fly ash in roads & bridges and embankments: Analyzing indian perspective // Resources Policy. 2016. Vol. 49. Pp. 334–348.
7. Hadbaatar A., Mashkin N.A., Stenina N.G. Study of Ash-Slag Wastes of Electric Power Plants of Mongolia Applied to their Utilization in Road Construction // Procedia Engineering. 2016. Vol. 150. Pp. 1558–1562.
8. Pandian N.S. Fly ash characterization with reference to geotechnical application // Journal Indian Institute of Science. Vol. 84. Pp. 189–216.
9. Pal S. K., Ghosh A. Shear strength behavior of Indian flu ashes. Indian Geotechnical Conference Geotechnics in Infrastructure Development (GEOTIDE). Vol. 1. Pp. 18–22.
10. Иванов Е.В. Обоснование применения золошлаковых смесей для строительства земляного полотна с учетом водно-теплового режима: дисс.... канд. техн. наук. Омск. 2015. 165 с.
11. Костерин Э.В. Методические указания к лабораторной работе «Определения штамповыми испытаниями модуля деформации песчаного основания и распределения в нем напряжений». Омск: Изд. СибАДИ, 1993. 12 с.
12. ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. М.: Стандартинформ, 2016. 20 с.
13. ОДМ 218.5.007-2016. Методические рекомендации по определению модуля упругости статическим штампом. М.: ФГУП ИНФОРМАВТОДОР, 2016. 24 с.
14. Болдырев Г.Г., Мельников А.В., Новичков А.Г. Интерпретация результатов лабораторных испытаний с целью определения деформационных характеристик грунтов // Инженерные изыскания. 2014. № 5–6. С. 98–108.
15. Toth P.S., Chan H.T., Cragg C.B., Coal ash as structural fill with special reference to Ontario experience // Canadian Geotechnical Journal. Vol. 25 Pp. 694–704.
16. Маслов Н.Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии. М.: Изд-во Высшая школа, 1968. 626 с.
17. Барац Н.И. Инженерно-геологические условия г. Омска и их изменение в результате деятельности человека: дис.... канд. г-м. наук. Москва, 1974. 174 с.
18. ВСН 29-76. Технические указания по оценке и повышению технико-эксплуатационных качеств дорожных одежд и земляного полотна автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1977. 102 с.
19. Лунёв А.А., Сиротюк В.В., Иванов Е.В. Результаты исследований деформационных характеристик золошлаковых смесей // Вестник СибАДИ. 2017. № 1. С. 103–110.
20. Пат. 2614236 Российская Федерация, МПК Е 02 В 3/06. Способ формирования набережных с использованием пульпы золошлаковых отходов / А.А. Лунёв, В.В. Сиротюк; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО СибАДИ". № 2015149068, заявл. 16.11.2015; опубл. 23.03.2017, Бюл. № 9. 1 с.
21. Martin J.P., Collins R.A., Browning J.S., Biehl F.J. Properties and use of fly ashes for embankments // Energy. Vol. 116(2). Pp. 71–86.

Информация об авторах

Лунёв Александр Александрович, аспирант кафедры «Проектирование дорог».

E-mail: lunev.al.al@gmail.com.

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет.

Россия, 644080, Омск, пр. Мира, д. 5.

Сиротюк Виктор Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры «Проектирование дорог».

E-mail: sirvv@yandex.ru.

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет.

Россия, 644080, Омск, пр. Мира, д. 5.

Поступила в октябре 2017 г.

© Лунёв А.А., Сиротюк В.В., 2017

Lunev A.A., Sirotuk V.V.

**THE EFFECT OF CHANGES HUMIDITY ON THE BEARING CAPACITY
OF THE EMBANKMENTS BUILT FROM COAL ASH AND SLAG MIXTURE**

For full-scale use of waste thermal power plants – ash and slag mixtures, as a building material for the roadbed of highways, it is necessary to justify their mechanical characteristics, in particular – the modulus of elasticity of this man-made soil and its variation depending on humidity. This article presents the results of experimental studies to determine the load-bearing capacity (modulus of elasticity) of the embankment of the earth bed from the ash and slag mixture from the combustion of Coal of the Ekibastuz Basin. In the research, stamping tests of the roadbed with different humidity were carried out. As a result, the magnitude of the modulus of elasticity of the ASM in the body of the embankment is established as a function of the moisture content of this man-made soil. In addition, a comparison between the results of determining the values of this index obtained on laboratory samples and in full-scale conditions was carried out.

Keywords: *highway, embankments, ash and slag mixture, bearing capacity, Young's modulus.*

Information about the authors

Lunev Aleksandr Aleksandrovich, Postgraduate student.

E-mail: lunev.al.al@gmail.com.

Siberian State Automobile and Highway University.

Russia, 644080, Omsk, pr. Mira, 5.

Sirotyuk Viktor Vladimirovich, PhD, Professor.

E-mail: sirvv@yandex.ru

Siberian State Automobile and Highway University.

Russia, 644080, Omsk, pr. Mira, 5.

Received in October 2017

© Lunev A.A., Sirotuk V.V., 2017

Косухин М.М., канд. техн. наук, проф.,
Косухин А.М., зав. лабораторией

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

К ВОПРОСУ О РОЛИ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ФАСАДНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ*

mkosuhin@mail.ru

Представлен краткий анализ технического состояния основных фондов жилищно-коммунального комплекса страны, основную часть которых составляют гражданские здания. Показано, что на сегодняшний день жилищный фонд не удовлетворяет современным требованиям теплотехнических норм, вопросам энергосбережения и энергоэффективности зданий. Для создания необходимого микроклимата жилых помещений с обеспечением комфортной среды проживания большинство гражданских зданий, построенных в разные времена, нуждаются в проведении масштабной модернизации. Главная роль в решении этого вопроса отводится капитальному ремонту.

Для результативного его проведения необходим комплексный подход к технологии ремонтно-строительного производства с использованием современных энергосберегающих технологий и материалов. Эффективному выполнению тепловой изоляции ограждающих конструкций должно предшествовать профессиональное детальное обследование технического состояния объектов с выдачей научно-обоснованных рекомендаций, базирующихся на современных научных достижениях в этой области, для дальнейшего составления технического задания на проектирование этих работ. Отмечено, что обеспечить экономическую и технологическую эффективность выбора и устройства тепловой изоляции можно только путем научного подхода, знания физико-химических процессов и явлений, протекающих в ограждающих конструкциях под действием внешней и внутренней эксплуатационных сред. При этом необходимо научиться управлять этими процессами.

Ключевые слова: жилищно-коммунальный комплекс, жилищный фонд, гражданские здания, ограждающие конструкции, капитальный ремонт, энергоэффективность, энергосбережение, тепловая изоляция, теплопередача, теплопроводность, конвекция, излучение, тепловой поток, сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции.

Введение. В настоящее время для создания комфортной среды проживания, выполнения требований повышения энергоэффективности и энергосбережения, увеличения эксплуатационной надежности, улучшения архитектурной выразительности к гражданским зданиям предъявляются особые требования. Их выполнение является задачей общегосударственной важности и масштаба в области строительного и жилищно-коммунального комплексов (ЖКК) страны [1].

На сегодняшний день основные фонды ЖКК составляют более 26 % от общего объема всех фондов российской экономики, при этом большинство из них приходится на долю гражданских зданий. Порядка 20 млн. объектов жилищного фонда, площадью около 3 млрд. м² потребляют более 20 % энергоресурсов страны [2]. Годовой оборот в сфере жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) превышает 4,1 трлн. рублей и составляет более 5,7 % валового внутреннего продукта России. Тем не менее, это самая проблемная отрасль экономики. Износ ее основных фондов превышает 60 %, а по некоторым показателям и выше [3].

В связи с тем, что состояние ЖКК напрямую определяет уровень благосостояния государства, перед отраслью остро стоит проблема ее выхода из сложившейся критической ситуации. За последние десятилетия реформирования отрасли были разработаны многочисленные нормативно-правовые и законодательные акты в этой области, включая «Стратегию развития жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2020 года», принятую 26 января 2016 года [4]. Разработка стратегии предполагала способствование повышению комфортности условий проживания, модернизации и повышению энергоэффективности объектов ЖКХ, переходу на принципы использования современных эффективных материалов и технологий, применяемых при строительстве и модернизации объектов коммунальной инфраструктуры и жилищного фонда, обеспечению доступности многоквартирных домов (МКД) для инвалидов и других маломобильных групп населения.

Но в связи с тем, что намеченные в стратегии подходы носят в основном субъективный харак-

тер, эффективность ее реализации далека от ожидаемой. Для результативного выполнения стоящих перед отраслью задач необходимо решение комплекса мер, учитывающих ее объективное состояние. Уроки отечественного прошлого опыта наглядно демонстрируют возможности применения мало известных и не применяемых в настоящее время механизмов и технологий. В работе [5] раскрыты вопросы, которые являются весьма актуальными для проведения реформ в жилищной сфере и коммунальном (городском) хозяйстве.

Основная часть. Строящиеся в настоящее время гражданские здания в основном удовлетворяют современным теплотехническим требованиям. Большинство же зданий, построенных в разные времена, нуждаются в проведении их масштабной модернизации. В этом процессе особая роль принадлежит капитальному ремонту. Но предложенная Минстроем России система капитального ремонта явилась политически ангажированным материалом для разного рода далеких от экономики спекуляций [6]. Программа капитального ремонта, отмечает автор, должна рассматриваться не только в терминах социальных инициатив, но и в проектной терминологии. То есть, должны обсуждаться как источники финансирования с их порядком, так и главные базовые элементы – состояние жилищного фонда, дальнейшее использование земельных ресурсов и аварийных объектов. При этом важную роль играют превентивные меры – техническое обследование жилищного фонда, паспортизация зданий, формирование на их основе планов проведения капитального ремонта. Главное в решении данного вопроса – наличие профессиональных кадров. Учет этих факторов позволит добиться желаемой результативности в проведении капитального ремонта и, в первую очередь, путем повышения уровня самого ремонтно-строительного производства, базирующегося на результатах профессионального обследования технического состояния объектов реконструкции. Для решения поставленной задачи необходим комплексный подход к технологии ремонтно-строительных работ с использованием современных энергосберегающих технологий и отличающийся от традиционных, общепринятых способов организации ремонтно-строительного производства.

Опыт проведения капитальных ремонтов показал, что фрагментарные, бессистемные и локальные его задачи, не решили глобальные проблемы снижения высокого энергопотребления зданий. Это привело только к дополнительным расходам на проведение таких работ, а старение жилищного фонда, его недоремонт привели к росту объемов ветхого и аварийного жилья и снижению уровня комфортности.

При проведении капитального ремонта, кроме обеспечения требуемых параметров внутреннего микроклимата и эксплуатационной надежности, особая роль отводится повышению энергоэффективности и энергосбережению отремонтированных зданий. Главным объектом реализации этой цели являются ограждающие конструкции. С момента выхода в свет Федерального Закона № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности ...» [7], практически во всех регионах России начали вестись работы по проведению капитального ремонта наружных ограждений всех типов зданий в рамках реализации требований данного закона. При этом главными показателями результативности ремонтно-строительных работ служили количество отремонтированных домов и объемы освоения денежных средств. Вопросы качества и долговечности утепления фасадов стояли на заднем плане, а научное обоснование к проведению таких работ вообще не проводилось. Это легко объяснялось тем, что проведению ремонтных работ должно предшествовать профессиональное детальное обследование технического состояния объектов с выдачей научно-обоснованных рекомендаций, базирующихся на современных научных достижениях в области тепловой изоляции ограждающих конструкций, для дальнейшего составления технического задания на проектирование этих работ. Но оплата на проведение такого рода работ всегда оставалась большой проблемой.

Тем не менее, проведение работ по эффективной фасадной тепловой изоляции требует серьезного научного подхода с целью экономической и технологической эффективности ее выбора и устройства. Необходимо не забывать, что непосредственным источником инновационных и прорывных технологий, в том числе и в строительстве, являются прикладные и фундаментальные научные исследования [8].

Ограждающие конструкции, подвергающиеся воздействию наружной и внутренней эксплуатационной среды, это сложная термодинамическая система, подчиняющаяся физико-химическим законам, процессам и явлениям. Поэтому, эффективно управлять ее теплофизическими свойствами можно только на научной основе. Особенно это важно, когда речь идет об использовании новых строительных технологий, материалов и теплоизоляционных систем.

На долговечность ограждающих конструкций, и особенно на их теплофизические свойства, существенное влияние оказывают климатические условия: атмосферные осадки, суточные и сезонные колебания температур, ветровые нагрузки, солнечная радиация, биокоррозионные

процессы, а также процессы и явления внутри конструкций, вызванные этими условиями. Влияние этих факторов приводит к снижению эксплуатационной надежности, как самих ограждающих конструкций, так и в целом всего здания. При этом с течением времени, заметно ухудшаются и теплофизические показатели.

Наружная ограждающая конструкция является поверхностью раздела фаз при взаимодействии холодной наружной и теплой внутренней эксплуатационной сред. При этом, как на поверхностях этой границы, так и внутри нее, происходят новые процессы и явления, оказывающие существенное влияние на качество тепловой изоляции, внутренний микроклимат помещения, а также на эксплуатационную надежность и долговечность здания. В данной работе затронуты процессы тепловой передачи, происходящие в ограждающих конструкциях зданий.

Из условия работы наружной стены, перемещение тепла в толще ее конструкции происходит от внутренней теплой поверхности к наружной холодной под действием градиента температур. В классической термодинамике это явление получило название теплопередачи и осуществляется тремя способами теплообмена: теплопроводностью, конвекцией и излучением [9].

Теплопроводность является основной тепловой характеристикой любого материала. В ограждающих конструкциях зданий теплообмен осуществляется в основном, теплопроводностью. Процесс одномерной стационарной теплопроводности в однородном материале описывается уравнением Фурье:

$$q_T = -\lambda(dt/dx) \quad (1),$$

где q_T – поверхностная плотность теплового потока, проходящего через плоскость, перпендикулярную тепловому потоку, Вт/м²; λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/м·°С; t – температура, изменяющаяся вдоль оси x прохождения теплового потока, °С.

Коэффициент теплопроводности λ является одной из основных тепловых характеристик любого теплоизоляционного материала. Из уравнения следует, что теплопроводность материала – это мера проводимости теплоты материалом, численно равная тепловому потоку, проходящему сквозь толщу материала площадью 1 м², перпендикулярной направлению теплового потока, при разности температур на внутренней и наружной поверхностях, равной 1°С. Чем выше значение λ , тем интенсивнее протекает процесс проведения тепла. Поэтому, к теплоизоляционным материалам предъявляются особые требования по теплопроводности, для них λ должен быть

менее 0,3 Вт/м·°С. На теплопроводность материала при его неизменной плотности и структуре влияет ряд физико-химических факторов и явлений. К наиболее значимым из них относятся влажность и повышение температуры.

Вторым способом теплопередачи в ограждающих конструкциях является конвекция. При различных значениях температур наружной и внутренней поверхностей стены здания и омываемого воздуха происходит конвективный теплообмен – совместный процесс конвекции и теплопроводности у поверхности стены. Конвекция бывает естественная и принудительная. Естественная конвекция происходит из-за разности температур поверхности стены и омываемого воздуха. Принудительная конвекция создается различными вентиляционными системами. Конвекция играет важную роль в создании комфортного микроклимата внутри помещения. Значение конвективного теплового потока определяется уравнением Ньютона:

$$q_k = \alpha_k \cdot (t_a - \tau) \quad (2),$$

где q_k – тепловой поток, Вт, передаваемый конвекцией от движущегося воздуха к поверхности или наоборот; t_a – температура воздуха вблизи поверхности стены, °С; τ – температура поверхности стены, °С; α_k – коэффициент конвективной теплоотдачи на поверхности стены, Вт/м²·°С.

Конвективный коэффициент теплоотдачи – физическая величина, численно равная количеству теплоты, передаваемой от воздушной среды к поверхности стены путем конвективного теплообмена при разности температур воздуха и поверхности, равной 1°С.

Третий способ передачи теплоты – излучение или лучистый теплообмен, играющий важную роль в обмене теплотой внутренних поверхностей ограждающих конструкций и отопительных приборов. Интенсивность передачи теплоты между поверхностями лучистым теплообменом можно упрощенно определить по разности температур этих поверхностей:

$$q_l = \alpha_l \cdot (T_1 - T_2) \quad (3),$$

где T_1 и T_2 – температура поверхностей, участвующих в лучистом теплообмене, °С; α_l – коэффициент лучистой теплоотдачи на поверхности стены, Вт/м²·°С.

Характеристикой процесса передачи теплоты применительно к ограждающим конструкциям зданий и сооружений служит теплотехнический коэффициент, получивший название – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции и характеризующий уровень теплоизоляционных свойств ограждающих конструкций.

Чем выше сопротивление теплопередаче наружной стены, тем лучше ее теплоизоляционные свойства, т.е. через нее проходит меньше тепла, а, следовательно, меньше его потери. Сопротивление теплопередаче измеряется в $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ и обозначается – R . Физический смысл его численного значения можно объяснить с двух позиций. В первом случае численное значение сопротивления теплопередаче показывает площадь поверхности в м^2 , через которую проходит тепловой поток мощностью 1 Вт при градиенте температур у этой поверхности, равном 1 $^{\circ}\text{C}$. Во втором случае численное выражение R показывает какой температурный перепад в $^{\circ}\text{C}$ у внутренней и наружной

$$R_0 = R_k + R_b + R_n = (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n) + R_b + R_n, \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт} \quad (4)$$

Термическое сопротивление теплопередаче однородных слоев определяется по формуле:

$$R_n = v_n / \lambda_n, \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}, \quad (5)$$

где v_n – толщина n -слоя в м; λ_n – коэффициент теплопроводности материала n -слоя, $\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{°C}$.

Сопротивление теплопередаче пристеночных слоев воздуха определяется по формулам:

$$R_b = 1/\alpha_b \text{ и } R_n = 1/\alpha_n \quad (6)$$

где α_b и α_n – коэффициенты теплопередачи соответственно, внутреннего и наружного пристеночных слоев воздуха, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$.

$$R_{np} = (R_{o1} \cdot F_1 + R_{o2} \cdot F_2 + R_{o3} \cdot F_3 + \dots + R_{on} \cdot F_n) / (F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n) \quad (7)$$

или

$$R_{np} = (t_b - t_n) / (Q/A) \quad (8)$$

где Q – тепловой поток, проходящий через конструкцию (или ее участок), Вт; A – площадь конструкции (или ее участка), м^2 .

Выражение Q/A – усредненная плотность теплового потока, проходящего через усредненную площадь ограждающей конструкции, то есть:

$$q^{np} = \frac{Q}{A} \text{ или } q^{np} = \frac{t_b - t_n}{R_0^{np}} \quad (9)$$

При устройстве фасадной изоляции с использованием эффективных утеплителей роль теплопроводных включений самой ограждающей конструкции сводится к минимуму, поэтому ими можно пренебречь. Такой участок наружной стены характеризуется условным сопротивлением теплопередаче R_0^{yc} . С помощью его величины можно судить о теплотехнической однородности ограждения через коэффициент теплотехнической однородности γ . Он является отно-

поверхностей ограждающей конструкции обеспечивает ее теплозащиту при мощности теплового потока в 1 Вт, проходящего через 1 м^2 поверхности этой конструкции. Говоря о сопротивлении теплопередаче необходимо понимать два его понятия: общее сопротивление теплопередаче конструкции R_0 и термическое сопротивление конструкции R_k .

R_0 определяется суммой термического сопротивления конструкции R_k , равного сумме термических сопротивлений ее отдельных слоев ($R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$), и сопротивлений теплопередаче ее пристеночных слоев воздуха у внутренней и наружной поверхностей конструкции R_b и R_n :

В связи с тем, что поверхность реальных ограждающих конструкций из-за неоднородности ее строения имеет различную температуру, для практических расчетов введено понятие «приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции» – R_{np} , которым называется сопротивление теплопередаче однослойной ограждающей конструкции той же площади, через которую проходит одинаковый с реальной конструкцией поток теплоты при одинаковой разности между температурой внутреннего и наружного воздуха. Оно определяется, как средневзвешенное по площади значение R_0 , с учетом R_0 всех разнородных участков конструкции:

шением приведенного сопротивления теплопередаче конструкции к значению условного сопротивления теплопередаче конкретного ее участка:

$$\gamma = \frac{R_0^{np}}{R_0^{yc}} \quad (10)$$

Данный коэффициент всегда меньше единицы. В практике применения фасадной изоляции необходимо стремиться к максимальному использованию ее функциональных возможностей. При этом коэффициент технической однородности должен стремиться к единице. Кроме решения теплозащитных показателей, это имеет важное экономическое значение при определении стоимости устройства изоляции.

Важным показателем, связанным с приведенным сопротивлением теплопередаче является коэффициент теплопередачи наружной ограждающей конструкции – величина, обратная R_0^{np} :

$$K = \frac{1}{R_0^{np}} \quad (11)$$

которая равна плотности теплового потока, проходящего сквозь ограждение, при разности температур на его поверхностях в 1 °С. Отсюда следует, что тепловой поток q , Вт/м², проходящий через ограждение теплопередачей, равен:

$$q = K \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \quad (12).$$

По требованиям СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» [10] фактическое $R_{\text{пр}}$ конструкции не должно быть меньше сопротивления теплопередаче, обеспечивающего нормативное значение температурного перепада ΔT между температурой внутреннего воздуха $t_{\text{в}}$ и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции $t_{\text{н}}$. Это санитарно-гигиеническое требование выражается условием:

$$R_{\text{пр}} \geq n \cdot \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{\Delta T} \cdot a_{\text{в}} \quad (13),$$

где n – коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху; $t_{\text{н}}$ – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, °С.

Выводы. Таким образом, вышеизложенное позволяет сделать вывод о том, что реального повышения энергоэффективности гражданских зданий при устройстве тепловой изоляции их фасадов, можно добиться только при использовании научных подходов в решении этих задач. Это позволит экономически и технологически выгодно подобрать вид тепловой изоляции в зависимости от климатического местонахождения объекта, материалы и технологию ее устройства. Главное в решении этого вопроса заключается в том, чтобы не теплотехнические процессы и явления влияли на работу наружной ограждающей конструкции, а эффективно запроектированная конструкция самопроизвольно управляла этими процессами.

**Работа выполнена в рамках Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Косухин М.М. От истории создания до современного состояния и перспектив развития

Информация об авторах

Косухин Михаил Михайлович, кандидат технических наук, профессор кафедры строительства и городского хозяйства.

E-mail: mkosuhin@mail.ru

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

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

Косухин Андрей Михайлович, заведующий лабораторией.

E-mail: andrey.shik@mail.ru

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

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

жилищно-коммунального хозяйства России // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №12. С. 48–54.

2. Ввод в действие жилых домов в Российской Федерации. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Жилищно-коммунальное хозяйство России#cite note-8](https://ru.wikipedia.org/wiki/Жилищно-коммунальное_хозяйство_России#cite_note-8) (дата обращения 12.10.17).

3. Медведев Д.: Более 60 % фондов в ЖКХ отслужили свой срок : Политика :. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://www.rbc.ru/politics/23/11/2010/5703e0a49a79473c0df17416> (дата обращения 12.10.17).

4. Стратегия развития ЖКХ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: http://www.surveyinvest.com/object_681206 (дата обращения 12.10.17).

5. Говоренкова Т.М., Савин Д.А. Жилищно-арендная кооперация. Опыт новой экономической политики и возможность его применения в современной России // Жилищный альманах. М. 1999.

6. Созинов П. Капремонт остался без профессионалов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://ok-inform.ru/stroitelstvo/zhkhh/53919-kapitalnyj-remont-ostalsya-bez-professionalov.html> (дата обращения 12.10.17).

7. Федеральный закон от 23.11.2009 г. №261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

8. Доклад РАН Президенту о состоянии фундаментальных наук в Российской Федерации и о важнейших научных достижениях российских ученых в 2015 году. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: [www.ras.ru / FStorage / Download.aspx?id =32f7083e-46e9-45ff-8a79-da17c196f507](http://www.ras.ru/FStorage/Download.aspx?id=32f7083e-46e9-45ff-8a79-da17c196f507) (дата обращения 12.10.17).

9. Толстова Ю.И., Шумилов Р.Н. Основы строительной теплофизики: учеб. пособие, Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. 104с.

10. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. М., 2004.

Поступила в октябре 2017 г.

© Косухин М.М., Косухин А.М., 2017

Kosukhin M.M., Kosukhin A.M.

ON THE ROLE OF HEAT CONDUCTION PROCESSES IN IMPROVING THE EFFICIENCY OF FACADE HEAT PROTECTING INSULATION IN CIVIC BUILDINGS

The brief analysis of the technical condition of the country's housing and utility stock, which is mostly composed of civic buildings, has been presented. It has been demonstrated that at present the housing stock doesn't meet the up-to-date requirements of heating performance standards and the standards of buildings' energy saving and energy efficiency. In order to create the proper internal environment of living premises and the comfortable living environment most of civic buildings, erected at different time, need the large-scale modernization. The major part in solving this problem is played by capital repairs.

For its efficient implementation the integrated approach to the repair and building production is required, with the use of up-to-date energy-saving technologies and materials. The efficient installation of heat insulation for enclosing structures must be preceded by the professional building structural survey with providing the scientifically valid recommendations, based on modern scientific achievements in this area, for the further making of the technical design specification for these works. It is noted that the economical and technological efficiency of selecting and installing heat insulation can be provided only by means of scientific approach, knowledge of physical and chemical processes and phenomena, going on in enclosing structures under the action of external and internal operational environment. It is also essential to learn to control these processes.

Keywords: *housing and utility complex, housing stock, civic buildings, enclosing structures, capital repairs, energy efficiency, energy saving, heat insulation, heat conduction, heat conductivity, convection, radiation, heat current, heat transmission resistance of an enclosing structure.*

Information about the author

Kosukhin Mihail Mihailovich, PhD, Professor.

E-mail: mkosuhin@mail.ru

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

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

Kosukhin Andrey Mihailovich, head of laboratory.

E-mail: andrey.shik@mail.ru

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

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

Received in October 2017

© Kosukhin M.M., Kosukhin A.M., 2017

Рахимбаев Ш.М., д-р техн. наук, проф.,
Толыпина Н.М., д-р техн. наук, проф.,
Хахалева Е.Н., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ И ИХ ПОРИСТОСТИ НА РАЗЖИЖАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ДОБАВОК ПЛАСТИФИЦИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ

Tolykina.n@yandex.ru

Известно, что современные анионные ПАВ адсорбируются на положительно заряженных активных центрах гидратных соединений, что сопровождается разрушением флоккул с высвобождением иммобилированной воды и увеличением подвижности цементного теста. В бетонах в качестве наполнителя, мелкого и крупного заполнителей используются кварцевый песок, гранит, кварцитопесчаник и др. материалы, которые имеют преимущественно отрицательно заряженные активные центры. В связи с этим как мелкий, так и крупный заполнитель являются инертным компонентом бетонной смеси с точки зрения разжижения, так как анионные ПАВ на нем не адсорбируются. Для усиления разжижения бетонной смеси с помощью ПАВ целесообразно использовать заполнитель, в котором преобладают положительно заряженные активные центры, либо при использовании кислых пород в качестве заполнителя вместо анионных ПАВ использовать нейтральные или катионные добавки. Данная концепция подтверждена экспериментальными данными.

Использование принципа выбора добавки-разжижителя в зависимости от знака заряда активных центров на поверхности заполнителя позволит существенно повысить эффективность разжижающих добавок в технологии бетона за счет вовлечения в процесс разжижения не только вяжущего, но и заполнителя.

Ключевые слова: адсорбция, анионные ПАВ, катионные ПАВ, разжижение, заполнитель, бетоны.

Введение. Теоретической основой совершенствования существующих и разработки новых строительных материалов и изделий, а также технологии их производства являются такие разделы науки, как физическая химия твердого тела, в частности, химия силикатов, химия поверхностных явлений, коллоидная и органическая химия [1–4]. Наиболее эффективным методом разработки новых строительных материалов и химических добавок является использование достижений указанных наук. Ниже излагается попытка теоретического обоснования поиска новых добавок, их сочетаний с заполнителями и наполнителями того или иного состава и более рациональное их использование при производстве строительных материалов и изделий.

Основная часть. В последние 100 лет для регулирования водопотребности вяжущих систем широко используются органические поверхностно-активные вещества преимущественно анионного типа, т.е. органические соединения, функциональные группы которых представляют собой носитель кислотных свойств, который отщепляет в щелочной среде вяжущей суспензии протон и приобретает отрицательный заряд [5, 6]. Функциональными группами большин-

ства этих добавок являются сульфогруппа, карбоксилат, гидроксильная группа, связанная с ароматическим радикалом и т.п. Обобщенно большинство их можно изобразить в виде формул: $R_1-SO_3^-$, R_2-COO^- , AR_3-O^- . Из общих положений химии поверхностно-активных веществ следует, что эти добавки адсорбируются преимущественно на активных центрах частиц гидратирующего вяжущего, несущих положительный заряд, т.е. гидроалюминатах кальция [6–10].

При этом известно, что последний ввиду быстрой кристаллизации пластинчатых гексагональных частиц обладает меньшей удельной поверхностью по сравнению с гидроалюминатами кальция, поэтому играют подчиненную роль в адсорбционных процессах [11–12].

Адсорбция анионных ПАВ на положительно заряженных активных центрах гидратных соединений сопровождается разрушением флоккул или кластеров гидратных частиц, которые образуются в результате электростатического притяжения положительно заряженных гидроалюминатов к отрицательно заряженным гидросиликатам кальция. Это вызывает освобождение иммобилированной воды, заключенной внутри кластеров, которая приобретает свойства свободной

жидкости и повышает подвижность цементного теста [7].

В технологии бетонов чаще всего в качестве мелкого заполнителя и наполнителя используется кварцевый песок, а крупного – гранит, кварцитопесчаник, доменные и сталеплавильные шлаки и тому подобные материалы, в которых преобладают отрицательно заряженные активные центры [13]. В связи с этим как мелкий, так и крупный заполнитель принимает слабое участие в процессе разжижения бетонной смеси с помощью ПАВ. Таким образом, заполнитель является инертным компонентом бетонной смеси с точки зрения разжижения. Из изложенных соображений следует вывод, что для усиления разжижения бетонной смеси с помощью ПАВ, особенно, при малом расходе цемента (100–200 кг/м³) целесообразно либо использовать заполнитель, в котором преобладает положительно

заряженные активные центры, либо при использовании кислых пород в качестве заполнителя вместо анионных ПАВ использовать нейтральные или катионные добавки.

Такой подход, как следует из общих теоретических соображений должен привести к усилению действия разжижающих ПАВ. Предсказать из общих соображений масштаб этого явления трудно, это можно выяснить лишь путем прямых экспериментальных исследований [13, 14].

Поскольку, количественной характеристикой интенсивности проявления электроповерхностных свойств является электрокинетический потенциал твердых частиц, то можно предположить, что должна наблюдаться корреляция между последними и разжижающей способностью химических добавок (рис. 1) [13].

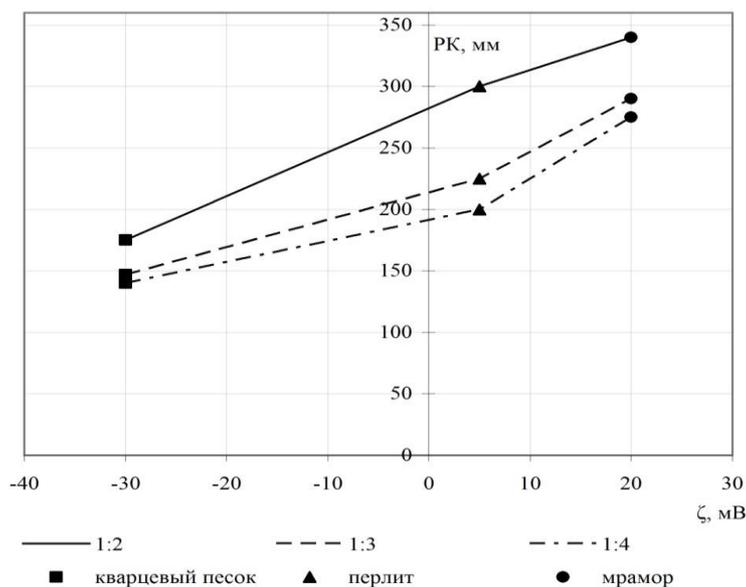


Рис. 1. Влияние дзета-потенциала поверхности заполнителей на разжижающую способность суперпластификатора С-3

Из изложенных соображений следует еще один важный прогноз. Он заключается в том, что в природе крайне редко встречаются кварцевые пески с очень чистой поверхностью, на которых не адсорбированы в процессе литогенеза какие-либо соединения, обладающие электроповерхностными свойствами. Такие пески отличаются высокой белизной и обычно используются в стекольной промышленности либо для изготовления белых и цветных бетонов.

Используемые в качестве мелкого заполнителя в технологии рядовых бетонов кварцевые пески, как правило, имеют окраску от желтой до бурой, либо серой, так как их поверхность загрязнена прилипшими к ней частицами оксидов Fe, Al, Mn и других металлов. При этом пленки ука-

занных соединений достаточно прочно удерживаются на поверхности частиц кварцевого песка, так как зачастую имеют противоположный с последними знак заряда – положительный. Частицы, которые имеют одноименный заряд с поверхностью кварцевого песка, на них прочно не закрепляются. Совершенно очевидно, что указанные пленки оксидов, имеющих, как правило, положительный электроповерхностный заряд, могут играть существенную роль в процессах адсорбции ПАВ на заполнителе и влиять на эффективность разжижения мелкозернистых бетонов анионоактивными разжижителями [14]. При этом катионные добавки, по-видимому, слабо реагируют с ними. Отсюда следует практический вывод: чем больше на поверхности мелкого запол-

нителю содержится пленок, обладающих положительными электроповерхностными свойствами, тем эффективнее бетонные смеси будут разжижаться анионными добавками типа С-3, Мельфлюкс и др. При этом разжижающая способность катионных добавок будет слабой. Отмывка положительно заряженных пленок слабым

раствором соляной кислоты, очевидно, должна ослаблять разжижение анионных добавок и усиливать – катионных. Экспериментальные данные, приведенные на рис. 2 подтверждают такой прогноз.

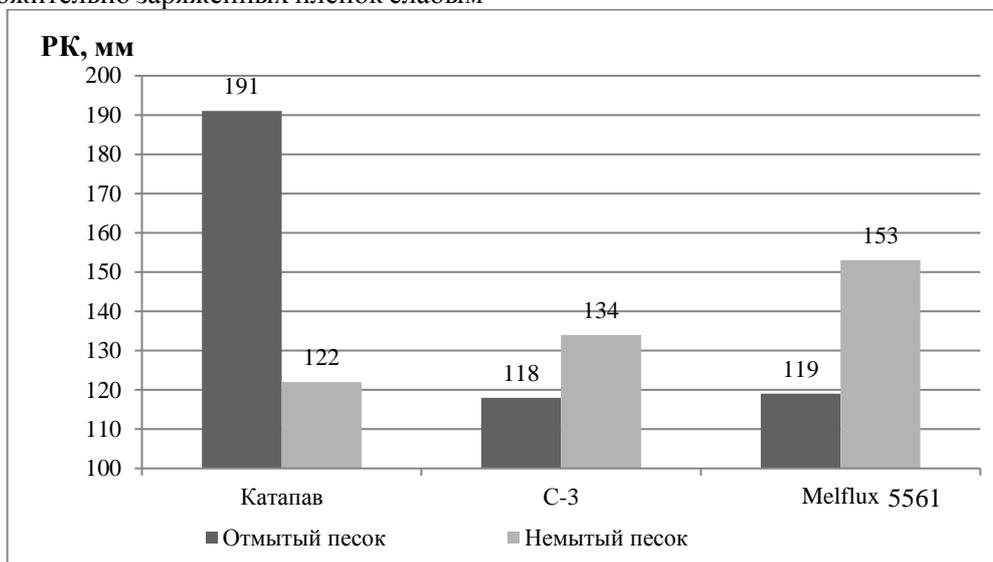


Рис. 2. Эффективность действия катион- и анионных разжижителей после отмывки пленок на кварцевом песке соляной кислотой

Известно, что в технологии бетонов используются не только плотные заполнители с поверхностной пористостью, близкой к нулю, типа гранита, гнейса, мрамора, кварцитопесчаника и т.п., но и пористые материалы, такие, как керамзит, известняк с повышенной пористостью, гранулированный доменный шлак и др. [15]. Совершенно очевидно, что при вводе ПАВ в бетоны, содержащих такие пористые породы, будет наблюдаться

не столько адсорбция молекул ПАВ на поверхности заполнителя, сколько абсорбция, т.е. проникновение молекул ПАВ по капиллярам и микропорам частиц заполнителя в его глубинные слои. Это может приводить к тому, что небольшие дозировки ПАВ (0,1–0,5 %) могут полностью абсорбироваться заполнителем с полным снятием эффекта разжижения (рис. 3).

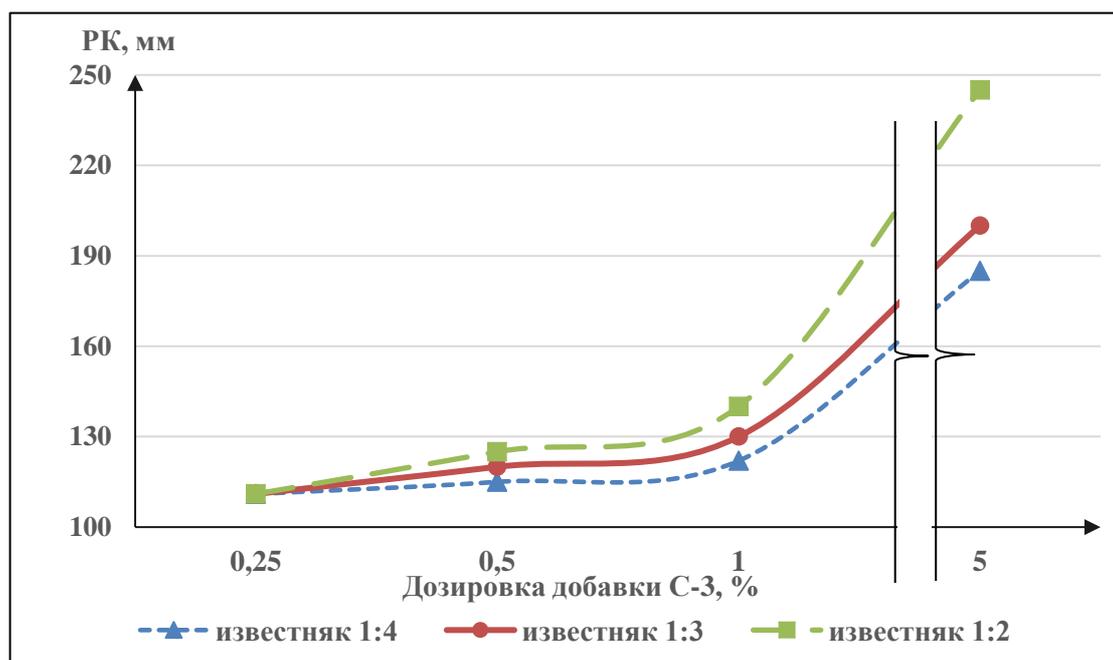


Рис. 3. Влияние пористости заполнителя на разжижающую способность СП С-3

Из этой гипотезы следует вывод, что в таких случаях необходимо резко повышать дозировку ПАВ до 2–5 %. При этом во многих случаях происходит абсорбционное насыщение и остается избыток добавки, который и вызовет необходимый эффект разжижения. Эти теоретические соображения подтверждены экспериментальными данными, изложенными в работах [13, 14].

Выводы. В бетонах традиционного состава знак заряда функциональной группы разжижающих добавок, наиболее распространенных понизителей вязкости совпадает со знаком заряда активных центров на поверхности заполнителей и наполнителей, поэтому последние не принимают участия в процессах разжижения и даже несколько снижают эффективность химических добавок. Для того, чтобы избежать этого, нужно применять такое сочетание функциональных групп разжижающих добавок и поверхностных зарядов заполнителей и наполнителей, когда они имеют разноименный знак. На основе изложенного можно сформулировать следующую научную концепцию: для того, чтобы вовлечь не только вяжущее, но и заполнитель и наполнитель бетонной смеси в процесс взаимодействия с функциональной группой добавок-разжижителей, необходимо, чтобы они были противоположны по знаку. Если функциональная группа разжижителя имеет отрицательный знак, т.е. является анионной, то наполнитель и заполнитель должны иметь преобладающий положительный знак активных центров поверхности. С другой стороны, при использовании наиболее распространенных пород кислого состава в качестве заполнителя и наполнителя: кварцевого песка, кварцитопесчаника, гранита, диабазы и т.п. нужно использовать добавки, имеющие функциональную группу с положительного знаком заряда. Это катионактивные добавки.

Использование изложенной концепции, с точки зрения авторов, существенно повысит эффективность использования разжижающих добавок в технологии бетона и позволит вовлечь в процесс разжижения не только вяжущее, но и заполнитель.

Из изложенной концепции также следует вывод, что при использовании неионогенных разжижающих добавок типа полисахаридов, знак заряда активных центров на поверхности заполнителей и наполнителей не играет существенной роли и они будут почти одинаково разжижать бетонную смесь независимо от состава последних. При этом, однако, нужно подчеркнуть, что разжижающее действие этих добавок существенно

слабее, чем у современных добавок типа С-3, Мельфлюкс и т.д.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воютский С.С. Курс коллоидной химии. М. Изд-во Химия, 1975. 495 с.
2. Кузнецова Т.В., Кудряшев И.В., Тимашев В.В. Физическая химия вяжущих материалов. М. Изд-во Высшая школа, 1989. 384 с.
3. Кери Ф., Сандберг Р. Углубленный курс органической химии. М.: Химия, 1981. 517 с.
4. Дерягин Б.В., Кротова Н.А. Адгезия. Исследования в области прилипания и клеящего действия. М.: АН СССР. 1949. 256 с.
5. Ли Ф.М. Химия цемента и бетона. М.: Стройиздат, 1961. 546 с.
6. Тейлор Х.Ф. Химия цемента. Пер. с англ. М.: Мир, 1996. 560 с.
7. Рамачандран В.С. Добавки в бетон. М.: Стройиздат, 1988. 581 с.
8. Pouchet S., Pochard I., Brunel F., Perrey D. Chemistry of the calcite/water interface: Influence of sulfate ions and consequences in terms of cohesion forces // Cem. and Concr. Res. 2013. 52. P. 22–30.
9. Вовк А.И. Гидратация трехкальциевого алюмината C_3A и смесей C_3A +гипс в присутствии ПАВ // Коллоидный журнал, 2000. Т. 62. № 1. С. 31–38.
10. Вовк А.И. Адсорбция суперпластификаторов на продуктах гидратации минералов портландцементного клинкера // Коллоидный журнал, 2010. Т. 62. № 2. С. 161–169.
11. Вовк А.И. О некоторых особенностях применения гиперпластификаторов // Технология бетона. 2007. № 6. С. 12–13.
12. Шаповалов Н.А., Косухин М.М., Слюсарь А.Л. Механизм действия разжижителей цементосодержащих строительных композиций // Проблемы строительного материаловедения и новых технологий: Междунар. науч.- практ. конф. Белгород: БелГТАСМ, 2000. С. 464–470.
13. Рахимбаев Ш.М., Тольпина Н.М., Гудкова Е.А. Влияние электроповерхностных свойств заполнителя на разжижающую способность суперпластификатора С-3 // Техника и технология силикатов. 2013. Т. 20. № 1. С. 2–4.
14. Рахимбаев Ш.М., Тольпина Н.М., Хахалева Е.Н. Влияние мелкого заполнителя из песка на эффективность действия добавок-разжижителей // Вестник СибАДИ. 2016. № 3 (49). С. 74–79.
15. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: Изд-во АСВ, 2002. 500 с.

Информация об авторах

Рахимбаев Шарк Матрасулович, доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

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

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

Толыпина Наталья Максимовна, доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

E-mail: Tolypina.n@yandex.ru

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

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

Хахалева Елена Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

E-mail: hahaleva@intbel.ru

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

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

Поступила в октябре 2017 г.

© Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М., Хахалева Е.Н., 2017

Rakhimbaev S.M., Tolypina N.M., Hahaleva E.N.

THE EFFECT OF FILLERS AND THEIR PROPERTIES ELECTROSURFACE POROSITY ON RAZZHIZHAJUSHHUJU ABILITY OF MODERN ADDITIVES PLASTIFICIRUJUSHHEGO ACTIONS

It is known that modern anionic surfactants are adsorbed on positively charged active centers of hydrated compounds, which is accompanied by destruction of the structure with the release of immobilized water and increase the mobility of the cement paste. In concrete as filler, fine and coarse aggregates are used quartz sand, granite, quartzitic sandstone and other materials, which are predominantly negatively charged active centers. In this regard, both small and coarse aggregate are inert component of the concrete mix from the point of view of liquefaction, as anionic surfactants are adsorbed by it. To enhance the liquefaction of concrete mixtures with surfactants, it is advisable to use a filler that is dominated by positively charged active centers, or when using acidic rocks as the filler instead of the anionic surfactants to use a neutral or cationic additives. This concept is confirmed by experimental data.

The use of the concept of the choice of additive thinner depending on the sign of the charge active centres on the surface of the filler will significantly increase the effectiveness of thinning additives in concrete technology by involving in the liquefaction process not only a binder but a filler.

Keywords: adsorption, anionic surfactants, cationic surfactants, thinners, filler, concrete.

Information about the authors

Rakhimbaev Shark Matrasulovich, PhD, Professor.

E-mail: Tolypina.n@yandex.ru

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

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

Tolypina Nataliy Maksimovna, PhD, Professor.

E-mail: Tolypina.n@yandex.ru

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

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

Hahaleva Elena Nikolaevna, PhD, Assistant professor.

E-mail: Tolypina.n@yandex.ru

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

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

Received in October 2017

© Rakhimbaev S. M., Tolypina N.M., Hahaleva E.N., 2017

*Погорелова И.А., канд. техн. наук, доц.,
Сулейманов К.А., магистрант,
Кудинова Д.В., студент*

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ПОЛИДИСПЕРСНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ВЯЖУЩИЕ ДЛЯ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ

innapogorelova@yandex.ru

Применение кремнеземсодержащих компонентов различного генезиса в строительном материаловедении имеет свои особенности как при приготовлении смесей полидисперсных композиционных вяжущих, так и при синтезе композитов, в том числе ячеистого бетона.

Создание микрооднородной межпоровой перегородки ячеистого бетона с равномерным распределением высокодисперсных продуктов гидратации композиционного вяжущего обеспечено гранулометрией вяжущего, а также морфологией и генезисом тонкодисперсных минеральных добавок.

Ключевые слова: *ячеистый бетон, газобетон, полидисперсные композиционные вяжущие, генезис, микроструктура межпоровых перегородок.*

Повышение эффективности тепловой защиты зданий и сооружений, внедрение энергоэффективных материалов и технологий являются приоритетными направлениями в развитии строительной индустрии. Одним из эффективных строительных материалов на сегодняшний день является ячеистый бетон. На практике широкое применение нашли изделия из газобетонов автоклавного твердения, производство которых организовано на крупных автоматизированных предприятиях, требующих больших инвестиционных вложений.

Основными сырьевыми компонентами для производства ячеистых бетонов являются вяжущие различных типов и классов, кремнеземистые компоненты (песок, продукты обогащения руд, зола-унос ТЭС), пено- и газообразователи, регуляторы структурообразования, нарастания пластической прочности, ускорители твердения, пластифицирующие добавки и вода [1].

Вяжущие вещества выбираются в зависимости от условий твердения и проектной прочности изделий из ячеистого бетона. В качестве вяжущего для автоклавных ячеистых бетонов применяют портландцемент и шлакопортландцемент, соответствующие [2]; известь кальциевую не ниже 3 сорта, удовлетворяющую требованиям [3]; цементно-известковое, известково-белитовое или шлаковые вяжущие.

Рассмотрим сырьевую базу кремнеземсодержащих компонентов для композиционных вяжущих. Актуальным вопросом является переход на использование техногенного сырья. Техногенные материалы, в силу специфики генезиса и техногенеза, обладают повышенным запасом свободной внутренней энергии за счет наличия дислокаций, искажения кристаллической решетки,

повышения ее дефектности или полного разрушения с переходом из кристаллического в псевдоаморфное состояние. Они содержат также наноразмерные частицы, что позволяет рассматривать некоторые их разновидности как энергосберегающее сырье промышленности строительных материалов, особенно при производстве композиционных вяжущих.

Использование техногенного сырья в качестве кремнеземистых добавок композиционных вяжущих веществ имеет свою специфику, так как они отличаются от природных своей полиминеральностью, полигенетичностью и, как следствие, формой зерен и морфологией поверхности.

Наиболее крупнотоннажными являются механогенные и пирогенные техногенные продукты. В меньшей степени распространены хемогенные и сугубо теоретическое значение на сегодня имеют и биогенные материалы.

Источником формирования отсева дробления служат различные горные породы осадочного происхождения, чаще всего известняки, песчаники, гравийно-галечные смеси; магматического (граниты, базальты, порфиры и др.) и метаморфического (сланцы, гнейсы, кварциты, кварцитопесчаники, амфиболиты и др.) генезиса (рис. 1).

Значительно больше, чем отсеков дробления, образуется отходов обогащения. Техногенные пески данного класса являются продуктом мокрой магнитной сепарации магнетитовых пород, а также образуются при флотации и гравитации целого ряда различных полезных ископаемых. Породообразующими минералами техногенных песков, образующихся при обогащении пород, являются пироксены, оливин, амфиболы,

кальцит, основные полевые шпаты и другие, модуль крупности которых составляет 1,4...2.

Одновременно с крупностью и минералогическим составом песков, на их свойства влияет морфология зерен, определяемая их формой и состоянием поверхности. Форма, морфология поверхности и активность техногенных песков определяются генезисом и структурно-текстурными характеристиками, а также минералогическим составом и типоморфными особенностями материнских пород, подвергнутых дезинтеграции в процессе технологических переделов. При

механогенном воздействии на породу, разрушение вначале происходит по наиболее ослабленным зонам. В общем случае последовательность зон разрушения имеет следующий вид: генетические дефекты структуры → зоны минералов с весьма совершенной спайностью → контакты между минеральными агрегатами → контактные зоны между отдельными зернами → зоны остаточных напряжений → дефекты кристаллической структуры [4, 5].



Рис. 1. Классификация кремнеземсодержащих компонентов различного генезиса для производства композиционных вяжущих

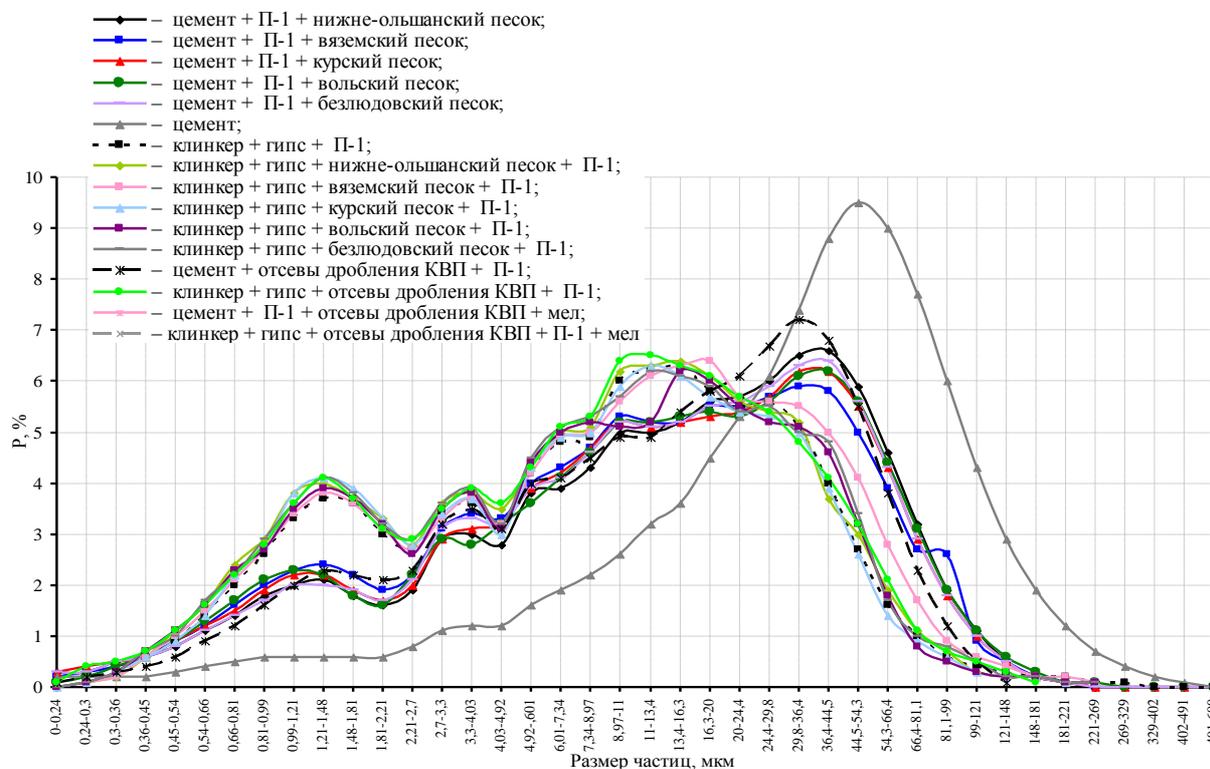


Рис. 2. Распределение частиц композиционных вяжущих (КВ) по размерам

Существенное отличие техногенных продуктов от природных, обусловленное технологическими операциями, генезисом и составом исходных пород, влечет за собой ряд коренных изменений в параметрах, определяющих их активность и энергонасыщенность в твердеющих системах. Применение такого сырья в строительном материаловедении имеет свои особенности как при приготовлении смесей, так и при синтезе композитов [6–8].

Разработаны полидисперсные композиционные вяжущие (рис. 2) с прочностью на сжатие не менее 80 МПа, обладающие уникальными свойствами, обеспечивающими стабильность технологических процессов, протекающих на всех стадиях производства ячеистого бетона.

Полидисперсное распределение частиц композиционных вяжущих с отсевом дробления кварцитопесчаника и мела (рис. 2) по экспериментальным данным [9]:

$$\frac{dn}{d_1} = \left(\frac{2,549}{10 \cdot 0,63} \right)^{\frac{2}{3(n-1)}} = 1,0; 0,547; 0,300; 0,164; 0,094$$

Из представленных экспериментальных данных первые три результата $\frac{dn}{d_1}$ имеют абсолютную сходимость, а усредненный размер четвертой и пятой фракции частиц незначительно смещен в область крупных размеров: $d_{cp} = (0,164 \cdot 0,09)^{\frac{1}{2}} \cdot d_1 = 1,475 \text{ мкм}$, $d_{cp} > d_{cf}$, $1,475 \text{ мкм} > 1,34 \text{ мкм}$.

На рис. 2. расчетный размер пятой фракции полидисперсной смеси композиционного вяжущего с отсевом дробления кварцитопесчаника и мела $d_{cp} = 0,09 \cdot 12,14 = 1,087 \text{ мкм}$ смещен от фактического среднего размера частиц $d_{cf} = 1,21 \dots 1,48 \text{ мкм}$ в область мелких размеров. Следовательно, фактическое распределение частиц по размерам соответствует их высокоплотной упаковке.

Содержание в смеси каждой фракции частиц на соответствие высокоплотной упаковке определяется по формуле:

$$G_n = (1 - \sigma_{n-1}) \frac{\eta_n}{\sigma_{n-1}} \beta_n \sum_{i=1}^{n-1} G_i, \quad (1)$$

где η_n – плотность упаковки частиц каждой фракции $\eta_n < \eta_{n-1}$ определяется по усредненным

данным в зависимости от $\frac{dn}{d_1}$ ($\eta_1 = 0,63$;

$\eta_2 = 0,62$; $\eta_3 = 0,61$; $\eta_4 = 0,60$); σ_{n-1} – плотность упаковки частиц в смеси, состоящей из $n-1$ фракций; β_n – коэффициент разъединения (раздвижки) зерен в смеси частицами очередной

фракции, вводимой в смесь, $\beta_n = \frac{\sigma_{n-1}}{\eta_n}$;

G_1 – количество первой (наиболее) крупной фракции, обычно принимается $G_1 = 100 \text{ мас. ч}$.

Плотность упаковки частиц в смеси при введении очередной фракции:

$$\sigma_n = \sigma_{n-1} + \frac{(1 - \sigma_{n-1})}{\beta_n} \cdot X_n, \quad (2)$$

где $\sigma_1 = \eta_1$ – плотность упаковки частиц наиболее крупной фракции; X_n – степень заполнения пустот в смеси при введении очередной фракции (определяют с использованием табл. 1 [10]).

Сопоставление расхода каждой фракции расчетного с фактическим в смеси представлено в табл. 1.

Таблица 1

Расход фракций композиционного вяжущего

G, мас. ч.	Фактический расход	Расчетный расход
G ₁ = 100	6,5	6,5
G ₂ = 37	5	2,4
G ₃ = 48	4	3,12
G ₄ = 66,6	4,5	4,3

Количество второй фракции в смеси композиционных вяжущих с отсевом дробления кварцитопесчаника и мела (рис. 2) несколько завышено по сравнению с расчетом, но учитывая, что содержание фракции в реальной смеси с размером более d_1 значительное – пологий участок кривой анализа смеси – повышенное содержание второй фракции пойдет на заполнение в них пустот. То же самое относится и к третьей фракции. Расчетное количество четвертой фракции почти совпадает с фактическим содержанием ее в смеси.

Следовательно, состав полидисперсной смеси композиционных вяжущих с отсевом дробления кварцитопесчаника и мела следует отнести к высокоплотным по плотности упаковки в ней частиц.

В производстве ячеистых бетонов на композиционных вяжущих важными являются рецептурные и технологические факторы. Оптимальные составы ячеистых бетонов определены при варьировании основных технологических факторов: В/Т в пределах 0,45...0,65, количество алюминиевой пасты в диапазоне 0,4...0,8 % от массы композиционного вяжущего и микронаполнителя – мела до 20 % [5]. В ходе анализа влияния исследуемых факторов на среднюю плотность и прочность на сжатие ячеистого бетона, было определено, что средняя плотность ячеистого бетона на композиционных вяжущих достигает наименьшего значения (250 кг/м^3) при В/Т = 0,55,

а при дальнейшем увеличении В/Т не представляется возможным сочетать процессы газообразования и структурообразования, так как ячеистобетонная смесь дает осадку, отрицательно влияя на выходные параметры. При этом оптимальное количество газообразователя для получения эффективного ячеистого бетона составляет 0,6 % при прочих равных условиях.

Ячеистобетонные смеси на полидисперсных композиционных вяжущих с добавлением мела отличаются повышенной вязкостью суспензий, что объясняется более плотной упаковкой частиц, и в дальнейшем способствовало созданию улучшенной пористой структуры ячеистого бетона и его высоким эксплуатационным характеристикам.

Оптимизация состава композиционных вяжущих с отсевами дробления кварцито-песчаника и мелом представлены на рис. 3.

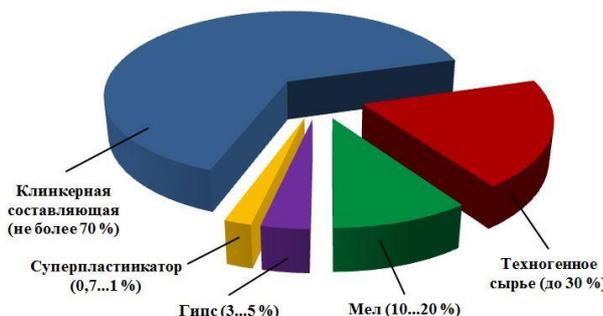


Рис. 3. Оптимальный состав композиционного вяжущего в процентном соотношении

Основную массу ячеистобетонной смеси содержит композиционное вяжущее (рис. 3), газообразователь в виде алюминиевой пасты (0,4 % от вяжущего) и вода.

В ходе исследования, для получения ячеистого бетона с качественной поровой структурой решены следующие задачи: получено полидисперсное композиционное вяжущее; созданы физико-химические и технические условия получения стабильной поромассы из монодисперсных масс с крупными, средними порами и микропорами.

Минералогический состав и связанное с ним тепловыделение при гидратации клинкерных минералов, дисперсность, водоцементное отношение, сроки схватывания разработанного композиционного вяжущего позволили получить ячеистый бетон с улучшенными показателями качества ($\rho_{\text{ср}} = 250...300 \text{ кг/м}^3$, $R_{\text{сж}} = 1,5...1,7 \text{ МПа}$, $\lambda = 0,078...0,08 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$).

Анализ микроструктуры ячеистого бетона на композиционных вяжущих в сравнении с микроструктурой ячеистого бетона на портландце-

менте (рис. 4) показал, что поры имеют сферическую форму с гладкой внутренней поверхностью с уплотненным припоровым слоем, нарушений сплошности стенок пор не наблюдается, что предопределяет его улучшенные эксплуатационные характеристики [11–14].

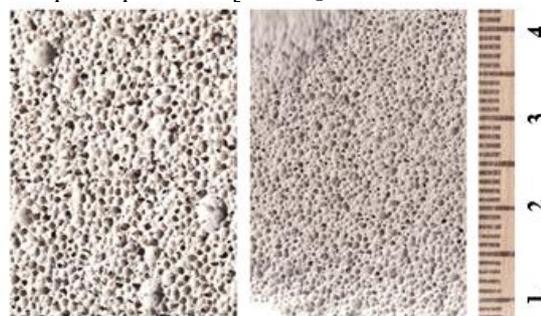


Рис. 4. Структура ячеистого бетона на композиционном вяжущем в сравнении с традиционным ячеистым бетоном автоклавного твердения

Ячеистый бетон на композиционных вяжущих, имеет равномерно распределенную пористую структуру со средним диаметром пор 0,25 мм.

Создание микрооднородной межпоровой перегородки ячеистого бетона с равномерным распределением высокодисперсных продуктов гидратации композиционного вяжущего (рис. 5) обеспечено гранулометрией вяжущего, а также морфологией и генезисом тонкодисперсных минеральных добавок [15, 16].

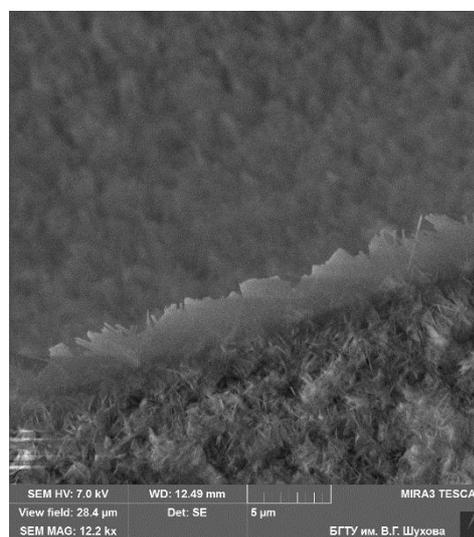


Рис. 5. Межпоровая перегородка ячеистого бетона на полидисперсном композиционном вяжущем

Общая пористость ячеистого бетона на полидисперсном композиционном вяжущем составляет 83 %, что значительно выше, чем пористость ячеистого бетона на традиционных вяжущих. Средний диаметр пор разработанного пори-

зованного композита составляет 0,18 мм, что значительно меньше второго, значение которого составляет 0,94 мм.

На основе выявленных закономерностей формирования пористой структуры, установлена повышенная эффективность ячеистого бетона на полидисперсных композиционных вяжущих, обеспечивающая изготовление изделий, монолитного ячеистого бетона и сухих ячеистобетонных строительных смесей с улучшенными эксплуатационными свойствами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 31359-2007 Бетоны ячеистые автоклавного твердения. Технические условия / введ. 01.01.09. Изд. офиц. М.: Стандартинформ, 2009. 16 с.
2. ГОСТ 10178-85 Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия (с Изменениями №1, 2) / введ. 01.01.87. Изд. офиц. М.: Стандартинформ, 2008. 18 с.
3. ГОСТ 9179-77 Известь строительная. Технические условия (с Изменениями №1) / введ. 01.01.87. – Изд. офиц. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. 5 с.
4. Лесовик В.С. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса горных пород. М.: Изд-во АСВ, 2006. 524 с.
5. Сулейманова Л.А., Лесовик В.С. Газобетон неавтоклавного твердения на композиционных вяжущих. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. 304 с.
6. Лесовик В.С. Состояние и перспективы использования техногенного сырья // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2014. № 7 (959). С. 59-60.
7. Лесовик В.С., Шахова Л.Д., Кучеров Д.Е., Аксютин Ю.С. Классификация активных минеральных добавок для композиционных вяжущих с учетом генезиса // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. № 3. С. 10-14.
8. Алфимова Н.И., Лесовик В.С., Глаголев Е.С., Вишневская Я.Ю. Оптимизация условий твердения композиционных вяжущих с учетом генезиса кремнеземсодержащего компонента. - Белгород, Изд-во БГТУ, 2016. 91 с.
9. Kharkhardin A.N., Suleimanova L.A., Kara K.A., Malyukova M.V., Kozhukhova N.I. The determination of topological properties in polydispersed mixtures on the results of sieve laser and particle size analysis // World Applied Sciences Journal. 2013. Т. 25. № 2. С. 347–353.
10. Хархардин А.Н. Структурная топология дисперсных материалов. Белгород: Изд-во БГТУ, 2009. Ч. 1. 196 с.
11. Suleymanova L.A., Pogorelova I.A., Kirilenko S.V., Suleymanov K.A. To the issue of material stability, longevity and degradation mechanism // International Journal of Pharmacy and Technology. 2016. Т. 8. № 4. С. 24958–24967.
12. Suleymanova L.A., Lessowik W.S., Kara K.A., Lessowik G.A. Zum problem der optimisierung von porigkeit des zellbetons der nichtautoklaven erhärtung // В сборнике 19-е INTERNATIONALE BAUSTOFFTAGUNG IBAUSIL. 2015. С. 1343-1349.
13. Сулейманова Л.А., Кара К.А., Коломацкая С.А., Шорстов Р.А., Сулейманов К.А. Стадии роста газовых пор в ячеистобетонных смесях // Сборник докладов Научно-практической конференции к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Юрия Михайловича «Эффективные строительные композиты». Белгород: Изд-во БГТУ. 2015. С. 611-614.
14. Suleymanova L.A., Lesovik V.S., Kondrashev K.R., Suleymanov K.A., Lukutsova N.P. Energy efficient technologies of production and use non-autoclaved aerated concrete // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10. №5. С. 12399–12406.
15. Suleymanova L.A., Lesovik V.S., Kara K.A., Malyukova M.V., Suleymanov K.A. Energy-efficient concretes for green construction // Research Journal of Applied Sciences. 2014. № Т. 9. № 12. С. 1087-1090.
16. Сулейманова Л.А., Кара К.А., Кондрашев К.Р., Гонта А.В., Ковалев С.Э. Анализ кинетики помола кварцсодержащих добавок для производства композиционных вяжущих // Сборник докладов Научно-практической конференции к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Юрия Михайловича «Эффективные строительные композиты». Белгород: Изд-во БГТУ. 2015. С. 615–624.

Информация об авторах

Погорелова Инна Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства.

E-mail: innapogorelova@yandex.ru

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

Сулейманов Карим Абдуллаевич, студент магистратуры

E-mail: karimsuleymanov@mail.ru

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

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

Кудинова Дарья Владимировна, студент кафедры строительства и городского хозяйства

E-mail: darya_kdv@mail.ru

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

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

Поступила в октябре 2017 г.

© Погорелова И.А., Сулейманов К.А., Кудинова Д.В., 2017

Pogorelova I.A., Suleymanov K.A., Kudinova D.V.

POLYDISPERSE COMPOSITE BINDING MATERIALS FOR AERATED CONCRETES

Use of silica-containing components of different genesis in building material authority has own features when making mixes of polydisperse composite binding materials and also with synthesis of composites, including aerated concrete.

Make of micro homogeneous interpore partition of aerated concrete with uniform distribution of high-dispersive products of hydration of composite binding material is provided by granulometry of binding material and also by morphology and genesis of fine-dispersed additives.

Keywords: *aerated concrete, gas-concrete, polydisperse composite bindings, genesis, microstructure of interpore partitions.*

Information about the authors

Pogorelova Inna Aleksandrovna, PhD, Assistant professor.

E-mail: innapogorelova@yandex.ru

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

Russia, 308012, Belgorod, Kostiukov st. 46.

Suleymanov Karim Abdullaevich, Master student.

E-mail: karimsuleymanov@mail.ru

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

Russia, 308012, Belgorod, Kostiukov st. 46.

Kudinova Daria Vladimirovna, Bachelor student.

E-mail: darya_kdv@mail.ru

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

Russia, 308012, Belgorod, Kostiukov st. 46.

Поступила в октябре 2017 г.

© Pogorelova I.A., Suleymanov K.A., Kudinova D.V., 2017

DOI: 10.12737/article_5a27cb7da496d8.11562048

Лукутцова Н.П., д-р техн. наук, проф.,
Васюнина С.В., канд. техн. наук, доц.,
Пыкин А.А., канд. техн. наук, доц.,
Момот В.О., студент,
Пехенько Д.А., студент

Брянский государственный инженерно-технологический университет

ВЛИЯНИЕ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ ВОЛЛАСТОНИТА НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ СТРОИТЕЛЬНОЙ КЕРАМИКИ

natluk58@mail.ru

Представлены результаты исследования средней плотности, прочности на сжатие, коэффициента теплопроводности, водопоглощения, морозостойкости, структуры и пористости образцов строительной керамики с использованием органоминеральной добавки, получаемой смешиванием промышленного волластонита с суперпластификатором С-3. Методом математического планирования эксперимента определены эффективное количество добавки (1 % от массы глины), оптимальное содержание воды (42,5 %) в формовочной смеси и температура обжига (1000 °С) керамических образцов. Данными электронной микроскопии и азотной порометрии установлено, что добавка приводит к перераспределению пористости керамической матрицы в сторону снижения количества опасных и резервных пор на 40–43 %. Это способствует повышению прочности на сжатие (в 1,5 раза) и морозостойкости (от 50 до 75 циклов), а также снижению водопоглощения (в 1,2 раза) керамических образцов.

Ключевые слова: строительная керамика, органоминеральная добавка, волластонит, прочность, морозостойкость, структура, пористость.

Введение. Одним из приоритетных направлений в области исследований строительной керамики является формирование рациональной поровой структуры матрицы, обеспечивающей высокие прочность, морозостойкость и теплозащитные характеристики керамических изделий [1].

Согласно классификации пор, предложенной Н.А. Лоховой и Г.И. Бердовым, по степени влияния на морозостойкость поры, в зависимости от размера, подразделяются на четыре группы:

- резервные (диаметром более 200 мкм), в них создается свободный объем, не препятствующий расширению воды при ее замерзании;
- опасные (диаметром более 10 мкм), в них развиваются разрушающие напряжения вследствие увеличения объема воды при замерзании;
- промежуточные (диаметром от 0,5 до 10 мкм), в них частично может образоваться лед, но при этом остающаяся жидкой «пленочная» вода способствует снижению возможных деформаций стенок пор;
- безопасные (диаметром 0,5 мкм и менее), в них льдообразование практически отсутствует [2–4].

Обзорный анализ ранее выполненных исследований показывает, что повысить прочность и морозостойкость строительной керамики можно за счет формирования пористой структуры с преобладанием пор диаметром от 0,5 до 10 мкм, а

также образования в стенках пор прочных долговечных соединений, микроармирующих керамическую матрицу [5–8]. В данном направлении большой научно-практический интерес представляет природный или промышленный волластонит – силикат кальция CaSiO_3 , имеющий игольчато-волокнистую структуру и выполняющий роль микроармирующего элемента в керамических смесях [9–14].

Целью данной работы является исследование влияния органоминеральной добавки (ОМД), получаемой смешиванием волластонита с суперпластификатором С-3, на свойства (плотность, прочность, теплопроводность, водопоглощение, морозостойкость) и структуру строительной керамики.

Методика. При проведении исследований применялись следующие методы: лазерная гранулометрия на анализаторе MicroSizer 201 (распределение частиц волластонита по размерам); электронная микроскопия на растровых электронных микроскопах TESCAN MIRA 3 LMU и SUPRA 25-30-34 (структура частиц волластонита, керамических образцов – КО); азотная порометрия на приборе Sorbi-M (распределение пор по размерам в КО); стандартные методы определения средней плотности, прочности на сжатие, коэффициента теплопроводности, водопоглощения и морозостойкости строительной керамики.

В качестве сырьевых компонентов ОМД использовался суперпластификатор С-3 (СП С-3) в

виде сухого вещества (ОАО «Полипласт», г. Новомосковск, Тульская обл.) и промышленный волластонит марки FW 635 (ГК «ВитаХим», г. Москва) следующего химического состава (% по массе): SiO_2 – 53; CaO – 44; Al_2O_3 – 0,8; Fe_2O_3 – 0,2; MgO – 0,5; прочее – 1,5.

Результаты растровой электронной микроскопии (РЭМ) и лазерной гранулометрии (рис. 1)

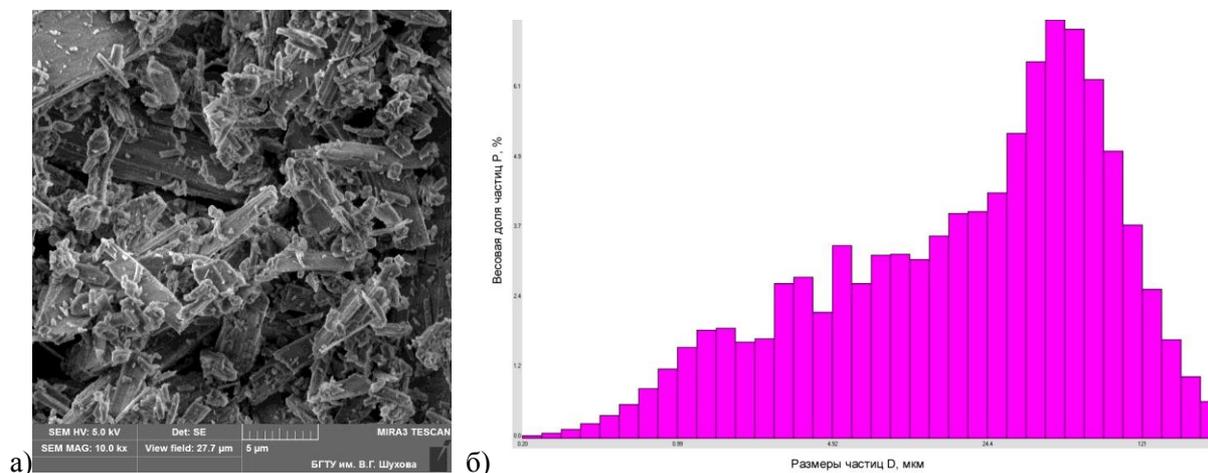


Рис. 1. Структура (а) и распределение по размерам (б) частиц волластонита

Получение ОМД заключалось в тщательном механическом перемешивании волластонита с СП С-3, взятых в соотношении 0,5:0,5 по массе, до получения однородной сухой смеси.

Исследование влияния ОМД на свойства и структуру строительной керамики осуществлялось с помощью КО размерами $2 \times 2 \times 2$ см, изготовленных пластическим способом с использованием легкоплавкой глины Гукалинского месторождения (Брянская обл.) следующего химического состава (% по массе): SiO_2 – 55–80; ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$) – 7–21; Fe_2O_3 – 3–12; CaO – 0,5–15; MgO – 0,5–3; SO_3 – до 3; ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) – 1–5, потери при прокаливании – 3–15 [16].

ОМД вводилась в формовочные смеси вместе с расчетным объемом воды затворения. Сушка КО проводилась до остаточной влажности не более 3 % в лабораторной сушильной камере, а обжиг – в муфельной печи с автоматическим регулированием температуры.

Эффективность добавки определялась методом ортогонального центрального трехфакторного математического планирования эксперимента с получением функции отклика и номограмм, связывающих выходной параметр (y_1 – прочность на сжатие КО, $R_{сж}$) с переменными факторами (x_1 – содержание добавки, ОМД; x_2 – температура обжига КО, $t_{обж}$; x_3 – содержание воды в смеси, В), варьируемыми в пределах: x_1 – от 0,5 до 1,5 % (от массы глины), x_2 – от 900 до 1100 °С, x_3 – от 41 до 45 %.

Основная часть. Функция отклика прочности на сжатие керамических образцов от

показали, что структура исходного волластонита представлена наличием щепкообразных кристаллов, пластинок с расщепленными краями и отдельных иголок [15]. Данные частицы характеризуются следующим распределением по размерам: 0,2–0,99 мкм – 3,8 %; 0,99–4,92 мкм – 16,6 %; 4,92–24,4 мкм – 27,1 %; 24,4–121 мкм – 45,7 %; 121–491 мкм – 6,8 %.

влияющих факторов описывается следующим уравнением регрессии:

$$y_1 = 31,95 + 0,62x_1 + 0,4x_2 - 2,63x_3 - 5,32x_1^2 - 6,64x_2^2 - 4,69x_3^2 - 2,26x_1x_2 - 0,26x_1x_3 - 0,39x_2x_3.$$

Из приведенного уравнения и номограмм, представленных на рис. 2, следует, что эффективным количеством ОМД, с точки зрения максимального повышения $R_{сж}$ керамических образцов, является 1,125 % при температуре обжига 900 °С. Прочность на сжатие КО равна 25,6 МПа. Изменение количества ОМД в меньшую до 0,5 % или большую до 1,5 % стороны приводит к снижению $R_{сж}$ образцов до 16,9 и 22,8 МПа соответственно.

Эффективное количество ОМД в случае обжига образцов при температуре 1000 °С составляет 1 %. Прочность на сжатие КО равна 32,2 МПа. При этом изменение количества ОМД до 0,5 и 1,5 % способствует незначительному снижению $R_{сж}$ образцов до 26,3 и 27,7 МПа соответственно.

В то же время, при температуре обжига образцов, равной 1100 °С, эффективным количеством ОМД является 0,875 %. Прочность на сжатие КО составляет 26,2 МПа и снижается до 22,4 и 19,3 МПа при изменении количества ОМД до 0,5 и 1,5 % соответственно.

Следует отметить, что эффективность повышения прочности на сжатие керамических образцов с использованием ОМД достигается при содержании воды в формовочных смесях 42,5 %.

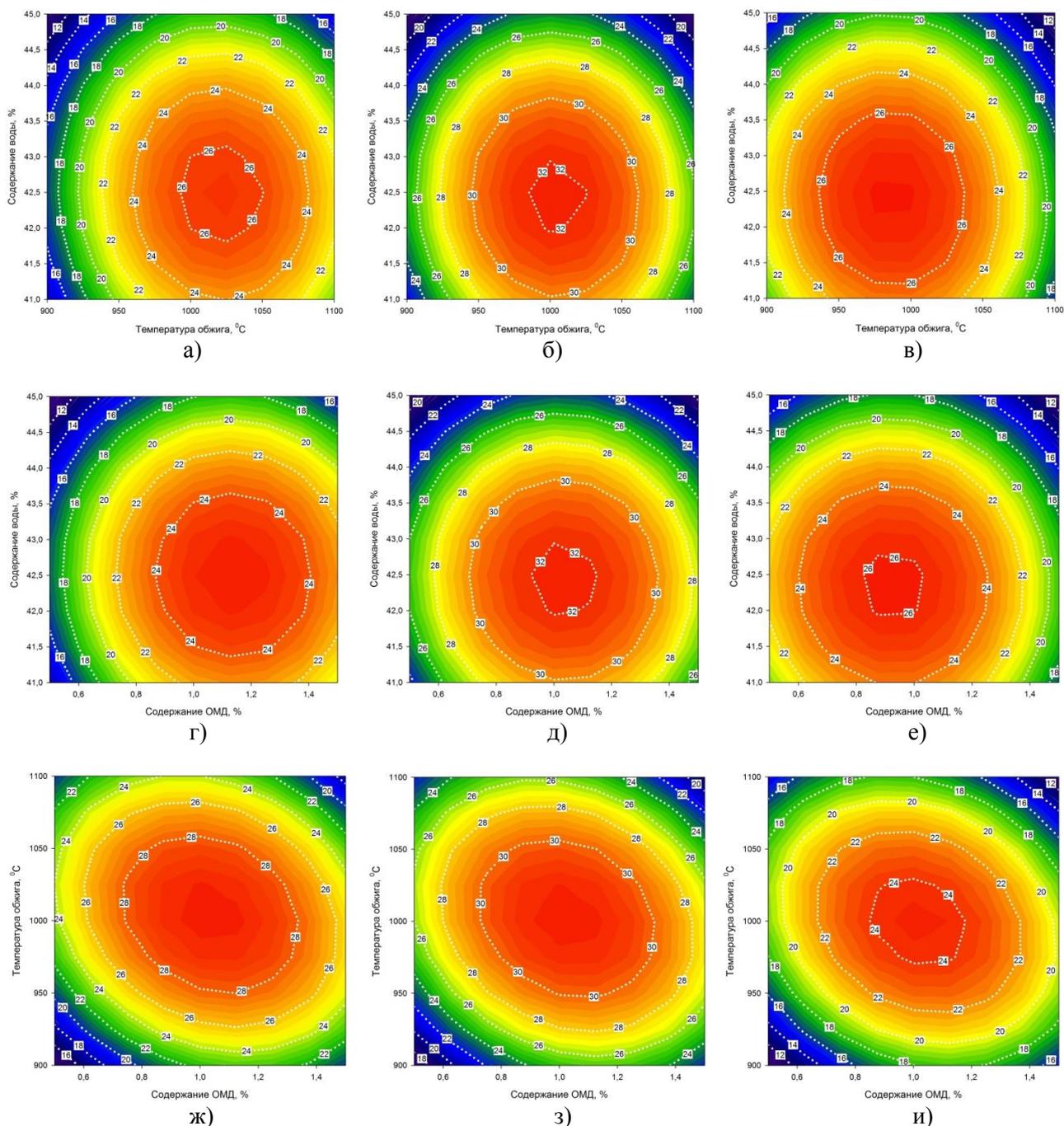


Рис. 2. Номограммы отклика прочности на сжатие керамических образцов от количества ОМД (а-в), температуры обжига (г-е), содержания воды (ж-и): а) – ОМД = 0,5 %; б) – ОМД = 1 %; в) – ОМД = 1,5 %; г) – $t_{обж} = 900$ °С; д) – $t_{обж} = 1000$ °С; е) – $t_{обж} = 1100$ °С; ж) – В = 41 %; з) – В = 43 %; и) – В = 45 %

Анализ влияния органо-минеральной добавки на свойства керамических образцов показал, что ОМД приводит к увеличению их средней

плотности на 2,4 % и коэффициента теплопроводности на 3,8 % (табл. 1).

Таблица 1

Свойства керамических образцов

Состав образцов	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность на сжатие, МПа	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	Водопоглощение, %	Морозостойкость, циклы
контрольный	1462	21,1	0,53	8,3	50
с 1 % ОМД	1497	32,2	0,55	7,1	75

Примечание: температура обжига контрольных и модифицированных образцов составляет 1000 °С.

При этом прочность на сжатие КО с содержанием ОМД возрастает в 1,5 раза (от 21,1 до 32,2 МПа), водопоглощение снижается в 1,2 раза (от 8,3 до 7,1 %), а морозостойкость увеличивается от 50 до 75 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Электронно-микроскопические исследования контрольного и модифицированного КО по-

казали различие в их структуре. Образец контрольного состава характеризуется крупнопористой, неравномерно спекшейся структурой с пустотами и порами, не заполненными стеклофазой (рис. 3, а), а образец с ОМД отличается микропористой структурой, армированной частично оплавленными и сросшимися со стеклофазой пластинчатыми и игольчатыми микрочастицами волластонита (рис. 3, б).

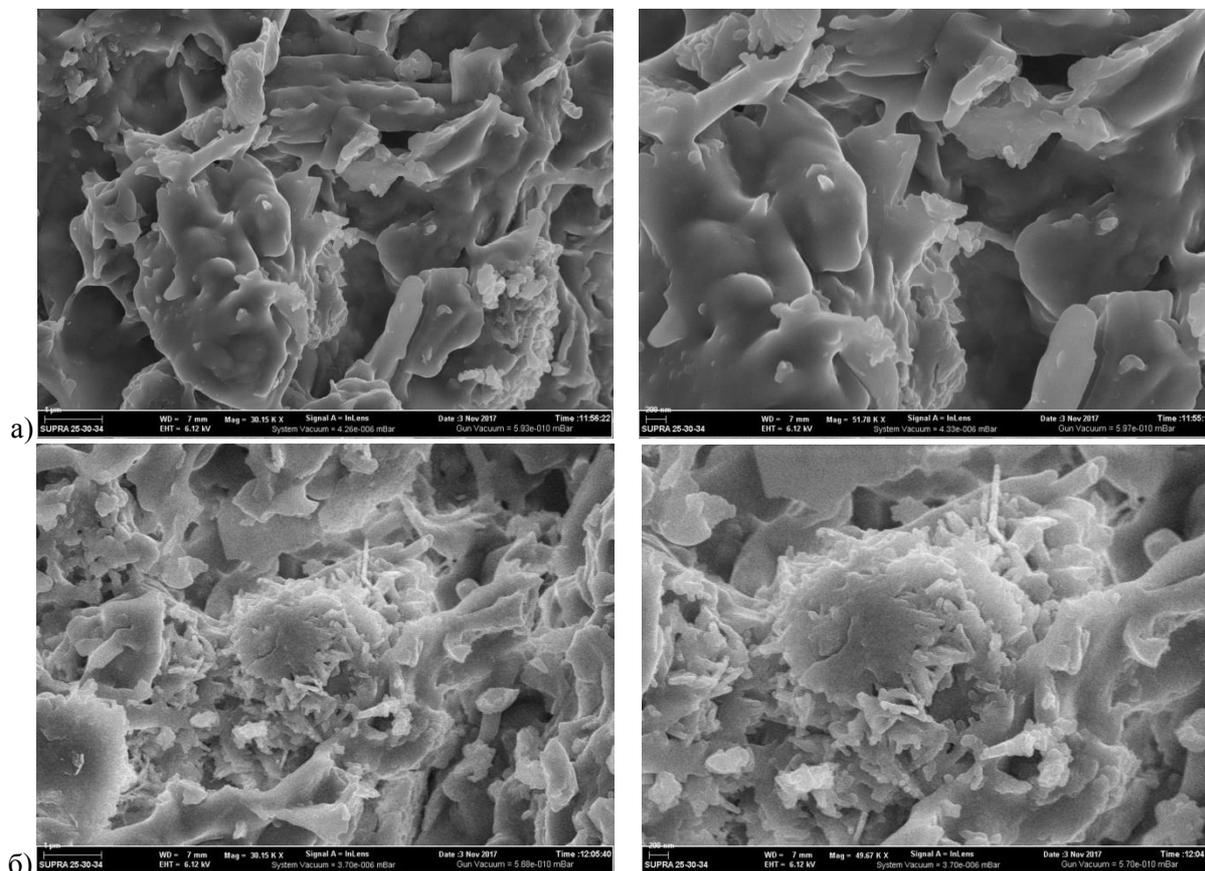


Рис. 3. Структура керамических образцов: а – без ОМД; б – с ОМД

Результаты азотной порометрии показали, что в образце КО контрольного состава распределение пор относительно их общего объема выглядит следующим образом: 4,13 % составляют

поры размером от 0,003 до 0,04 мкм; 26,79 % – от 0,04 до 0,4 мкм; 63,83 % – от 0,4 до 4,4 мкм; 3,15 % – от 4,4 до 40 мкм; 2,1 % – от 40 до 300 мкм (рис. 4, а).

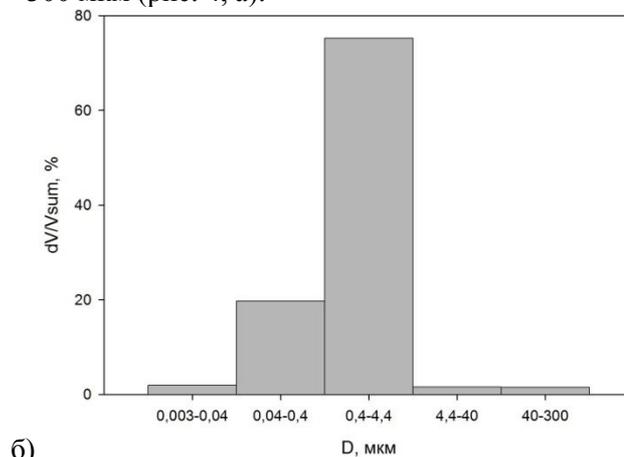
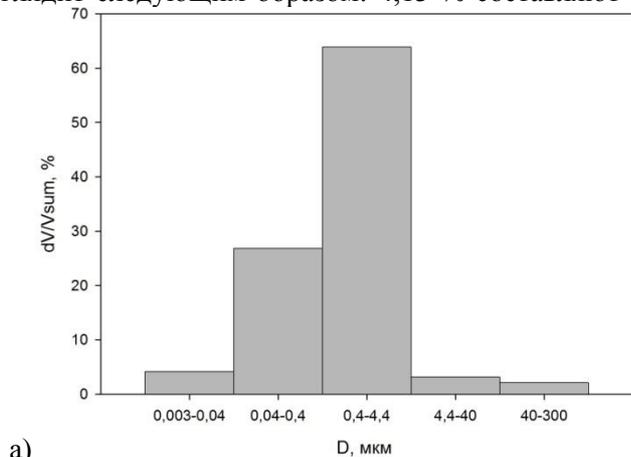


Рис. 4. Распределение пор по размерам в керамических образцах: а – без ОМД; б – с ОМД

В керамическом образце с ОМД количество пор размером от 0,003 до 0,04 мкм составляет 1,91 %; от 0,04 до 0,4 мкм – 19,74 %; от 0,4 до 4,4 мкм – 75,26 %; от 4,4 до 40 мкм – 1,59 %; от 40 до 300 мкм – 1,5 % (рис. 4, б).

Количество безопасных пор (менее 0,5 мкм) в модифицированном КО составляет около 21,65 %, промежуточных пор (от 0,5 до 10 мкм) – 75,26 %, опасных пор (более 10 мкм) и резервных пор (более 200 мкм) – 3,09 %.

При этом в образце контрольного состава безопасных пор содержится около 30,92 %, промежуточных пор – 63,83 %, опасных и резервных пор – 5,25 %.

Выводы. В ходе проведения исследований выявлен характер влияния органоминеральной добавки, полученной смешиванием промышленного волластонита с суперпластификатором С-3, на свойства и структуру строительной керамики. Эффективным количеством добавки, с точки зрения максимального повышения прочности на сжатие керамических образцов, является 1 % (от массы глины) при содержании воды в формовочной смеси 42,5 % и температуре обжига 1000 °С. Установлено, что добавка приводит к увеличению средней плотности (на 2,4 %) и коэффициента теплопроводности (на 3,8 %) керамических образцов. При этом прочность на сжатие повышается в 1,5 раза, морозостойкость от 50 до 75 циклов, а водопоглощение снижается в 1,2 раза. Полученный результат является следствием направленного воздействия волластонита, как микроармирующего компонента, в сочетании с суперпластификатором С-3, как органического выгорающего материала, на спекание глинистой массы и формирование структуры керамической матрицы с пористостью, перераспределенной в сторону снижения количества опасных и резервных пор (на 40–43 %) и увеличения количества промежуточных и безопасных пор (на 2–4 %).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фомина О.А., Столбоушкин А.Ю. Формирование рациональной поровой структуры стеновой керамики из шламистых железорудных отходов // *Строительные материалы*. 2015. № 12. С. 14–19.
2. Лохова Н.А. Морозостойкие строительные керамические материалы и изделия на основе кремнеземистого сырья. Братск: БрГУ, 2009. 268 с.
3. Лохова Н.А., Боева Н.В., Либеровская С.В. Микропоризованные керамические стеновые изделия на основе пыли газоочистки производства ферросплавов // *Системы. Методы. Технологии*. 2012. № 3 (15). С. 114–118.
4. Лохова Н.А., Гарновская А.С. Оптимизация состава и технологических параметров изготовления пористых стеновых керамических материалов на основе микрокремнезема и органосодержащих добавок // *Системы. Методы. Технологии*. 2013. № 3 (19). С. 139–145.
5. Яковлев Г.И., Гинчицкая Ю.Н., Кизиниевич О., Кизиниевич В., Гордина А.Ф. Влияние дисперсий многослойных углеродных нанотрубок на физико-механические характеристики и структуру строительной керамики // *Строительные материалы*. 2016. № 8. С. 25–29.
6. Яковлев Г.И., Михайлов Ю.О., Гинчицкая Ю.Н., Кизиниевич О., Тайбахтина П.А., Балобанова Ю.А. Строительная керамика, модифицированная дисперсиями многослойных углеродных нанотрубок // *Строительные материалы*. 2017. № 1-2. С. 10–13.
7. Пыкин А.А., Лукутцова Н.П., Калугин А.А., Мелешкевич В.И. Влияние органоминеральных наномодификаторов на основе шунгита на структуру и прочность керамического камня // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2015. № 1. С. 50–55.
8. Пыкин А.А., Лукутцова Н.П., Васюнина С.В., Устинов А.Г., Мацаенко А.А., Мелешкевич В.И. Структура цементных и керамических материалов с устойчивыми нанодисперсными добавками на основе стабилизированных минеральных компонентов в водной дисперсионной среде // *Строительство и реконструкция*. 2015. № 2 (58). С. 135–144.
9. Тюльнин В.А., Ткач В.Р., Эйрих В.И., Стародубцев Н.П. Волластонит – уникальное минеральное сырье многоцелевого назначения. М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2003. 144 с.
10. Ciullo P., Robinson S. Wollastonite – versatile functional filler // *Paint and Coatings Industry*. 2009. № 11. С. 50.
11. Demidenko N.I., Tel'nova G.B. Microstructure and properties of a material based on natural wollastonite // *Glass and Ceramics*. 2004. Т. 61. № 5-6. С. 183–186.
12. Morsy R., Abuelkhair R., Elnimr T. Synthesis and in vitro bioactivity mechanism of synthetic α -wollastonite and β -wollastonite bioceramics // *Journal of Ceramic Science and Technology*. 2016. Т. 7. № 1. С. 65–70.
13. Абдрахимов В.З. Волластонит в керамических материалах // *Огнеупоры и техническая керамика*. 2006. № 7. С. 41–47.
14. Столбоушкин А.Ю. Влияние добавки волластонита на формирование структуры стеновых керамических материалов из техногенного и природного сырья // *Строительные материалы*. 2014. № 8. С. 13–17.
15. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев

В.Г. Методы физико-химического анализа вязущих веществ. Учебное пособие. М.: Высш. школа, 1981. 335 с.

16. Ефремочкин Р.А., Васюнина С.В., Мастеров Д.С., Свистков В.А. Физико-химические свойства глинистого сырья для производства

строительной керамики / Строительство-2016: матер. II Брянского Междунар. инновационного форума // Брян. гос. инжен.-технол. ун-т (Брянск 1 дек. 2016 г.), Брянск: Изд-во БГИТУ, 2016. С. 52–59.

Информация об авторах

Лукутцова Наталья Петровна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства строительных конструкций.

Брянский государственный инженерно-технологический университет.

Адрес: Россия, 241037, г. Брянск, проспект Станке Димитрова, д. 3.

E-mail: natluk58@mail.ru

Васюнина Светлана Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных конструкций.

E-mail: lady-vasunina@yandex.ru

Брянский государственный инженерно-технологический университет.

Россия, 241037, г. Брянск, проспект Станке Димитрова, д. 3.

Пыкин Алексей Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных конструкций.

E-mail: alexem87@yandex.ru

Брянский государственный инженерно-технологический университет.

Россия, 241037, г. Брянск, проспект Станке Димитрова, д. 3.

Момот Вадим Олегович, студент кафедры производства строительных конструкций.

E-mail: theshadyboom@yandex.ru

Брянский государственный инженерно-технологический университет.

Россия, 241037, г. Брянск, проспект Станке Димитрова, д. 3.

Пехенько Даниил Андреевич, студент кафедры производства строительных конструкций.

E-mail: pehenko.danya@yandex.ru

Брянский государственный инженерно-технологический университет.

Россия, 241037, г. Брянск, проспект Станке Димитрова, д. 3.

Поступила в октябре 2017 г.

© Лукутцова Н.П., Васюнина С.В., Пыкин А.А., Момот В.О., Пехенько Д.А., 2017

Lukuttsova N.P., Vasyunina S.V., Pykin A.A., Momot V.O., Pehenko D.A.

INFLUENCE OF ORGANIC AND MINERAL ADDITIVES BASED ON WOLLASTONITE ON THE PROPERTIES AND STRUCTURE OF CONSTRUCTION CERAMICS

The results of an investigation of the average density, compressive strength, thermal conductivity, water absorption, frost resistance, structure and porosity of building ceramics samples using an organic and mineral additive obtained by mixing industrial wollastonite with superplasticizer C-3 are presented. The effective amount of the additive (1 % of the weight of the clay), the optimum water content (42,5 %) in the molding mixture, and the calcination temperature (1000 °C) of the ceramic samples were determined by the mathematical design of the experiment. Electron microscopy and nitrogen porosimetry showed that the addition leads to a redistribution of the porosity of the ceramic matrix in the direction of reducing the number of dangerous and reserve pores by 40–43 %. This contributes to the increase in compressive strength (by 1,5 times) and frost resistance (from 50 to 75 cycles), as well as to reduce water absorption (by 1.2 times) of ceramic samples.

Keywords: building ceramics, organic and mineral additives, wollastonite, strength, frost resistance, structure, porosity.

Information about the authors

Lukuttsova Natalya Petrovna, PhD, Professor.

E-mail: natluk58@mail.ru.

Bryansk Technological University of Engineering.

Russia, 241037, Bryansk, st. Stanke Dimitrova, 3.

Vasyunina Svetlana Vladimirovna, PhD, Assistant professor.

E-mail: lady-vasunina@yandex.ru.

Bryansk Technological University of Engineering.

Russia, 241037, Bryansk, st. Stanke Dimitrova, 3.

Pykin Alexey Alekseyevich, PhD, Assistant professor.

E-mail: alexem87@yandex.ru.

Bryansk Technological University of Engineering.

Russia, 241037, Bryansk, st. Stanke Dimitrova, 3.

Momot Vadim Olegovich, Bachelor student.

E-mail: theshadyboom@yandex.ru.

Bryansk Technological University of Engineering.

Russia, 241037, Bryansk, st. Stanke Dimitrova, 3.

Pehenko Daniil Andreevich, Bachelor student.

E-mail: pehenko.danya@yandex.ru.

Bryansk Technological University of Engineering.

Russia, 241037, Bryansk, st. Stanke Dimitrova, 3.

Received in October 2017

© Lukuttsova N.P., Vasyunina S.V., Pykin A.A., Momot V.O., Pehenko D.A., 2017

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКИХ УСКОРИТЕЛЕЙ СХВАТЫВАНИЯ НА ПЕННУЮ МАТРИЦУ ЯЧЕЙСТОГО БЕТОНА*

vell.30@mail.ru

В статье изложено влияние некоторых солей – электролитов на основные свойства пен, оцениваемые при выборе пенообразователей для производства ячеистых бетонов. Для исследований выбраны базовые ускорители схватывания. Проблема ускорения схватывания является основной в литьевой технологии ячеистых бетонов и решается многими авторами последнее десятилетие. Решение данной проблемы лежит в области оценки основных параметров смешения, выборе сырьевых материалов, доступности добавок и общей технологичности процесса производства.

Ключевые слова: структурная неоднородность, стойкость, кратность, эффективность использования, пенная матрица.

Введение. Ускорение схватывания в технологии производства неавтоклавно пенобетона является одним из сдерживающих факторов в использовании данного вида строительных материалов повсеместно. Проблема находится в стадии решения последние 15...18 лет. Различные подходы к решению данной проблемы не имеют повсеместного внедрения в силу ряда факторов: различий в сырьевых материалах и отсутствие подхода по их обоснованному подбору, использование различных по природе и эффективности пенообразователей, добавок стабилизаторов и т.д. Возможности малых предприятий зачастую ограничены, высокая конкуренция на рынке строительных материалов и высокая себестоимость стали основными сдерживающими факторами на пути к улучшению технологичности процесса производства литьевого пенобетона.

Основная часть. Стабилизация пен достигается введением в раствор веществ – стабилизаторов: карбоксиметилцеллюлозы, полиакриамида, поливинилового спирта и др. Эти вещества, увеличивая вязкость раствора и пленок [1, 2] способствуют замедлению синерезиса. Пены из растворов алкилсульфонатов натрия стабилизируются жирными спиртами и некоторыми эфирами, в присутствии которых резко снижается проницаемость пленок для воздуха и увеличивается вязкость поверхностного слоя, однако это проявляется в очень узкой области концентраций подобных стабилизаторов.

Стабилизаторы вызывают значительное снижение критической концентрации мицеллообразования раствора ПАВ. Наиболее эффективны те, в молекуле которых имеются неразветвленная цепь и полярные группы, способные образовывать водородные связи с молекулами воды (-ОН, -NH₂, =NH и др.). Если в растворе содержатся

ПАВ различного типа, эффект стабилизации может быть обусловлен образованием смешанных мицелл, состоящих из молекул неионогенного и анионного ПАВ. При введении в раствор анионных ПАВ небольших количеств жирного спирта ККМ увеличивается за счет повышения растворимости ПАВ.

Показано [3], что введение электролитов оказывает различное влияние на стабильность пузырьков пены. Если адсорбционный слой не насыщен молекулами ПАВ, введение электролита несколько повышает стабильность пузырьков пены, что подтверждается опытами (табл. 1). При концентрации ПАВ, обеспечивающей насыщение адсорбционного слоя или повышающей его, добавление хлорида натрия резко снижает стабильность пузырьков. Этот факт объясняется образованием на межфазовой поверхности микрокапель ПАВ (микрорегетерогенность поверхности). Явление выпадения в осадок лаурилсульфата натрия и додеканола в присутствии хлорида натрия и, связанное с этим снижение устойчивости пен, подтверждено работой [4]. В результате уменьшения концентрации ПАВ в растворе его поверхностное натяжение уменьшается.

В работе [5] показано, что максимум высоты столба пены из растворов алкилсульфатов натрия соответствует определенной концентрации электролита, причем пенообразующая способность обратно пропорциональна радиусу гидратированных одновалентных катионов электролита. Увеличение заряда катиона также повышает пенообразующую способность алкилсульфатов. Для исследований были выбраны соли электролитов, ускоряющие процессы твердения: сульфаты аммония, калия, натрия, магния; хлориды натрия и кальция. Концентрация добавок варьировалась в пределах 0,5...2 % с шагом 0,5 %.

Таблица 1

Влияние электролитов на стойкость пен анионного пенообразователя
(концентрация пенообразователя 0,08%, стойкость «чистой» пены 4 часа, кратность – 13,7)

Название соли	Характеристики пен при введении соли электролита, %							
	0,5		1,0		1,5		2,0	
	Стой-кость	Крат-ность	Стой-кость	Крат-ность	Стой-кость	Крат-ность	Стой-кость	Крат-ность
(NH ₄) ₂ SO ₄	4-10	19,7	4-20	21,4	5-00	24,3	5-10	13,7
MgSO ₄	5-20	7,1	6-40	8,3	5-20	7,1	5-00	14,3
Na ₂ SO ₄	3-00	15,1	3-40	24,6	3-00	27,7	3-00	27,4
K ₂ SO ₄	5-40	8,3	5-55	24,6	4-20	21,1	4-06	14,6
CaCl ₂	0-10	3,1	0-05	2,7	-	-	-	-
NaCl	1-35	18,0	5-20	28	5-25	13,1	0-15	0,8
K ₂ CO ₃	1-00	21,4	1-20	27,7	4-30	16,3	4-25	21,0
Мочевина	4-40	15,1	6-00	17,1	6-00	18,6	4-40	20,0
NaNO ₃	5-30	25,7	5-20	31,4	4-20	24,8	4-25	22,8
оксиметилцеллюлоза	3-20 ¹	4,6	3-04	28,0	0-50	4,3	-	-
	3-00 ²	6,0	2-40	7,9	3-00	6,1	3-00	5,2
	2-40 ³	14,3	2-20	2,3	2-20	2,7	2-25	2,4

Примечание: добавки оксиметилцеллюлозы отличаются молекулярной массой: 1 – имеет молекулярную массу 350-400 Дальтон; 2 – 400-600 Дальтон; 3 – 600-800 Дальтон

Показано, что наилучшим образом в пенной системе анионного пенообразователя АОС работает 1...1,5 % (NH₄)₂SO₄, позволяющий увеличить стойкость пены на 10...25 %, увеличить кратность до 20...24. K₂SO₄ в количестве 0,5...1 % позволил увеличить стойкость пены практически до 6 часов (рис. 2). Есть основание предполагать, что введение подобных добавок ускорит процесс схватывания и твердения пенобетонной смеси. Ввод в систему CaCl₂ показал, что даже в

незначительных концентрациях (до 0,5 %) он является эффективным пеногасителем и разрушает пену в течение 10 – 15 минут. В отличие от него, NaCl в концентрации 1 % позволил получить стойкость пены в пределах 5,4 часа при кратности 28. Оксиметилцеллюлоза является эффективным загустителем пен, но стабилизирующего эффекта в данных исследованиях добиться не удалось.

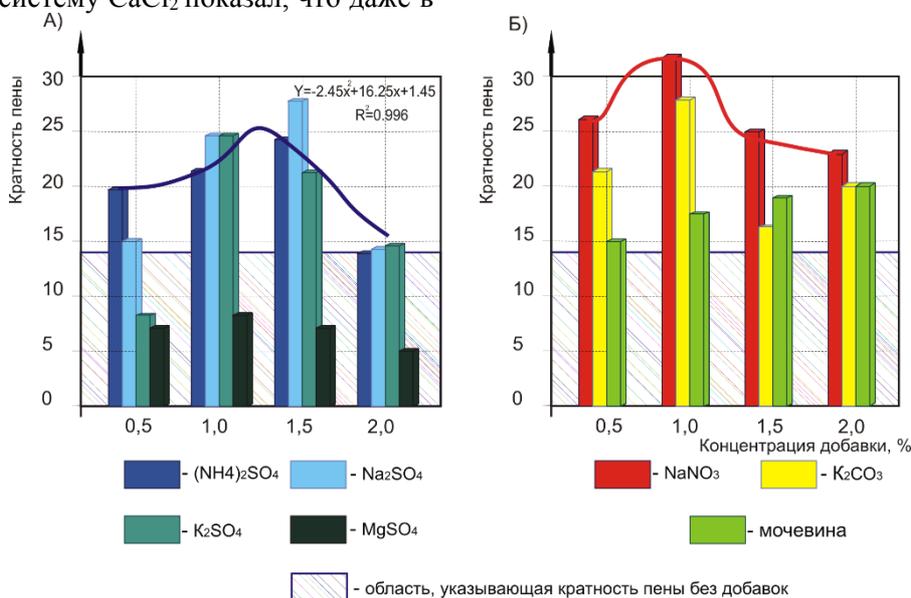


Рис. 1. Влияние концентрации химических добавок на кратность пены анионного пенообразователя

Влияние солей жесткости особенно заметно для поверхностно-активных соединений, содержащих в алкильной цепи 12 и более атомов углерода. Растворы соединений с 10 атомами углерода в молекуле менее подвержены действию солей жесткости. Первичные и вторичные алкил-

сульфаты и алкилсульфонаты обладают пониженной вспениваемостью в жесткой воде, неионогенные ПАВ не снижают в ней пенообразующую способность. Для улучшения пенообразующей способности растворов мощных веществ в

различных условиях применения в состав композиций вводят специальные добавки (фосфаты, увеличивающие объем пены и ее стабильность).

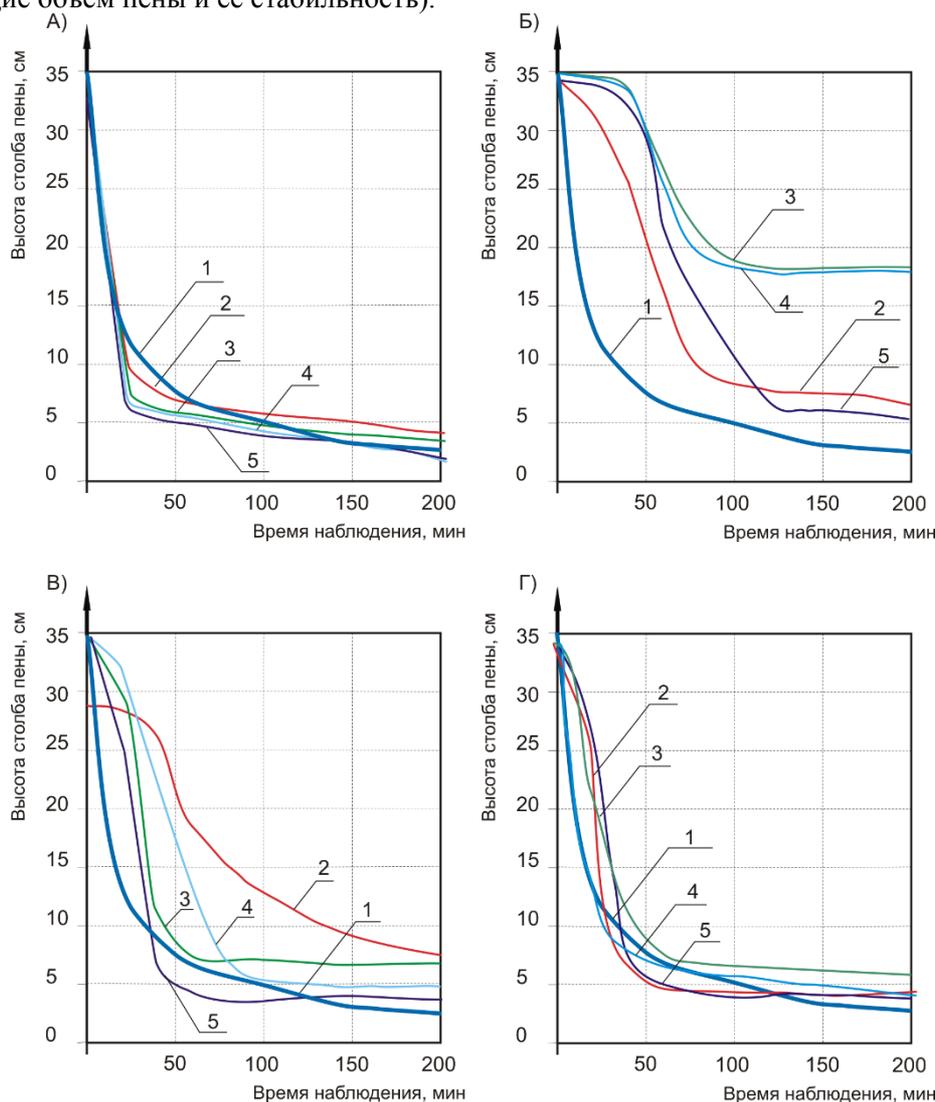


Рис. 2. Влияние солей электролитов на устойчивость пен анионного пенообразователя, где в качестве добавки использован: *a* – $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; *б* – MgSO_4 ; *в* – K_2SO_4 ; *г* – Na_2SO_4 ; при этом концентрация добавки в системе составляла: 1 – 0 %; 2 – 0,5 %; 3 – 1,0 %; 4 – 1,5 %; 5 – 2,0 %

Заключение. Сульфаты и хлориды аммония, натрия и кальция сравнительно слабо влияют на кратность и стойкость пен, однако не все они представляют интерес, как добавки к пенобетонным смесям, так как ион аммония разлагается в щелочной среде портландцементных систем с выделением газообразного аммиака.

Сульфат магния в оптимальной дозировке 1–1,5 % хорошо стабилизирует пену, но в жидкой фазе идет реакция выпадения в осадок гидроксида магния. В связи с этим соли магния не представляют интереса, как добавки в пенобетон.

Сульфат калия в количестве 0,5 % оказывает стабилизирующее действие на пену, особенно в первый час, поэтому его можно использовать в качестве стабилизатора, тем более, что данная добавка является ускорителем схватывания и

твердения цементного камня. В этом отношении представляют интерес сульфаты натрия и кальция.

Выводы. Влияние солей электролитов на пенную матрицу неоднозначно, в качестве добавок при производстве ячеистых пенобетонов их следует использовать, оценив предварительно возможности взаимодействия с отдельными пенообразователями. Следует учитывать, что данные, приведенные в работе, были получены с использованием анионного пенообразователя. Использование неионогенного Пав даст возможность использовать целый спектр ускорителей схватывания и твердения.

*Работа выполнена в рамках Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Махамбетова У.К., Солтамбеков Т.К., Естемесов З.А. Современные пенобетоны. Под ред. П.Г. Комохова. С-Пб.: Петерб. гос. ун-т путей сообщ., 1997. 157 с.
2. Меркин А.П. Ячеистые бетоны, научные и практические предпосылки дальнейшего развития // Строительные материалы. № 5. 1995. С. 57.
3. Муромский К.П. Ячеистый бетон в наружных стенах зданий // Бетон и железобетон. 1996. № 5. С. 31–32.
4. Тихомиров В.К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1983, 265 с.
5. Сватовская Л.Б., Овчинникова В.П., Соловьева В.С. и др. Управление активностью цементных смесей с использованием добавок типа «Элби» // Цемент. 1996. №2. С. 28–32.
6. Рахимбаев Ш.М., Дегтев И.А., Тарасенко В.Н., Аниканова Т.В. К вопросу снижения усадочных деформаций изделий из пенобетона // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 12. С. 41–44.
7. Тарасенко В.Н. Ячеистые бетоны в малоэтажном жилищном строительстве // в сб.: Научный поиск в современном мире. Сборник материалов 10-й международной науч.-практ. конф. 2015. С. 142–143.
8. Сулейманова Л.А., Кара К.А. Энергосберегающие технологии высокопоризованных бетонов // в сб.: Белгородская область: прошлое, настоящее, будущее. Мат. обл. науч.- практ. конф. в 3-х ч. 2011. С. 98–102.
9. Тарасенко В.Н. Прогнозирование звукоизолирующих свойств ячеистобетонных композитов // В сб.: Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства Сборник докладов международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию заслуженного деятеля науки РФ, члена-корреспондента РААСН, доктора технических наук, профессора Валерия Станиславовича Лесовика: В 3 частях. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2016. С. 135–140.
10. Тарасенко В.Н. Неразрушающие методы контроля ячеистобетонных строительных материалов // В сб.: Научоемкие технологии и инновации. Сборник докладов Международной научно-практической конференции. 2016. С. 194–198.
11. Сулейманова Л.А. Высококачественные энергосберегающие и конкурентоспособные строительные материалы, изделия и конструкции // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 1. С. 9–16.

Информация об авторах

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

E-mail: vell.30@mail.ru

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

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

Поступила в октябре 2017 г.

© Тарасенко В.Н., 2017

Tarasenko V.N.

**THE IMPACT OF THE CHEMICAL SETTING ACCELERATORS
FOR A FOAM MATRIX OF CELLULAR CONCRETE**

The article presents the influence of some salts – electrolytes on the basic properties of the foams evaluated in the selection of foaming agents for the production of cellular concrete. For studies of selected basic setting accelerators. The problem of accelerating the setting is the main molding technology of cellular concrete and solved by many authors the last decade. The solution to this problem lies in estimating the main parameters of the mixing, the choice of raw materials, availability of supplements and General technological process of production.

Keywords: *structural heterogeneity, stability, multiplicity, efficiency of use, the foam matrix.*

Information about the authors

Tarasenko Viktoriya Nikolaevna, PhD, Assistant professor.

E-mail: vell.30@mail.ru

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

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

Received in October 2017

© Tarasenko V.N., 2017

DOI: 10.12737/article_5a27cba0904cd3.84567882

¹Матвеева Л.Ю., д-р техн. наук, проф.,²Ястребинская А.В., канд. техн. наук, доц.¹Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ВЗАИМОСВЯЗЬ НАДМОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТЕРМОРЕАКТИВНЫХ СВЯЗУЮЩИХ

karanna1@mail.ru

Рассматривается проблема зависимости свойств полимерных композиционных материалов от надмолекулярной структуры термореактивных связующих на примере эпоксидных смол. Показано, что свойства полимерных композиционных материалов связаны с дефектами надмолекулярной структуры связующих. Приведена соответствующая классификация структурных дефектов полимерных композиционных материалов. Сделано предположение и приводятся сведения о том, что большую роль в создании композиционных материалов повышенной прочности и надежности имеет упаковка полимерных макромолекул, и, особенно, первичный структурный наноуровень. При этом, чем меньше дефектов в упаковке макромолекул, тем прочнее и надежнее полимерный композиционный материал. Добавки, обеспечивающие упаковку макромолекул с меньшей дефектностью, повышают эксплуатационные характеристики композиционных полимерных материалов.

Ключевые слова: полимеры, реактопласты, композиты, надмолекулярная структура, модификаторы, дефекты структуры.

Введение. В развитии науки о полимерных композиционных материалах в настоящее время происходит существенный прорыв в связи с новыми возможностями нанотехнологий, а именно, возможностями регулирования надмолекулярной структуры полимерных связующих и композитов на нано уровне. Применение методов наномодифицирования позволяет упорядочивать надмолекулярную структуру полимерных связующих на первичном структурном уровне и снижать, в конечном счете, дефектность общей структуры получаемого композиционного материала. Снижать структурную дефектность важно при получении долговечных строительных полимерных композиционных материалов с заданными свойствами.

Ранее уже нами упоминалось о том, что прогресс в развитии строительных полимерных композиционных материалов возможен при условии понимания механизмов структурообразования и роли надмолекулярных структур в итоговом комплексе свойств полимерных композиционных материалов.

Под надмолекулярной структурой полимерных материалов принято понимать взаимное расположение в пространстве структурных элементов – фрагментов цепей макромолекул, звеньев, молекулярных кластеров (глобул, кристаллитов, доменов), образующих макроскопическое полимерное вещество. При этом важная роль принадлежит использованию эффективных приемов регулирования надмолекулярной структуры, осо-

бенно, на первичных уровнях упаковки макромолекул. Знания механизмов структурообразования и используемые при этом методики являются необходимыми при проектировании долговечных строительных материалов с требуемым комплексом заданных свойств [1–3]. Установление основных закономерностей в цепи: «состав – структура/модификация – технология получения материала – свойства» являются главенствующими и определяют цель и содержание работы.

Основная часть. По современным представлениям самоорганизацию полимерной материи следует рассматривать как набор постепенно усложняющихся структурных элементов. Изменение структуры одного элемента связано с изменениями свойств и поведения остальных структурных образований. В сложной упаковке макромолекул термореактивных полимеров не всегда явно проявляется дискретный характер поведения сложного по структуре полимерного материала. При воздействиях внешних факторов в процессе эксплуатации надмолекулярная структура подвергается изменениям и перестраивается. При этом возможно, что перестройка отдельных уровней структуры протекает относительно независимо. В тех случаях, когда возможности одного структурного уровня полностью исчерпываются, происходит реорганизация последующих уровней [3, 4].

О дискретности перестройки структурных уровней свидетельствуют данные характера величин деформационных разрушений, ранее наблюдаемых и описанных Г. М. Бартевым [5–

8]. Дискретный спектр размеров субмикротрещин и микротрещин был установлен и описан также рядом других исследователей [9, 11, 12].

Проведенные исследования микромеханики разрушения полимерных материалов методами малоуглового рентгеновского рассеивания показали, что под нагрузкой в слабых местах структуры быстро возникают субмикротрещины размерами до 10 нм. По своим размерам они совпадают с размерами первичных молекулярных структур. Но разрушающимися композиционный полимерный материал являются не субмикротрещины, а гораздо более большие по размерам микротрещины. Трещины микронных размеров и более крупные – растут при внешних нагрузках, сливаются между собой и приводят к разрушению материала [3, 4].

Согласно А. Петерлину зародышами микротрещин являются границы первичных структур и дефекты, находящиеся на стыках последующих структурных уровней. Это наиболее слабые места надмолекулярных структур [8]. Дефекты структуры могут вызываться разными причинами: геометрическими причинами, например, стерическими затруднениями, пространственной неупорядоченностью; при этом геометрические дефекты могут иметь различные размеры в зависимости от уровня структуры; термодинамическими причинами – вследствие термодинамической неустойчивости образований (группировок и кластеров) и флуктуаций на разных структурных уровнях.

Очевидно, что чем выше структурный уровень (более дальнего порядка), тем он более дефектный, т.к. имеет место накопление и суммирование дефектов.

Дефекты, образованные кинетическими причинами, образуются в том случае, если скорость релаксационных процессов меньше скорости формирования структурных элементов.

Об относительно упорядоченной ступенчатой структуре термореактивных полимеров свидетельствуют экспериментальные данные измерений механических, электрических и некоторых других свойств. Измерение характеристик и свойств термореактивных полимеров свидетельствует о том, что в их структуре сохраняются не только структурные элементы размерами в десятки ангстрем, но и более крупные структурные элементы [4, 9].

Ранее нами был отмечен дискретный характер изменения характеристик полимерных материалов и композитов при исследовании механических свойств в зависимости от изменения скорости нагружения материала [4, 10]. Замечено, что при плавном увеличении скорости нагружения в сериях испытаний образцов на определение

предела прочности при растяжении и сжатии был установлен ступенчатый характер изменения соответствующих характеристик [4, 10–12]. Эту особенность мы связываем с проявлением дискретного характера деформирования структурных элементов различных уровней упаковки макромолекул и связанными с ними определенными структурными несовершенствами (дефектами).

Полимерное макромолекулярное вещество не может быть совершенным по своей структуре вследствие громоздкости макромолекул, имеют место различные нарушения упаковки, обусловленные рядом указанных выше причин: геометрического, термодинамического и кинетического характера. Таким образом, можно предположить, что различным факторам воздействия могут соответствовать определенные «слабые» места различных структурных уровней.

Предлагаемая классификация структурных дефектов упаковки макромолекул термореактивных полимеров представлена в табл. 1; при этом можно выделить как минимум 4 структурных уровня и соответствующие им несовершенства в упаковке макромолекул, т.е. дефекты структуры [3, 4] (табл. 1).

Основной концепцией при проектировании долговечных полимерных материалов и композитов с повышенными эксплуатационными характеристиками должен стать учет дефектности структурных элементов в упаковке полимеров, т.е. структурных дефектов различного уровня.

Снижать дефектность структуры и воздействовать на структурную упаковку макромолекул полимеров возможно вполне целенаправленно. При проектировании композитных материалов с заданными свойствами необходимо научиться связывать структурную дефектность с внешними факторами воздействия на полимерную материю.

При использовании модифицирующих структурирующих или упрочняющих добавок следует использовать такие модификаторы надмолекулярной структуры, действие которых распространяется на определенный заранее структурный уровень (табл.2).

В связи с развитием методов нанотехнологии в последнее время стало возможно управлять структурообразованием полимерных макромолекул на наноуровне. Очевидно, что в свете данных представлений первичный структурный уровень (наноуровень) образований имеет важнейшее значение, поскольку от его дефектности зависит вся последующая упаковка макромолекул и дефектность последующих структурных элементов. На первый план применения методов наномодифицирования выходит проблема диспергирования и распределения в массе полимерного

материала нанодобавок – частиц наноразмерного диапазона: однослойные и многослойные угле-

родные нанотрубки, фуллерены и фуллереноидные частицы, нановолокна и микрочастицы нанослойных глин (монтмориллонит и др.).

Таблица 1

Классификация структурных дефектов упаковки макромолекул терморезактивных полимеров в зависимости от размеров структурных элементов

Структурный уровень	Дефекты упаковки макромолекул	Размерность дефектов
I	Дефекты ближнего порядка (нанодфекты), связанные с нарушением конформаций в расположении отдельных фрагментов полимерной цепи и ее первичной укладкой, асимметрия и пропуски образования узлов пространственной сетки; размеры дефектов соизмеримы со структурными элементами начального (первичного) структурного уровня упаковки макромолекул.	10–100 нм
II	Дефекты глобулярного порядка при нарушениях упаковки глобул, свернутых в конгломераты или клубки длинных участков полимерных цепей, дефекты их взаимного расположения, сконцентрированные по границам раздела глобулярных образований, также дефекты, образованные концами цепей и свободными (неупакованными) частями макромолекул, проходными цепями и макромолекулами низкой молекулярной массы. Размеры дефектов соизмеримы с размерами глобулярных образований.	100–1000 нм
III	Дефекты, связанные с асимметрией и нарушениями кластерных ассоциатов, пачек, домен и прочих объемных структур более высокого уровня в результате внутренних напряжений, а также дефекты на границах этих структурных элементов	0,1–10 мкм
IV	Макродфекты надмолекулярной структуры композита или изделия в целом – нерегламентированные микро- и макропоры, посторонние включения, микро- и макротрещины в результате внутренних напряжений и т.п.	10–100 мкм

Рядом публикаций показано, что имеются весьма удачные попытки существенно улучшить свойства полимерных материалов путем наномодифицирования углеродными наночастицами, фуллеранами и другими наномодификаторами [13, 14, 17, 18].

Традиционные модификаторы терморезактивных полимеров – термопласты и олигомерные системы (каучуки и эластомеры) достаточно сложно распределить соответствующим образом в объеме полимерной матрицы, т.е. с помощью этих модифицирующих добавок практически невозможно воздействовать на наноуровень. Действие этих модификаторов проявляется, как правило, на микроуровне и создает возможность улучшения физико-механических характеристик при статических и динамических нагрузках полимерных композитов. При внешних критических нагрузках каучуки и эластомеры, образуя самостоятельную фазу в терморезактивной (эпоксидной) матрице, не позволяют срастаться и распространяться «большим» микротрещинам, ответственным за механическое разрушение полимера. Рост микротрещин останавливается демпфирующими микро- и макрочастицами.

В то же время, для упорядочивания молекулярной структуры на наноуровне необходимо использовать наноструктурные модификаторы, т.е. добавки, которые следует диспергировать до

наноразмерных частиц и равномерно распределять в матрице полимера. Разумеется, это является непростой технологической задачей. К примеру, таким требованиям удовлетворяют молекулы жидких органосиланов и силоксанов при условии их диспергирования в жидкофазной полимерной матрице с помощью ультразвука [14–18]. Опыт показывает, что органосиланы и органосилоксаны в малых количествах хорошо совмещаются с большинством полимеров в расплавах или в растворах [10, 11, 16–18].

Органические силаны и силоксаны – достаточно инертные химические соединения. Чаще всего они не вступают в химическое взаимодействие с молекулами полимерного связующего. В процессе формирования надмолекулярных структур полимера эти добавки облегчают конформационные повороты и обеспечивают большую подвижность фрагментов макромолекулярных цепей, а сами добавки вытесняются в зоны локального беспорядка, концентрируясь в дефектах и пустотах структуры. Таким образом молекулярные соединения оседают на первичном структурном уровне – наноуровне полимерной материи. Первичный уровень является наименее дефектным, и он ответственен за химические и физико-химические процессы, происходящие в полимере: старение, термоокислительная деструкция, фотодеструкция, воздействие газообразных и жидких сред и др.

Таблица 2

Связь структурных уровней упаковки макромолекул термореактивных полимеров со свойствами композитов

Наименование структурного уровня	Модификаторы, добавки	Структурные элементы и дефекты структуры	Характеристики и свойства композитов
I Субмикроскопический уровень (молекулярный, наноуровень)	Мономолекулярные вещества или наночастицы, диспергированные методами нанотехнологии	Цепи и фрагменты цепей полимеров. Структура определяется упаковкой и укладкой отдельных цепей и фрагментов с размерами образований до десятков нм – наноструктура	Химическая, физико-химическая и радиационная и УФ- стойкость к старению, стойкость к термоокислительной деструкции
II Мезоскопический уровень (топологический, кластерный)	Легирующие микродобавки и олигомеры, вводимые жидкофазными методами	Глобулярные кластерные образования, межглобулярные границы, контактные зоны между пачечными структурами полимера, мезопоры, субмикротрещины	Твердость, микротрещиностойкость, диффузионные свойства, газо- и водопроницаемость, теплостойкость, биостойкость
III Надмолекулярный уровень (образование ассоциатов, доменов и пачек)	Микроразмерные частицы и добавки, наполнители, полимеры, эластомеры, каучуки и т.д.	Посторонние включения между доменами и пачками, нарушающие их структурное объединение: микрочастицы, (цемент, минеральная пыль, «аэросил», микросферы и т. п.)	Модуль упругости, модуль сдвига, хрупкость, ползучесть, капиллярное водопоглощение, морозостойкость
IV Макроскопический уровень (композит или изделие)	Порошкообразные наполнители и добавки, вносимые обычным способом. Структура композита во многом определяется технологией изготовления изделий и внесения добавок	Нерегламентированные включения, дефектные зерна наполнителей, микро- и макропоры, микро- и макротрещины	Механические характеристики: прочность, износостойкость, стойкость к статическим и динамическим нагрузкам, удару, истиранию и др.

По массе структурные модификаторы наноуровня должны вводиться в таких же примерно количествах, как, например, антиоксиданты, светостабилизирующие добавки и т.п., т.е. от 0,5 до 2,5 % масс.

Было изучено действие кремнийорганических жидких модификаторов – силанов и силоксанов на надмолекулярную структуру эпоксидного связующего на основе дианового олигомера ЭД-20. С помощью сканирующего электронного

микроскопа обнаружены упорядоченные образования частиц глобулярного типа в эпоксидной матрице, отвержденной полиэтиленполиамином (ПЭПА) при комнатной температуре. Модификация эпоксидной матрицы силоксанами приводит к образованию в большей степени упорядоченной надмолекулярной структуры, содержащей значительно меньше пор, микротрещин и структурных дефектов (рис. 1).

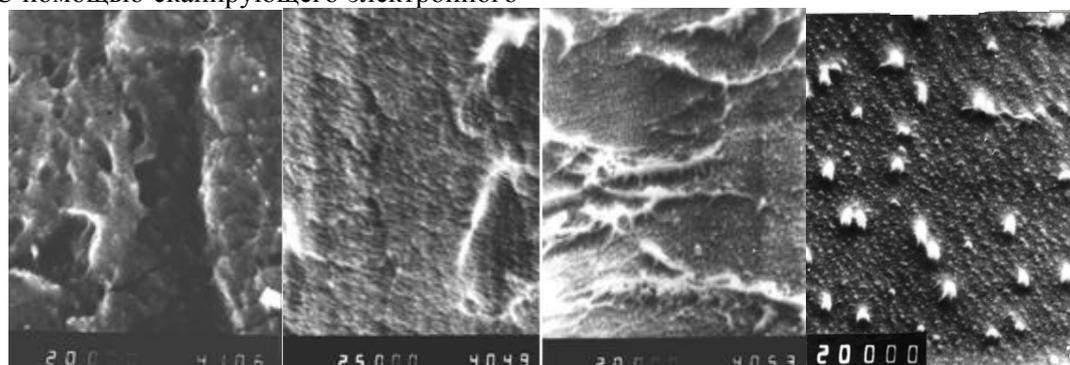


Рис. 1. Электронные микрофотографии структуры полимерной матрицы на основе эпоксидного олигомера ЭД-20 и ПЭПА; слева направо: немодифицированная, увеличение $\times 20000$ крат; модифицированная 1% масс. органосилоксаном, увеличение $\times 25000$ крат; модифицированная силоксановыми (СКТН и СКН) каучуками, увеличение $\times 20000$ крат

Структура полимерного композиционного материала определяется в основном технологией его изготовления и использованием модифицирующих (структурирующих) добавок. Макроструктура материала зависит от комплекса технологических факторов, внешних воздействий, а также предшествующих условий ее формирования. Характеристики и эксплуатационные свойства полимерных композитов зависят от сформированной надмолекулярной структуры и уровня ее дефектности.

Выводы. Предложена классификация структурных уровней надмолекулярных образований и дефектов структуры полимерных композиционных материалов на основе терморезактивных связующих. Структурные дефекты сопоставлены с физическими и химическими свойствами композиционных материалов. Определены методы воздействия на различные структурные элементы с целью снижения напряжений и структурной дефектности.

Для формирования структуры с меньшим количеством дефектов на первичном (наноуровне) рекомендовано использовать наноструктурные модификаторы и технологические методы нанодиспергирования (например, ультразвук).

Дефектность надмолекулярных структурных элементов упаковки полимерных терморезактивных связующих и композитов можно регулировать жидкими кремнийорганическими добавками. Снизить уровень внутренних напряжений в полимере при отверждении, уменьшить дефектность надмолекулярных структур на микро- и макроуровне, повысить трещиностойкость и физико-механические характеристики позволяет модификация терморезактивных полимеров жидкими каучуками и олигомерами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патуроев В.В. Полимербетоны. М.: Стройиздат, 1987. 286 с.
2. Соломатов В.И., Бобрышев А.Н., Химмлер К.Г. Полимерные композиционные материалы в строительстве. Под ред. В.И. Соломатова. М.: Стройиздат. 1988. 312 с.
3. Матвеева Л.Ю., Орлова Н.В. Направленное регулирование надмолекулярной структуры полимерных связующих и композитов с учетом ее иерархии. Архитектура – строительство – транспорт // Мат-лы 71-й научн. конф. [в 3 ч.]. Ч. I. Архитектура и строительство; СПбГАСУ. СПб., 2015. С. 128–136.
4. Огрель Л.Ю. Повышение эффективности строительных полимерных композитов, эксплуатируемых в агрессивных средах: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.05. БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород, 2006. 414 с.

5. Бартнев Г.М. Прочность и механизм разрушения полимеров. М.: Химия, 1984. 280 с.
6. Бартнев Г.М., Каримов С.Н., Нарзуллаев Б.М., Цой Б., Шерматов Д. Спектр времен долговечности полимерных пленок // Высокомолекулярные соединения. 1982. Т. 24. Сер. А. № 9. С. 1981–1985.
7. Bartenev G.M., Karimov S.N., Šermatov D. Gesetzmäßigkeiten und Natur des Bruchs von Polyethylenterephthalatfolien // Acta Polymerica. 1983. V. 34. Issue 1. P. 44–47.
8. Петерлин А. Механические свойства и фибриллярная структура. Сверхвысокомолекулярные полимеры. Л.: Химия. 1983. С. 205–240.
9. Васильева О.Г., Никулина Л.П., Готлиб Е.М., Артеменко С.Е., Овчинникова Г.П. К вопросу о структурообразовании в модифицированных эпоксидных полимерах // Пластмассовые массы. 2001. № 3. С. 28.
10. Ястребинская А.В. Модифицированный конструкционный стеклопластик на основе эпоксидных олигомеров для строительных изделий: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / А.В. Ястребинская, БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород, 2004. 152 с.
11. Матвеева Л.Ю., Ястребинская А.В. Эксплуатационные характеристики эпоксидного связующего для конструкционного стеклопластика / Актуальные проблемы архитектуры и строительства. // Мат-лы V Международной конференции. Часть 1. 25–28 июня. Санкт-Петербург. 2013. С.348–351.
12. Allen R.C., Mandelkern L. Supermolecular structure of poly (ethyleneoxide) fractions // Polymer Science. Polym.Phys. Ed. 1982. V. 20. P.1465–1484.
13. Бурункова. Ю. Э., Семьина С. А., Капорский Л.Н., Левичев В.В. Наномодифицированные оптические акрилатные композиты // Оптический журнал. 2008. Т.75. № 10. С.54–58.
14. Амиров Р.Р, Амирова Л.М., Беззаметнов О.Н., Горбачук В.В. Получение и свойства древесно-наполненных композитов на основе наномодифицированных полипропиленов различных марок // Ученые записки Казанского университета. Сер. Естественные науки. 2012. Т 154. №4. С. 71–79.
15. Комаров С. М. Искусственные объекты наномира. // Химия и жизнь. 2000. № 5. С. 10–17.
16. Строкова В.В. Огрель Л.Ю., Ли Яхо, Занг Баоде Наследование полимерными композитами структур наноразмерных неорганических наполнителей // Строительные материалы. 2009. № 9, С. 75–76.
17. Огрель Л.Ю., Строкова В.В., Чеботарева Е.Г., Владимировна В.А. Наномодифицированные

эпоксидные связующие с повышенными характеристиками // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. №3. С. 120–124.

18. Матвеева Л.Ю., Брацыхин Ю.Ю., Солодкий В.В. Разработка методов получения наномодифицированных каучуковых композитов и наноструктурированных резин для эксплуатации

в условиях низких температур // Промышленность региона: проблемы и перспективы инновационного развития. Гродно, Республика Беларусь: Изд-во Гр ГУ им. Я. Купалы, 2012. С. 75–78.

Информация об авторах

Матвеева Лариса Юрьевна, доктор технических наук, профессор.

E-mail: lar.ma2011@yandex.ru

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.

Россия, 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4

Ястребинская Анна Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности.

E-mail: karanna1@mail.ru,

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

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

Поступила в октябре 2017 г.

© Матвеева Л.Ю., Ястребинская А.В., 2017

Matveeva L.Yu., Yastrebinskaya A.V.

DIRECTED REGULATION OF THE SUPRAMOLECULAR STRUCTURE OF POLYMER BINDERS AND BUILDING COMPOSITES ON THEIR BASIS

In article the problem of the directed regulation of properties by modification of supramolecular structure polymeric binding and composites is discussed. Management of structurization of polymers and introduction of the modifying additives need to be carried out taking into account concrete structural levels. Characteristics of polymeric materials are connected with defects of structure which also have the corresponding classification presented in article. At design of composite materials with the set properties it is desirable to coordinate it to the concrete destroying influence factor, using such modifiers of structure which operation extends to this structural level. The great value in hardening and regulation of strength characteristics has primary structural level (nanolevel) of supramolecular educations.

Keywords: *polymers, reaktoplasta, composites, supramolecular structure, modifiers, defects.*

Information about the authors

Matveeva Larisa Yuryevna, PhD, Professor.

E-mail: lar.ma2011@yandex.ru

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

Russia, 190005, St. Petersburg, 2-nd Krasnoarmeiskaya St. 4.

Yastrebinskaya Anna Viktorovna, PhD, Assistant professor.

E-mail: karanna1@mail.ru

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

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

Received in October 2017

© Matveeva L.Yu., Yastrebinskaya A.V., 2017

DOI: 10.12737/article_5a27cb7e827280.73556713

Пыкин А.А., канд. техн. наук, доц.,
Лукутцова Н.П., д-р техн. наук, проф.,
Лукаш А.А., канд. техн. наук, доц.,
Ласман И.А., канд. техн. наук, доц.,
Головин С.Н., студент,
Тугай Т.С., студент

Брянский государственный инженерно-технологический университет

СВОЙСТВА И СТРУКТУРА СТРОИТЕЛЬНОГО ГИПСА С МИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗОЙ

alexem87@yandex.ru

Представлены результаты исследования влияния тонкодисперсной микрокристаллической целлюлозы (МКЦ) на консистенцию, сроки схватывания, прочность, среднюю плотность, водостойкость и структуру строительного гипса. Экспериментально установлено, что МКЦ приводит к снижению водопотребности (в 1,2 раза) строительного гипса при сохранении стандартной консистенции, сокращению сроков схватывания гипсового теста, а также повышению прочности (на изгиб в 1,8 раза, на сжатие в 1,5 раза) и коэффициента размягчения (в 1,2 раза) гипсового камня. Полученные результаты является следствием ускорения процесса гидратации строительного гипса за счет водоудерживающей способности МКЦ, а также уплотнения пространства между кристаллогидратами двуводного гипса.

Ключевые слова: строительный гипс, микрокристаллическая целлюлоза, консистенция, сроки схватывания, прочность, водостойкость, структура.

Введение. Современные тенденции развития строительного материаловедения связаны с необходимостью разработки новых ресурсо- и энергосберегающих способов повышения прочности и водостойкости гипсовых вяжущих и материалов на их основе, которые при относительно низкой стоимости обладают экологичностью и пожаробезопасностью.

Одним из высокоэффективных способов регулирования прочности и водостойкости гипсовых вяжущих является введение различных видов минеральных и органических добавок, способствующих образованию труднорастворимых соединений, покрывающих кристаллы двуводного гипса и формирующих плотную, прочную и менее водопроницаемую гипсовую матрицу [1–3].

Обзор известных литературных источников показал, что для повышения прочности и водостойкости гипсовых материалов широко используются тонкодисперсные минеральные добавки природного (диатомит, опока, трепел, пуццолана, цеолит, шунгит и др.) [4–6] и искусственного (портландцемент, известь, метакаолин, микрокремнезем, керамзитовая и металлургическая пыль, отходы мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов и др.) происхождения как отдельно, так и в комплексе с органическими модификаторами (гипер- и суперпластификаторы, гидрофобизаторы, углеродные нанотрубки, эфиры целлюлозы и др.) [7–12].

В настоящее время среди органических добавок-регуляторов свойств различных строительных материалов, в том числе на основе гипсовых вяжущих, большой научно-практический интерес представляют структурные модификации целлюлозы (линейного природного полимера-полисахарида с общей формулой $(C_6H_{10}O_5)_n$ или $[C_6H_7O_2(OH)_3]_n$), в частности микрокристаллическая целлюлоза (МКЦ) [13–16].

МКЦ – это продукт химической деструкции фибриллярной структуры частиц исходной целлюлозы (чаще всего хлопковой и древесной), который образуется в результате разрушения отдельных элементов целлюлозных волокон (аморфных прослоек), играющих роль связок между фибриллами.

Микрокристаллическая целлюлоза представляет собой белое сыпучее порошкообразное вещество с удельной поверхностью в сухом состоянии 3,5–4,5 м²/г, состоящее из частиц в виде агрегатов иглоподобных микрокристаллитов целлюлозы, деструктированной до предельной степени полимеризации, величина которой для хлопковой МКЦ составляет 200–300, для древесной МКЦ – 120–280 [13–16].

Характерной особенностью МКЦ, имеющей высокоразвитую гидрофильную поверхность с большим числом активных гидроксильных групп, является ее способность при взаимодействии с водой набухать, диспергироваться и об-

разовывать относительно устойчивые тиксотропные гидрогели, обладающие водоудерживающими свойствами.

Высокая химическая чистота и физиологическая инертность в сочетании с другими ценными качествами (химическая стойкость, нерастворимость в воде и органических растворителях, отсутствие запаха и цвета) определяют широкое применение МКЦ в качестве наполнителя, стабилизатора и эмульгатора в пищевой, косметической и фармацевтической промышленности [13–16].

В строительной отрасли МКЦ используют, в основном, в качестве наполнителя в производстве пластических масс, керамических огнеупоров и фарфора, стабилизатора водных красок и различных эмульсий. При этом существует необходимость в изучении влияния МКЦ, как водоудерживающей добавки, на свойства строительных материалов, в том числе гипсовых.

Целью работы является исследование влияния МКЦ на консистенцию, сроки схватывания, прочность, среднюю плотность, водостойкость и структуру строительного гипса.

Методика. При проведении исследования использовались следующие материалы:

- нормальнотвердеющий строительный гипс марки по прочности Г-2 (ЗАО «Самарский гипсовый комбинат», г. Самара);

- пищевая хлопковая МКЦ в виде сухого вещества с удельной поверхностью частиц $3,5 \text{ м}^2/\text{г}$, степенью полимеризации 250 (ЗАО «Эвалар», г. Бийск).

Консистенция гипсового теста (ГТ) определялась по диаметру расплыва ГТ на вискозиметре

Суттарда; сроки схватывания – по глубине погружения иглы прибора Вика в ГТ стандартной консистенции; прочность – по пределу прочности при сжатии половинок образцов-балочек размерами $4 \times 4 \times 16 \text{ см}$, изготавливаемых из ГТ стандартной консистенции и испытываемых через 2 ч после контакта гипса с водой; средняя плотность и водостойкость – по отношению массы к объему и по коэффициенту размягчения половинок балочек, предварительно высушенных до постоянной массы при температуре $50 \text{ }^\circ\text{C}$.

Пробы гипсового теста с микрокристаллической целлюлозой приготавливались в следующей последовательности: добавление в воду микродоз МКЦ (в количестве от $1,7 \times 10^{-4}$ до $18,7 \times 10^{-4} \%$ от массы вяжущего), первичное перемешивание, засыпка гипса, вторичное перемешивание.

Количество воды, необходимое для получения контрольных проб ГТ стандартной консистенции, составляло 63 %, а модифицированных – 54 %.

Анализ влияния МКЦ на структуру строительного гипса проводился методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) сколов образцов гипсового камня (ГК) с помощью микроскопа SUPRA 25-30-34.

Основная часть. Результаты испытаний показали, что консистенция гипсового теста при введении МКЦ изменяется экстремально (рис. 1).

При повышении количества МКЦ от $1,7 \times 10^{-4}$ до $11 \times 10^{-4} \%$ диаметр расплыва ГТ увеличивается от 156 до 180 мм, то есть на 15 %.

Последующее повышение количества МКЦ от 11×10^{-4} до $18,7 \times 10^{-4} \%$ приводит к уменьшению диаметра расплыва ГТ на 19 % (от 180 до 146 мм).

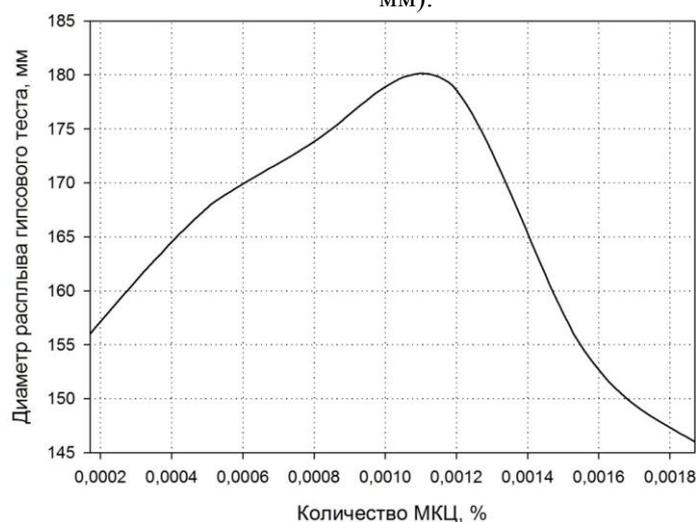


Рис. 1. Зависимость консистенции гипсового теста от количества МКЦ

Изменение прочности на сжатие гипсового камня с добавкой МКЦ также носит экстремальный характер (рис. 2).

Минимумы предела прочности при сжатии

(1,7 и 3,8 МПа) наблюдаются при количествах МКЦ, равных 7×10^{-4} и $17 \times 10^{-4} \%$, а максимумы (1,9 и 4,3 МПа) – при $4,5 \times 10^{-4}$ и $13 \times 10^{-4} \%$ соответственно.

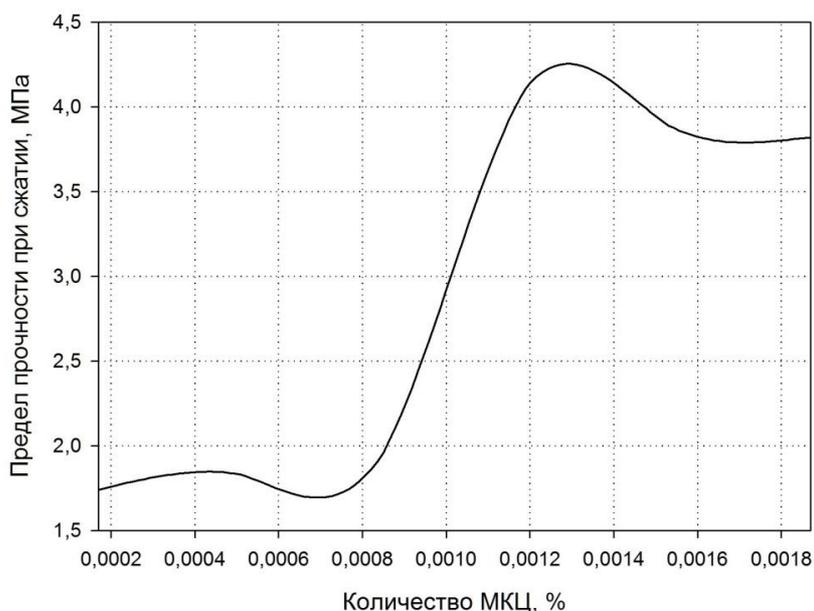


Рис. 2. Зависимость прочности на сжатие гипсового камня от количества МКЦ

Оптимальным количеством МКЦ, с точки зрения получения гипсового теста стандартной консистенции (диаметр расплыва составляет 178 мм) и максимального повышения прочности на сжатие гипсового камня (предел прочности при сжатии равен 4,1 МПа), является 12×10^{-4} % от массы гипса.

Анализ влияния МКЦ на свойства строительного гипса показал, что его водопотребность снижается в 1,2 раза (от 63 до 54 %) при сохранении стандартной консистенции гипсового теста.

При этом сроки схватывания ГТ сокращаются: начало от 14 до 10 мин, конец от 16 до 13 мин. Средняя плотность гипсового камня увеличивается от 1343 до 1374 кг/м³. Предел прочности при изгибе ГК повышается в 1,8 раза (от 1,5 до 2,7 МПа), при сжатии – в 1,5 раза (от 2,8 до 4,1 МПа), а коэффициент размягчения возрастает в 1,2 раза (от 0,59 до 0,71) (табл. 1).

Таблица 1

Свойства строительного гипса

Состав	Гипсовое тесто			Гипсовый камень			
	Диаметр расплыва, мм	Сроки схватывания, мин		Средняя плотность в сухом состоянии, кг/м ³	Предел прочности через 2 ч, МПа		Коэффициент размягчения
		начало	конец		при изгибе	при сжатии	
без МКЦ, В/Г = 0,63	178	14	16	1343	1,5	2,8	0,59
с 12×10^{-4} % МКЦ, В/Г = 0,54	178	10	13	1374	2,7	4,1	0,71

Кроме того, МКЦ положительно влияет на изменение прочности гипсового камня в зависимости от времени хранения (рис. 3).

Так, предел прочности при сжатии ГК через 1 сутки повышается от 5,2 до 6,7 МПа (на 29 %), через 3 суток – от 10,9 до 14,3 МПа (на 31 %), через 7 суток – от 12,7 до 17,5 МПа (на 38 %), через 28 суток – от 17,1 до 19,6 МПа (на 15 %).

Результаты РЭМ показали, что структура ГК контрольного состава представлена удлиненными пластинчатыми кристаллами двуводрата сульфата кальция, которые имеют между собой

точечные связи (рис. 4, а).

Кроме того, кристаллы двуводрата сульфата кальция в контрольных образцах ГК характеризуются наличием межконтактных полостей, в которые, по данным В.Ф. Коровякова [17], может проникать вода, ослабляя связи, что приводит к значительному снижению прочности и водостойкости строительного гипса.

В то же время, МКЦ способствует уплотнению пространства между кристаллогидратами двуводного гипса (рис. 4, б).

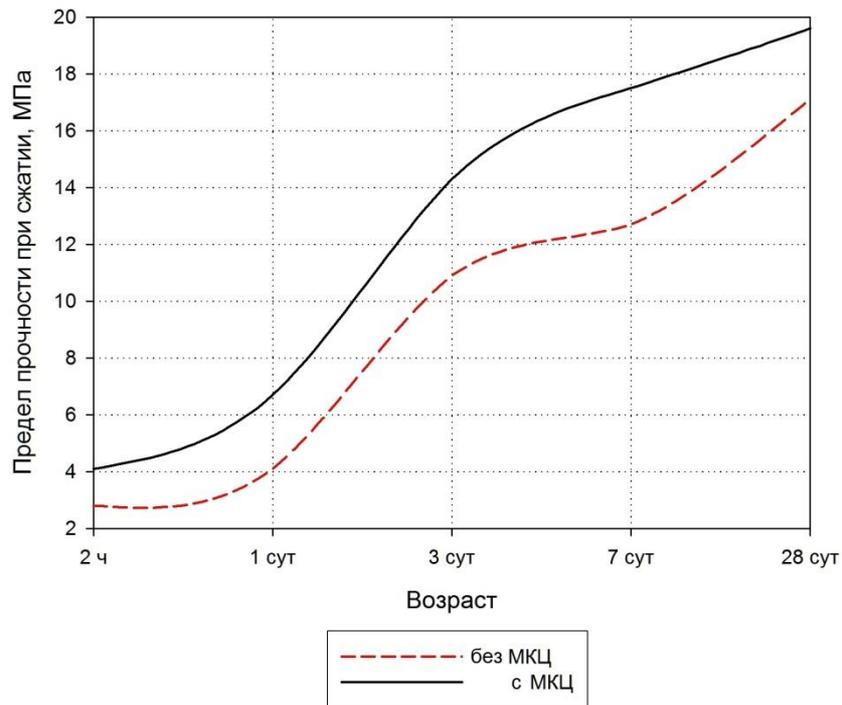


Рис. 3. Изменение прочности на сжатие гипсового камня в зависимости от времени хранения

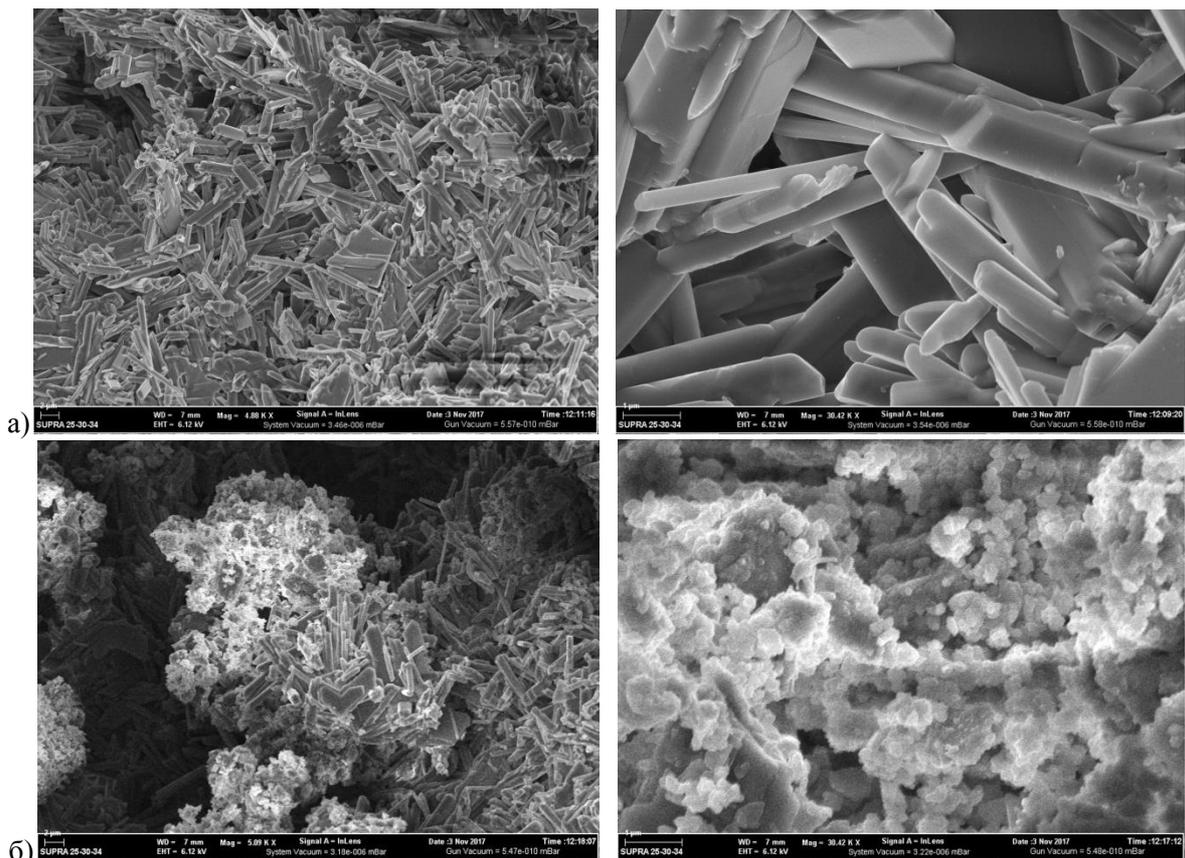


Рис. 4. Структура гипсового камня: а – без МКЦ; б – с МКЦ

Выводы. На основании выполненных исследований выявлен характер влияния тонкодисперсной микрокристаллической хлопковой целлюлозы на консистенцию, сроки схватывания, прочность, среднюю плотность, водостойкость и

структуру строительного гипса, а также определена оптимальная дозировка добавки (12×10^{-4} % от массы гипса). Установлено, что микрокристаллическая целлюлоза позволяет снизить водопотребность строительного гипса в 1,2 раза, со-

кратить сроки схватывания гипсового теста, повысить прочность (на изгиб в 1,8 раза, на сжатие в 1,5 раза) и коэффициент размягчения (в 1,2 раза) гипсового камня. Улучшение свойств строительного гипса с микрокристаллической целлюлозой обусловлено ускорением процесса гидратации полуводного гипса за счет водоудерживающей способности добавки, а также уплотнением пространства между кристаллогидратами двуводного гипса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гордина А.Ф., Яковлев Г.И., Полянских И.С., Керене Я, Фишер Х.-Б., Рахимова Н.Р., Бурьянов А.Ф. Гипсовые композиции с комплексными модификаторами структуры // Строительные материалы. 2016. № 1–2. С. 90–95.
2. Токарев Ю.В., Гинчицкий Е.О., Гинчицкая Ю.Н., Гордина А.Ф., Яковлев Г.И. Влияние комплекса добавок на свойства и структуру гипсового вяжущего // Строительные материалы. 2016. № 1–2. С. 84–89.
3. Потапова Е.Н., Исаева И.В. Влияние добавок на водостойкость гипсового вяжущего // Сухие строительные смеси. 2012. № 5. С. 38–41.
4. Лукутцова Н.П., Пыкин А.А. Теоретические и технологические аспекты получения микро- и нанодисперсных добавок на основе шунгитосодержащих пород для бетона. Монография. Брянск: БГИТА, 2014. 216 с.
5. Lukutsova N.P., Pykin A.A. Stability of nanodisperse additives based on metakaolin // Glass and Ceramics. 2015. № 11–12. С. 383–386.
6. Lukutsova N., Pykin A., Kleymenicheva Y., Suglobov A., Efremochkin R. Nano-additives for composite building materials and their environmental safety // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Т. 11. № 11. С. 7561–7565.
7. Филиппова К.Е., Кулаковский В.А., Лукина Ю.Ю. Влияние цеолитсодержащей добавки на сроки схватывания и водостойкость гипсовых вяжущих веществ // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 8. С. 38–41.
8. Халиуллин М.И., Рахимов Р.З., Гайфуллин А.Р. Состав и структура камня композиционного гипсового вяжущего с добавками извести и молотой керамзитовой пыли // Вестник МГСУ. 2013. № 12. С. 109–117.
9. Сегодня Д.Н., Потапова Е.Н. Гипсоцементно-пуццолановое вяжущее с активной минеральной добавкой метакаолин // Успехи в химии и химической технологии. 2014. № 8 (157). С. 77–79.
10. Изряднова О.В., Яковлев Г.И., Полянских И.С., Фишер Х.-Б., Сеньков С.А. Изменение морфологии кристаллогидратов при введении ультра- и нанодисперсных модификаторов структуры в гипсоцементно-пуццолановые вяжущие // Строительные материалы. 2014. № 7. С. 25–27.
11. Чернышева Н.В. Использование техногенного сырья для повышения водостойкости композиционного гипсового вяжущего // Строительные материалы. 2014. № 7. С. 53–56.
12. Чернышева Н.В., Лесовик В.С., Дребезгова М.Ю. Водостойкие гипсовые композиционные материалы с применением техногенного сырья. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. 320 с.
13. Аутлов С.А., Базарнова Н.Г., Кушнир Е.Ю. Микрокристаллическая целлюлоза: структура, свойства и области применения (обзор) // Химия растительного сырья. 2013. № 3. С. 33–41.
14. Алешина Л.А., Гуртова В.А., Мелех Н.В. Структура и физико-химические свойства целлюлоз и нанокмпозитов на их основе. Монография. Петрозаводск: ПетрГУ, 2014. 240 с.
15. Heinze T. Cellulose: structure and properties // Advances in polymer science. 2015. Т. 271. С. 1–52.
16. Zhao Y., Moser C., Lindström M.E., Henriksson G., Li J. Cellulose nanofibers from softwood, hardwood, and tunicate: preparation-structure-film performance interrelation // Acs applied materials & interfaces. 2017. Т. 9. № 15. С. 13508–13519.
17. Коровяков В.Ф. Модифицирование свойств гипсовых вяжущих органоминеральным модификатором // Сухие строительные смеси. 2013. № 3. С. 15–17.

Информация об авторах

Пыкин Алексей Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных конструкций.

E-mail: alexem87@yandex.ru

Брянский государственный инженерно-технологический университет.

Россия, 241037, г. Брянск, проспект Станке Димитрова, д. 3.

Лукутцова Наталья Петровна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства строительных конструкций.

E-mail: natluk58@mail.ru

Брянский государственный инженерно-технологический университет.

Россия, 241037, г. Брянск, проспект Станке Димитрова, д. 3.

Лукаш Александр Андреевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии деревообработки.

E-mail: mr.luckasch@yandex.ru

Брянский государственный инженерно-технологический университет.

Россия, 241037, г. Брянск, проспект Станке Димитрова, д. 3.

Ласман Ирина Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных конструкций.

E-mail: i.lasman@mail.ru

Брянский государственный инженерно-технологический университет.

Россия, 241037, г. Брянск, проспект Станке Димитрова, д. 3.

Головин Сергей Николаевич, студент кафедры производства строительных конструкций.

E-mail: s.n.golovin@mail.ru

Брянский государственный инженерно-технологический университет.

Адрес: Россия, 241037, г. Брянск, проспект Станке Димитрова, д. 3.

Тугай Татьяна Сергеевна, студент кафедры производства строительных конструкций.

E-mail: tania.tugay@yandex.ru

Брянский государственный инженерно-технологический университет.

Россия, 241037, г. Брянск, проспект Станке Димитрова, д. 3.

Поступила в августе 2017 г.

© Пыкин А.А., Лукутцова Н.П., Лукаш А.А., Ласман И.А., Головин С.Н., Тугай Т.С., 2017

**Pykin A.A., Lukutsova N.P., Lukash A.A., Lasman I.A., Golovin S.N., Tugay T.S.
PROPERTIES AND STRUCTURE OF THE BUILDING GYPSUM WITH MICROCRYSTALLINE
CELLULOSE**

The results of the investigation of the effect of fine microcrystalline cellulose (MCC) on consistency, setting time, strength, average density, water resistance and structure of gypsum are presented. It has been experimentally established that the MCC leads to a reduction in the water demand (by 1.2 times) of the construction gypsum while maintaining the standard consistency, reducing the timing of the setting of the gypsum dough, and also increasing the strength (for bending by 1.8 times, for compressing by 1.5 times) and softening factor (1.2 times) of gypsum stone. The results obtained are a consequence of the acceleration of the process of hydration of the building gypsum due to the water-retaining capacity of the MCC, and also the compaction of the space between the crystalline hydrates of the two-water gypsum.

Keywords: *building gypsum, microcrystalline cellulose, consistency, setting time, strength, water resistance, structure*

Information about the authors

Pykin Alexey Alekseyevich, PhD, Assistant professor.

E-mail: alexem87@yandex.ru.

Bryansk Technological University of Engineering.

Russia, 241037, Bryansk, st. Stanke Dimitrova, 3.

Lukutsova Natalya Petrovna, PhD, Professor.

E-mail: natluk58@mail.ru.

Bryansk Technological University of Engineering.

Russia, 241037, Bryansk, st. Stanke Dimitrova, 3.

Lukash Alexander Andreevich, PhD, Assistant professor.

E-mail: mr.luckasch@yandex.ru.

Bryansk Technological University of Engineering.

Russia, 241037, Bryansk, st. Stanke Dimitrova, 3.

Lasman Irina Aleksandrovna, PhD, Assistant professor.

E-mail: i.lasman@mail.ru.

Bryansk Technological University of Engineering.

Russia, 241037, Bryansk, st. Stanke Dimitrova, 3.

Golovin Sergey Nikolaevich, Bachelor student.
E-mail: s.n.golovin@mail.ru.
Bryansk Technological University of Engineering.
Russia, 241037, Bryansk, st. Stanke Dimitrova, 3.

Tugay Tatyana Sergeyevna, Bachelor student.
E-mail: tania.tugay@yandex.ru.
Bryansk Technological University of Engineering.
Russia, 241037, Bryansk, st. Stanke Dimitrova, 3.

Received in August 2017

© Pykin A.A., Lukuttsova N.P., Lukash A.A., Lasman I.A., Golovin S.N., Tugay T.S., 2017

Сулейманова Л.А., д-р техн. наук, проф.,
Погорелова И.А., канд. техн. наук, доц.,
Марушко М.В., аспирант,
Огнев Н.В., студент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ВИБРОВАКУУМИРОВАННЫЕ ГИПСОСОДЕРЖАЩИЕ КОМПОЗИТЫ

ludmilasuleimanova@yandex.ru

Пористую структуру бетона можно получить не только за счет выделения газа, но и, как следует из уточненного уравнения Рэлея-Плессета, за счет фактора внешнего давления. Вибровакуумный способ поризации формовочных смесей позволяет получать обширную гамму эффективных строительных материалов с пористой структурой, одним из которых является поризованный гипсобетон.

Ключевые слова: вибровакуумирование, ячеистые бетоны, пористая структура, поризованный гипсобетон, гипсосодержащие композиты.

Ячеистые бетоны традиционно получают с использованием газообразователя (газобетон) или пенообразователя (пенобетон), причем повышенного его количества. Однако пористую структуру бетона можно получить не только за счет выделения газа, но и, как следует из уточненного уравнения Рэлея-Плессета (1), за счет фактора внешнего давления [1–3].

$$P_{\Gamma} + P_{\Pi} = P_a + P_{cm} + \rho_{cm} \left(R\ddot{R} + \frac{3}{2} \dot{R}^2 \right) + \frac{2\sigma}{R} + \frac{4\eta\dot{R}}{R} + P_{изб} \quad (1)$$

В уравнении (1) P_{Γ} и P_{Π} давление в газовой фазе поры соответственно водорода и водяного пара. Давление в жидкой фазе представлено в виде суммы атмосферного давления P_a и избыточного давления над смесью $P_{изб}$. Для промышленно применяемых технологий $P_{изб} = 0$ и процесс газообразования протекает в смеси при атмосферном давлении. При вакуумировании воздушного пространства над смесью $P_{изб}$ имеет отрицательную величину, что является предметом отдельного рассмотрения.

Гидростатическое давление смеси P_{cm} :

$$P_{cm} = \rho_{cm} \cdot g \cdot H, \quad (2)$$

где ρ_{cm} принята равной 1800 кг/м³; H – высота смеси над порой, м.

Давление, обусловленное инерционным сопротивлением смеси P_u :

$$P_u = \rho_{cm} \left(R\ddot{R} + \frac{3}{2} \dot{R}^2 \right). \quad (3)$$

Капиллярное давление P_K :

$$P_K = \frac{2\sigma}{R}, \quad (4)$$

где σ – поверхностное натяжение жидкой фазы в смеси, принимаемое равным величине поверхностного натяжения воды.

Давление, вызванное вязкостным сопротивлением смеси P_{η} :

$$P_{\eta} = 4\eta \frac{\dot{R}}{R}, \quad (5)$$

где η – вязкость ячеистобетонной смеси.

Установлена взаимосвязь между давлением газовой фазы в формовочной массе с ее реологическими и гравитационными свойствами, диаметром пор, давлением внешней среды и поверхностным натяжением раствора при различных внешних воздействиях на формовочную смесь.

Одним из способов вспучивания вязких композиций является снижение давления ($P_{изб}$) воздуха над смесью или вспучивание смеси в вакууме. Уменьшение давления над смесью обеспечивает расширение газовой поры с компенсацией сил тяжести и инерции, Лапласа и вязкости в соответствии с уточненным уравнением Рэлея-Плессета (1). Это реализовано в разработанной вакуумной технологии формирования пористой структуры ячеистого бетона.

Определяющая роль давления над поризуемой смесью при формировании ячеистой структуры композита достигается за счет его снижения до уровня вакуума, соответствующего 0,06...0,095 МПа.

При вспучивании вязких смесей с низким водовязущим отношением наряду с вакуумом возможны динамические воздействия на смесь, снижающие значимость сил вязкости.

Совместное воздействие вакуума и вибрации реализовано в разработанной вибровакуумной технологии формирования пористой структуры ячеистого бетона.

Вибровакуумный способ поризации формовочных смесей позволяет получать обширную гамму строительных материалов с пористой структурой, в частности получать и поризованный гипсобетон [4–6]. Сущность его заключается

в том, что если в формовочной массе содержатся зерна с заземленным в них в любой форме воздухом, то при создании вакуума над смесью этот воздух извлекается и поризует ее. При этом смесь вспучивается. Однако в процессе сдвигового деформирования вспучиваемой массы в ее структуре возникает множество локальных разрывов сплошности, которые фиксируются при твердении материала и существенно должны снижать его прочность и долговечность. Поэтому с целью ликвидации структурной дефектности, возникающей при вспучивании, целесообразно смесь вибрировать в процессе вспучивания, что должно привести к снижению дефектности структуры и повышению прочности гипсобетона.

Исследования показывают, что указанные выше локальные разрывы сплошности устраняются лишь при вибрировании, параметры которого обеспечивают достижение минимального уровня вязкости системы, соответствующие разрыву всех коагуляционных контактов между частицами [7].

В исследованиях использовался строительный гипс β – модификации марки Г-6 со сроками начала и конца схватывания 4 и 0 минут. Формовались кубы размером $10 \times 10 \times 10$ см, которые твердели в естественных условиях, высушивались до постоянной массы и испытывались через 28 суток.

Режимы формования образцов:

– вакуумирование: после укладки смеси в форму, она помещалась в вакуумкамеру, в которой создавался заданный вакуум, и выдерживалась в вакууме до фиксации полученной структуры.

– вибровакуумирование: данный режим отличался тем, что во время увеличения вакуума в камере смесь подвергалась дополнительно вибрированию. После достижения необходимого вакуума вибрация прекращалась, а смесь выдерживалась в вакууме до фиксации структуры.

Результаты испытаний образцов поризованного гипсобетона по двум режимам представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Результаты испытания вакуумированного гипсобетона

№№ п/п	В/Г	Вакуум, МПа	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность на сжатие, МПа
1	0,4	0,06	903	3,75
2		0,065	918	2,6
3		0,07	900	2,6
4		0,075	824	3,2
5		0,08	830	1,2
6		0,085	760	1,6
7		0,09	722	1,4
8		0,095	688	0,89
9	0,5	0,06	851	2,0
10		0,065	805	1,8
11		0,07	780	1,7
12		0,075	775	1,6
13		0,08	737	1,5
14		0,085	722	1,2
15		0,09	647	0,69
16		0,095	629	0,55
17	0,6	0,06	764	0,88
18		0,065	707	1,06
19		0,07	720	0,99
20		0,075	707	0,78
21		0,08	693	0,57
22		0,085	664	0,9
23		0,09	630	0,44
24		0,095	567	0,24
25	0,7	0,06	698	0,69
26		0,065	678	0,85
27		0,07	691	0,31
28		0,075	633	0,63
29		0,08	766	3,32
30		0,085	748	2,7
31		0,09	697	1,28
32		0,095	648	1,41

Таблица 2

Результаты испытания вибровакуумированного гипсобетона

№№ п/п	В/Г	Вакуум, МПа	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность на сжатие, МПа
1	0,4	0,06	1012	13,1
2		0,065	1035	13,5
3		0,07	988	10,75
4		0,075	963	12,85
5		0,08	962	10,9
6		0,085	880	8,4
7		0,09	730	3,3
8		0,095	689	5,1
9	0,5	0,06	818	3,7
10		0,065	838	3,18
11		0,07	835	3,6
12		0,075	785	2,8
13		0,08	780	3,06
14		0,085	712	2,69
15		0,09	794	6,8
16		0,095	663	5,1
17	0,6	0,06	797	6,8
18		0,065	791	2,4
19		0,07	750	2,4
20		0,075	797	6,24
21		0,08	770	6,4
22		0,085	696	1,8
23		0,09	689	4,3
24		0,095	522	1,28
25	0,7	0,06	655	1,13
26		0,065	700	1,4
27		0,07	688	1,67
28		0,075	713	3,5
29		0,08	725	2,97
30		0,085	680	1,29
31		0,09	783	2,06
32		0,095	727	1,55

Результаты опытов со всей убедительностью подтверждают, что при прочих равных условиях вибрирование формовочной смеси во время вспучивания существенно повышает прочность гипсобетона. Так, например, при водогипсовом отношении В/Г = 0,4 и величине вакуума 0,07 МПа образцы, изготовленные без вибрирования, имели $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$, $R = 2,6 \text{ МПа}$, а приготовленные с вибрацией $\rho = 988 \text{ кг/м}^3$ и $R = 10,75 \text{ МПа}$; при вакууме 0,085 МПа композит имел следующие характеристики: $\rho = 880 \text{ кг/м}^3$, $R = 8,4 \text{ МПа}$, т.е. прочность кубов, полученных с применением вибрации, увеличилась в 3 и более раз.

Построены зависимости средней плотности и прочности поризованного гипсобетона от В/Г отношения при различных режимах формования образцов (рис. 1–4).

Анализ закономерностей изменения прочности и средней плотности отформованных при различных режимах образцов показывает, что если при формовании кубов не используется вибрация, то при повышении вакуума до 0,07 МПа с увеличением В/Г отношения снижается средняя плотность и прочность гипсобетона (рис. 1, 2). При более высоком вакууме (0,08 МПа и выше) до В/Г = 0,55...0,6 сохраняется такая же закономерность, а при более высоких значениях В/Г отношения наблюдается обратная картина. Особенно такая закономерность четко проявляется при изменении средней плотности, что объясняется тем, что при высоких значениях В/Г отношения и вакуума воздух, содержащийся с формовочной смеси, уже не удерживается ею и удаляется из массы, что естественно повышает плотность и прочность материала. Вязкость смеси в таких условиях достигает предельных значений, при которых масса уже не в состоянии удерживать газ и вспучиваться.

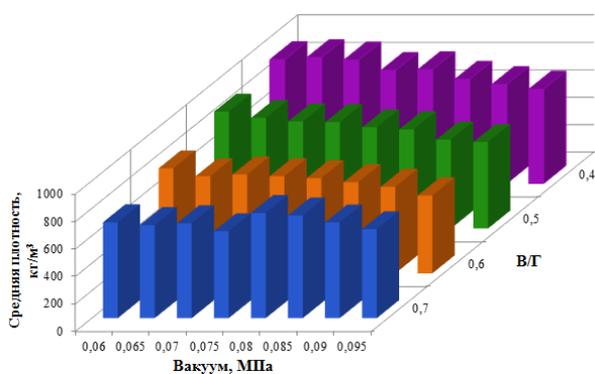


Рис. 1. Зависимость средней плотности вакуумированного гипсобетона от В/Г и величины вакуума

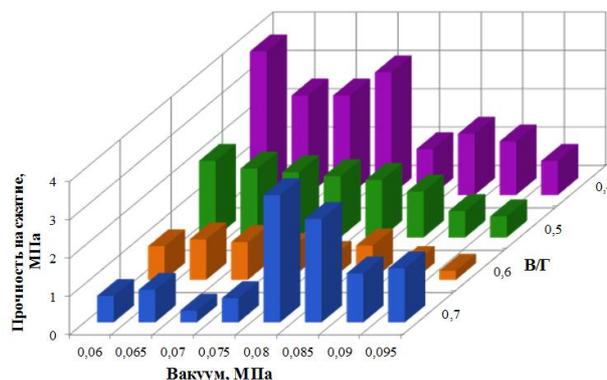


Рис. 2. Зависимость прочности на сжатие вакуумированного гипсобетона от В/Г и величины вакуума

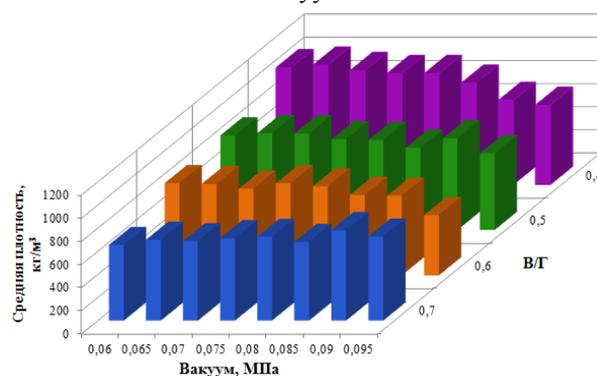


Рис. 3. Зависимость средней плотности вибровакuumированного гипсобетона от В/Г и величины вакуума

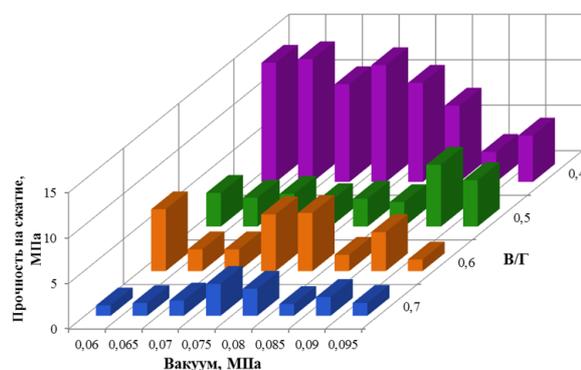


Рис. 4. Зависимость средней прочности на сжатие вибровакuumированного гипсобетона от В/Г и величины вакуума

В целом аналогичная закономерность наблюдается и при формовании образцов с применением вибрации. Однако, в этом случае вибрирование повышает воздухоудерживающую способность формовочной смеси и поэтому даже при вакууме, равном 0,08 МПа, воздух не удаляется из нее и с увеличением В/Г отношения средняя плотность четко, а прочность гипсобетона с колебаниями снижаются (рис. 3, 4). И только при высоком вакууме порядка 0,095 МПа и В/Г больше 0,6 воздух при вибровакuumировании

удаляется из смеси, что приводит к увеличению плотности и прочности материала.

Таким образом, установлены закономерности влияния В/Г отношения и режима формования образцов на их среднюю плотность и прочность на сжатие, что дает возможность определять оптимальные технологические параметры для получения наиболее эффективных поризованных гипсобетонов.

Отработаны эффективные вакуумная и вибровакуумная технологии получения газогипсовых композитов, основанные на теоретических результатах изучения системы «полуводный гипс-вода», поризация которой наиболее эффективна при использовании вяжущих с определенной морфологией сложно структурированной поверхности новообразований с заземленным и адсорбированным воздухом на поверхности частиц, так называемых адсорбционных центрах этого вяжущего [8–11]. В состав вяжущих с менее сложной структурированной поверхностью новообразований (гипсовые вяжущие α – модификации) целесообразно введение высокопористых компонентов, которые за счет дополнительно вовлеченного воздуха улучшают процесс вспучивания смеси, таких как перлитовая пудра – отход производства перлитового песка.

Поризация осуществляется без пено- и газообразователей за счет вакуумирования гипсовой смеси. При снижении атмосферного давления над поверхностью смеси, происходит увеличение количества пузырьков газовой фазы за счет имеющегося в системе воздуха в виде адсорбированного заземленного между частицами гипсового вяжущего, растворенного в воде и вовлеченного при ее перемешивании.

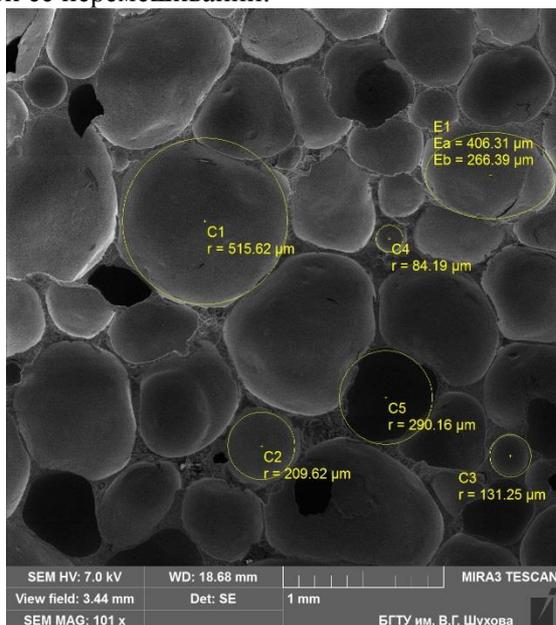


Рис. 5. Микроструктура порового пространства вибровакуумированного гипсобетона

Вибровакуумированный гипсобетон характеризуется улучшенной микроструктурой порового пространства (рис. 5.), с более ровной внутренней поверхностью пор и более плотным прилегающим к ней слоем, чем у вакуумированного гипсобетона, что и объясняет улучшенные физико-механические характеристики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сулейманова Л.А., Лесовик В.С. Газобетон неавтоклавного твердения на композиционных вяжущих. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. 304 с.
2. Сулейманова Л.А. Управление процессом формирования пористой структуры ячеистых бетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 2. С. 69–76.
3. Сулейманова Л.А. Вибровакуумированный ячеистый бетон. Белгород: Изд-во БГТУ, 1997. 130 с.
4. А.с. 1357400 (СССР) Способ изготовления ячеистых гипсобетонных изделий /Д.И. Гладков, А.Е. Грушевский, В.П. Балдин, С.А. Погорелов и др. Оpubл. 07.12.87; Бюл. № 45. С. 81.
5. Лесовик В.С., Гладков Д.И., Сулейманова Л.А. Способ изготовления ячеистобетонных изделий. Патент на изобретение RUS 2228264 29.05.2001.
6. Гладков Д.И., Дедурина Е.А., Сулейманова Л.А., Тысячук В.В., Калашников А.В. Способ получения ячеистых бетонов. Патент на изобретение RUS 2137600 07.05.1998.
7. Урьев Н.Б. Взаимосвязь контактных взаимодействий и структурно-реологических свойств цементных паст, растворных и бетонных смесей. Реология бетонных смесей и ее технологические задачи. Тезисы докладов IV Всесоюзного симпозиума в Юрмале, 1982. Рига, РПИ, 1982. 3–6 с.
8. Ферронская А.В. Эксплуатационные свойства бетонов на основе композиционного гипсового вяжущего // Строительные материалы. 1998. № 6. С. 34–36.
9. Гипсовые материалы и изделия. Справочник. Под общей ред. А.В. Ферронской. М.: Изд-во АСВ, 2004. 488 с.
10. Производство и применение гипсовых материалов и изделий. Терминологический словарь (основные термины и определения на русском и немецком языках). Под общей ред. А.В. Ферронской. М.: Изд-во АСВ, 2006. 263 с.
11. Коровяков В.Ф. Повышение эффективности гипсовых вяжущих и бетонов на их основе: диссертация ... доктора технических наук: 05.23.05. М., 2002. 367 с.

Информация об авторах

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

E-mail: ludmilasuleimanova@yandex.ru

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

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

Погорелова Инна Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства.

E-mail: innapogorelova@yandex.ru

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

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

Марушко Михаил Викторович, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства.

E-mail: 12michailmar@mail.ru

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

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

Огнев Никита Владиславович, студент кафедры строительства и городского хозяйства.

E-mail: ognev.nikita.vl@gmail.ru

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

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

Поступила в августе 2017 г.

© Сулейманова Л.А., Погорелова И.А., Марушко М.В., Огнев Н.В., 2017

Suleymanova L.A., Pogorelova I.A., Marushko M.V., Ognev N.V.
VIBRO-VACUUM GYPSIFEROUS COMPOSITES

Porous structure of concrete can be got not only by gassing, but also from correct Rayleigh–Plesset equation by factor of external pressure. Vibration-vacuum method of aeration of forming mixes allows to get wide gamma of effective building materials with porous structure, one of which is expanded gypsum concrete.

Keywords: *vibro-vacuum, aerated concretes, porous structure, expanded gypsum concrete, gypsum-containing composites.*

Information about the authors

Suleymanova Lyudmila Aleksandrovna, PhD, Professor

E-mail: ludmilasuleimanova@yandex.ru

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

Russia, 308012, Belgorod, Kostiuikovst. 46.

Pogorelova Inna Aleksandrovna, PhD, Assistant professor

E-mail: innapogorelova@yandex.ru

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

Russia, 308012, Belgorod, Kostiuikovst. 46.

Marushko Mikhail Viktorovich, Postgraduate student

E-mail: 12michailmar@mail.ru

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

Russia, 308012, Belgorod, Kostiuikovst. 46.

Ognev Nikita Vladislavovich, Bachelor student.

E-mail: ognev.nikita.vl@gmail.com

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

Russia, 308012, Belgorod, Kostiuikovst. 46.

Received in August 2017

© Suleymanova L.A., Pogorelova I.A., Marushko M.V., Ognev N.V., 2017

Кузнецова С.В., канд. техн. наук, доц.,
Ванькова Т.Е., ст. преп.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ОПТИМИЗАЦИЯ ОРТОТРОПНЫХ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ОБОЛОЧЕК, ПОДКРЕПЛЕННЫХ ПОПЕРЕЧНЫМИ РЕБРАМИ

wladfed@mail.ru

В статье рассмотрена задача весовой оптимизации стеклопластиковой многослойной круговой цилиндрической оболочки, подкрепленной поперечными ребрами и нагруженной гидростатическим давлением. В качестве физических ограничений приняты условия прочности, устойчивости и расслаивания. Для решения задачи прочности и устойчивости построены разрешающие уравнения на основе частично уточненной (итерационной) теории С.А. Амбарцумяна. Результаты весовой оптимизации оболочек, удовлетворяющие указанным ограничениям слоистых оболочек в условиях гидростатического давления получены с использованием метода обхода узлов пространственной сетки.

Ключевые слова: оптимизация, стеклопластиковые оболочки, прочность, устойчивость, уточненная теория построения уравнений.

Введение. Важное место в различных областях техники занимают стеклопластики. Вопросы применения их в различных областях современной техники широко освещены в работе [1]. Их принципиальные возможности выше чем у традиционных материалов, благодаря специфическим качествам, прежде всего благодаря возможности варьировать свойства материала за счет различной структуры.

Однако, дороговизна компонентов, составляющих композицию, сдерживает широкое применение композиционных материалов. Поэтому актуальными являются вопросы оптимального проектирования конструкций из композитного

материала. Обзор работ данного направления приведен в работах [2], [3], [4].

Постановка задачи оптимизации. Рассматривается задача весовой оптимизации стеклопластиковой многослойной круговой цилиндрической оболочки, подкрепленной поперечными ребрами, с некоторой погибью между ребрами, с клеевой прослойкой между ребром и оболочкой работающей в условиях внешнего давления и удовлетворяющей условиям прочности, устойчивости и расслаивания. В силу нелинейности функций ограничения она формулируется как задача нелинейного программирования.

В математической формулировке задача оптимального проектирования оболочки имеет вид:

$$G(x) \rightarrow \min;$$

$$x \in c = \{x | \varphi(x) \geq 0; \chi(x) \geq 0; \psi_j(x) \geq 0; |j = 1, 2, \dots, M\} \quad (1)$$

где $G(x)$ – целевая функция (вес оболочки); $\varphi(x)$ – обозначает совокупность всех геометрических ограничений; $\chi(x)$ – совокупность струк-

турных ограничений; $\psi_j(x)$ – семейство физических ограничений (предельных ограничений); M – количество физических ограничений.

Целевая функция определяется выражением:

$$G(x) = 2\pi L \left(\sum_{i=1}^k h_i \rho_i R_i \right) + 2\pi \left(R - h - \frac{h_p}{2} \right) h_p b_p \rho_p N \quad (2)$$

где L – длина оболочки; k – количество однонаправленных слоев; h_i – толщина i -го слоя; ρ_i – плотность материала i -го слоя; R_i – радиус средней поверхности i -го слоя; R – радиус наружной поверхности оболочки; h – высота ребра; b_p – ширина ребра; ρ_p – плотность материала ребра; N – количество поперечных ребер.

Вектор оптимизируемых параметров имеет вид:

$$\bar{x} = \{N, h_p, b_p, h_i, \beta_i, f_0\} \quad (3)$$

где β_i – угол намотки однонаправленного i -го слоя; f_0 – начальная погибь оболочки между ребрами.

Геометрические ограничения наложены на расстояние между ребрами из условия обеспечения местной устойчивости оболочки, на высоту,

ширину ребра и начальную погибь, определяемые конструктивными и эксплуатационными требованиями.

Структурные ограничения установлены для углов армирования исходя из возможностей технологии намотки.

Физические ограничения учитывают предъявляемые к проекту требования прочности, устойчивости и расслаивания.

Для определения деформативных свойств композиционного материала используется микромеханический, детерминированный подход. При этом механические характеристики композиции армированной среды выражаются через механические характеристики связующего и армирующего элементов и через коэффициент армирования. Упругие характеристики ортотропного элементарного слоя определяем по известным формулам теории армирования, полученным В.В. Болотиным [5].

Для оценки прочности каждого слоя принят критерий Мизеса-Хилла [6] для ортотропного слоя. Разрушение слоев не допускается. Условие прочности имеет вид:

$$1 - \left[\frac{\sigma_1^2}{F_1^2} - \frac{\sigma_1\sigma_2}{F_1^2} + \frac{\sigma_2^2}{F_2^2} + \frac{\tau_{12}^2}{F_{12}^2} \right] \geq 0 \quad (4)$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \tau_{12}$ – компоненты напряжений в осях слоя; F_1, F_2, F_{12} – соответствующие пределы прочности.

Для решения задачи используется статический критерий устойчивости.

Ограничение по устойчивости принято в виде:

$$q_{кр} / q - 1 \geq 0 \quad (5)$$

где $q_{кр}, q$ – критическая и эксплуатационная нагрузки.

Разрушение композита от расслаивания происходит от максимальных касательных напряжений, действующих в плоскости, перпендикулярной плоскости армирования вследствие разрушения связующего. Для последнего принимается условие прочности П.П. Баландина [7].

$$\sqrt{\frac{F_c^{CB} F_p^{CB}}{3}} / \tau_{\alpha\beta} - 1 \geq 0 \quad (6)$$

где F_c^{CB}, F_p^{CB} – пределы прочности связующего на сжатие и растяжение; $\tau_{\alpha\beta}$ – касательные напряжения в поперечном сечении.

Напряжённое состояние круговых цилиндрических оболочек, равномерно подкреплённых ребрами и нагруженных гидростатическим давлением. Рассматривается многослойная цилиндрическая оболочка кругового очертания, постоянной общей толщины h , собранная из произвольного числа ортотропных слоев h_i , различных по толщине в пакете слоев с модулями

упругости E_α, E_β соответственно в продольном и кольцевом направлениях. Исследования напряженно-деформированного состояния слоистых оболочек выполнены в работах [8], [9]. Вопросам расчета подкреплённых оболочек посвящены работы [10], [11]. В нашем случае оболочка равномерно подкреплена поперечными ребрами прямоугольного сечения с модулями упругости E_p и имеет погибь f_0 . Задача решается на основе частично уточненной (итерационной) теории С.А. Амбарцумяна [12]. Модуль сдвига для пакета в целом определяется следующим соотношением:

$$G_{ar} = \frac{\sum G_{ar}^i h_i}{h} \quad (7)$$

где G_{ar}^i, h_i – модуль поперечного сдвига и толщина слоя соответственно.

Деформация поперечного сдвига для пакета в целом определяется такой зависимостью:

$$e_{ar} = \frac{1}{2G_{ar}} \left(\frac{h^2}{4} - \gamma^2 \right) \varphi \quad (8)$$

где φ – функция поперечного сдвига.

Для конструктивного прогиба оболочки между ребрами принято следующее выражение:

$$\omega_0 = -\frac{4\alpha f_0}{d^2} (d - \alpha) \quad (9)$$

где d – расстояние между ребрами, f_0 – стрела подъема.

Синтезирующее уравнение осесимметричной деформации приводится к виду:

$$A \frac{d^4 \omega}{d\alpha^4} + B \frac{d^2 \omega}{d\alpha^2} + C \omega = D \quad (10)$$

где A, B, C, D – постоянные коэффициенты.

Коэффициент D включает начальную погибь f_0 .

Общий интеграл синтезирующего уравнения включает в себя четыре произвольные постоянные, для определения которых используются граничные условия опирания оболочки на ребро в середине оболочки. Здесь можно считать, что все участки оболочки между ребрами находятся в одинаковых условиях. Поэтому, для одного участка оболочки получаем такие условия опирания ребра:

$$\text{при } \alpha = 0; \frac{d\omega}{d\alpha} = 0; \omega_{об} = \omega_p \quad (11)$$

$$\text{при } \alpha = \alpha/2; \frac{d\omega}{d\alpha} = 0; Q_{ar} = 0.$$

После определения произвольных постоянных, находим ω . В дальнейшем определяем напряжения σ_α и σ_β .

В данной работе выполнены исследования влияния на напряженно-деформированное состояние и прочность оболочки учёта поперечного

сдвига и членов порядка h/R по сравнению с единицей. Определена структура пакета слоев, обеспечивающая максимум прочности по критерию Мизеса-Хилла. Проведены исследования влияния конструктивного прогиба между ребрами на напряженно-деформированное состояние и прочность оболочки. Расчеты проведены для подкрепленных одно-, двух- и трехслойных оболочек со следующими характеристиками:

- длина оболочки $L = 3000$ мм;
- радиус $R = 400$ мм;
- толщина стенки оболочки $h = 18$ мм;
- число ребер $N = 4$;
- высота ребра $h_p = 40$ мм;
- ширина ребра $b_p = 10$ мм.

Как отмечено выше, для определения деформативных свойств композиционного материала используется микромеханический, детерминированный подход. Физические характеристики компонентов композиции, материала ребра и коэффициент армирования приняты следующие:

- модуль упругости стекловолокна $E' = 70000$ МПа;
- модуль упругости связующего $E'' = 4000$ МПа;
- коэффициент Пуассона стекловолокна $\nu' = 0,2$;
- коэффициент Пуассона связующего $\nu'' = 0,4$;
- модуль сдвига стекловолокна $G' = 30000$ МПа;
- модуль сдвига связующего $G'' = 15000$ МПа;
- объемный коэффициент армирования $\mu = 0,7$.

Характеристики материала ребра приняты следующие:

- модуль упругости $E_p = 35000$ МПа;
- модуль сдвига $G_p = 6000$ МПа.

Прочностные характеристики материала слоя взяты следующие:

- пределы прочности $F_1 = 200$ Мпа, $F_2 = 150$ Мпа, $F_{12} = 70$ МПа.

Модули поперечного сдвига приняты $G_{13} = G_{23} = 5000$ МПа.

Исследования показали, что учет в расчетах членов порядка h/R практически не сказывается на напряжениях, но отличия в напряжениях для уточненной и классической теорий значительны. Так отдельных случаях напряжения, подсчитанные по классической теории на 29 % ниже полученных по частично уточненной теории. Учет сдвига приводит к повышению напряжений σ_α на 12 %.

Исследования напряжений σ_β и перемещений ω показали, что они практически не меня-

ются при учете членов порядка h/R . Также не сказывается на величинах σ_β и ω учет поперечного сдвига по частично уточненной теории. Что касается значений критерия прочности по Мизесу-Хиллу, то они меняются в основном за счет напряжений σ_α .

Исследование структуры пакета слоев оболочки, обеспечивающего максимум прочности по критерию Мизеса-Хилла, проводилось для подкрепленных одно-, двух- и трехслойных оболочек, полученных криволинейной перекрестной намоткой. В исследованиях сохранялись общими длина оболочки L , радиус R , толщина пакета слоев h , величина гидростатического давления q , механические характеристики компонентов, составляющих композицию, коэффициент армирования слоев. Варьировалось число слоев, углы ориентации арматуры в слоях. Комбинации армирования слоев выполнялись для углов армирования от 0° до 90° с шагом 15° . Кольцевому армированию соответствовало 0° , продольному 90° . Наивысшая прочность оболочки достигается при углах армирования 0° – 9° . Однако, использование этих углов нецелесообразно, т.к. изделие, полученное кольцевой или близкой к ней намоткой может разрушиться от растрескивания связующего вследствие эффекта Пуассона. Поэтому, при проектировании слоистых оболочек, слои с кольцевым армированием следует располагать с внутренней стороны оболочки, а наружные слои выполнять перекрестной намоткой.

Рассмотрены участки оболочки, примыкающие к ребрам и расположенные между ними. Наиболее нагруженными являются участки между ребрами. Здесь значение критерия прочности на 20 %–30 % выше чем в месте примыкания к ребру. Во всех случаях прочность определяется участком оболочки, расположенным посередине между ребрами. Это обстоятельство вызывает необходимость конструирования круговых цилиндрических оболочек с некоторой погибью между ребрами. Исследования показали, что использование конструктивной погиби дает существенные, до 20 % дополнительные резервы прочности.

Устойчивость стеклопластиковых оболочек, подкрепленных поперечными ребрами с учетом клеевой прослойки между ребром и оболочкой. Рассматривается задача статической устойчивости цилиндрической, ортотропной, многослойной стеклопластиковой оболочки, подкрепленной поперечными ребрами, с клеевой прослойкой между ребрами и оболочкой и работающей в условиях внешнего давления. Вопросы устойчивости слоистых оболочек, подкрепленных ребрами посвящены работы [13], [14], [15].

Для решения задачи устойчивости использовались уравнения, построенные на базе уточненной теории слоистых оболочек С.А. Амбарцумяна [12], но при этом учитывалась деформация сдвига в поперечном направлении и дополнительная работа ребер при потере устойчивости.

1. В месте соединения оболочки с ребром возникают касательные напряжения τ_1 и τ_2 , действующие в продольном и поперечном направлениях соответственно. Величины этих напряжений зависят не только от общих размеров оболочки и ребра, но и от толщины и сдвиговой жесткости слоя, соединяющего ребро с оболочкой. Касательные напряжения τ_2 играют основную роль, т. к. действуют в направлении основной работы ребер при потере устойчивости.

С учетом действия τ_2 деформации в поперечном сечении представим зависимостями:

а) в оболочке:

- в пределах ребра

$$e_{yz} = \tau_2 \left(\frac{1}{2} - \frac{\gamma}{h} \right) \frac{1}{G_{23}} + \frac{1}{2} \left(\frac{h^2}{4} - \gamma^2 \right) \Phi_2(\alpha, \beta) \quad (12)$$

-вне ребра

$$e_{yz} = \frac{1}{2} \left(\frac{h^2}{4} - \gamma^2 \right) \Phi_2(\alpha, \beta) \quad (13)$$

$$e_{xz} = \frac{1}{2} \left(\frac{h^2}{4} - \gamma^2 \right) \Phi_1(\alpha, \beta) \quad (14)$$

б) в ребре:

$$e_{yz} = \tau_2 \left(\frac{1}{2} + \frac{\gamma_p}{h_p} \right) \frac{1}{G_p} + \frac{1}{2} \left(\frac{h_p^2}{4} - \gamma_p^2 \right) \Phi_2^p(\beta) \quad (15)$$

где G_{23} – приведенный модуль сдвига в поперечном направлении для всего пакета в целом; G_p – модуль сдвига ребра; γ, γ_p – координаты оболочки и ребра, отсчитываемые соответственно от

срединной поверхности оболочки и радиуса ребра; h, h_p – толщина оболочки, высота ребра; Φ_1, Φ_2 – функции, подлежащие определению.

Для определения τ_2 воспользуемся соотношением между интенсивностью сдвига и деформациями оболочки и ребра, установленными А.Р. Ржаницыным [16]:

$$\Delta \cdot \frac{d\tau}{d\beta} \cdot \frac{1}{G_c} = e_{\beta,c} R_c - e_{\beta,c}^p \cdot R_c \quad (16)$$

где Δ – толщина прослойки связующего между ребром и оболочкой; R_c – радиус стыка; G_c – модуль сдвига прослойки.

Используя выражение для перемещений в оболочке в пределах ребра, выражение для перемещений ребра с учетом неразрывности перемещений между ребром и оболочкой, зависимость (16) и соотношения для деформаций оболочки в пределах ребра и деформаций ребра получим выражение для τ_2 :

$$\tau_2 = \frac{P_1}{R} \cdot \frac{\partial \omega}{\partial \beta} + \frac{P_2 h^2}{8} \cdot \Phi_2(\alpha, \beta) \quad (17)$$

где P_1, P_2 – коэффициенты, учитывающие влияние прослойки между ребром и оболочкой.

2. Выражения деформаций получим из соотношений теории упругости в криволинейных координатах между деформациями и перемещениями.

Для оболочки в пределах ребра они учитывают коэффициенты P_1 и P_2 , вне ребра при $P_1 = P_2 = 0$ они совпадают с выражениями, приведенными в работе С.А. Амбарцумяна [12].

Деформации кольца записаны с учетом сдвига и касательных напряжений в месте стыка, при $P_1 = P_2 = \Phi_2 = 0$ они переходят в обычные зависимости для кругового кольца.

3. Напряжения в произвольном слое i находим с помощью обобщенного закона Гука для ортотропного тела:

$$\sigma_\alpha^i = B_{11}^i e_\alpha + B_{12}^i e_\beta; \tau_{\alpha\beta}^i = B_{66}^i e_{\alpha\beta}; \tau_{\beta\gamma}^i = G_{23}^i e_{\beta\gamma} + \tau_2 \left[\frac{1}{2} - \frac{\gamma_p}{h_p} \right] \quad (18)$$

$$\sigma_\beta^i = B_{12}^i e_\alpha + B_{22}^i e_\beta; \tau_{\alpha\gamma}^i = G_{13}^i e_{\alpha\gamma}; \tau_{\beta\gamma}^i = G_p e_{\beta\gamma}^p + \tau_2 \left[\frac{1}{2} - \frac{\gamma_p}{h_p} \right] \quad (19)$$

где

$$B_{11}^i = \frac{E_1^i}{1 - \nu_1^i \nu_2^i}; B_{12}^i = \frac{E_1^i \nu_2^i}{1 - \nu_1^i \nu_2^i} = \frac{E_2^i \nu_1^i}{1 - \nu_1^i \nu_2^i} \quad (20)$$

$$B_{22}^i = \frac{E_2^i}{1 - \nu_1^i \nu_2^i}; B_{66}^i = G_{12}^i \quad (21)$$

4. Внутренние усилия и моменты в оболочке и ребре имеют вид:

$$N_1 = \frac{1}{B} \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_\alpha \cdot H_2 d\gamma \quad (22)$$

$$N_2 = \frac{1}{B} \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_\beta \cdot H_1 d\gamma + \frac{1}{A^p} \int \sigma_\beta^p H_1^p d\gamma_p \cdot \frac{1}{a} \quad (23)$$

$$S_{12} = \frac{1}{B} \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \tau_{\alpha\beta} \cdot H_2 d\gamma; S_{21} = \frac{1}{A} \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \tau_{\alpha\beta} \cdot H_1 d\gamma \quad (24)$$

$$H_{21} = \frac{1}{A} \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \tau_{\alpha\beta} \cdot \gamma H_1 d\gamma; M_1 = \frac{1}{B} \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_{\alpha} \cdot H_2 d\gamma \quad (25)$$

$$M_2 = \frac{1}{A} \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_{\beta} \cdot \gamma H_1 d\gamma + \frac{1}{aA_p} \int_{F_p} \sigma_{\beta}^p H_1^p d\gamma - \frac{N_p}{2} (h + h_p) \frac{1}{a} \quad (26)$$

$$Q_1 = \frac{1}{A} \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \tau_{\beta\gamma} H_1 d\gamma + \frac{1}{A} \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \frac{\tau_2}{G_{23}} \left(\frac{1}{2} - \frac{\gamma}{h} \right) G_{23}^i H_1 d\gamma \cdot \frac{b_p}{a} + \frac{1}{A_p} \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \tau_2 \left(\frac{1}{2} - \frac{\gamma_p^i}{h_p} \right) H_1^p d\gamma_p \frac{b_p}{a} \quad (27)$$

$$H_{12} = \frac{1}{B} \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \tau_{\alpha\beta} \gamma H_2 d\gamma; Q_1 = \frac{1}{B} \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \tau_{\alpha\gamma} H_2 d\gamma \quad (28)$$

После интегрирования в выражениях для N_2 , S_{12} , M_2 , H_{21} слагаемые, связанные с Π_1 и Π_2 следует умножить на коэффициент $\frac{b_p}{a}$. При состав-

лении уравнений равновесия моментностью докритического состояния пренебрегаем, учитываем лишь мембранные усилия. Уравнения равновесия имеют вид:

$$\frac{\partial N}{\partial \alpha} + \frac{\partial S_{21}}{\partial \beta} - q \left[\frac{\partial^2 U}{\partial \beta^2} - \frac{\partial \omega}{\partial \alpha} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 U}{\partial \alpha^2} \right] = 0 \quad (29)$$

$$\frac{\partial N_2}{\partial \beta} + \frac{\partial S_{12}}{\partial \alpha} - Q_2 - q \left[\frac{\partial^2 v}{\partial \beta^2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial \alpha^2} + \frac{\partial \omega}{\partial \beta} \right] = 0 \quad (30)$$

$$\left[\frac{\partial Q_1}{\partial \alpha} + \frac{\partial Q_2}{\partial \beta} \right] + N_2 + q \left[\frac{1}{2} \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial \alpha^2} + \frac{\partial U}{\partial \alpha} - \frac{\partial v}{\partial \beta} + \omega \right] = 0 \quad (31)$$

$$\frac{\partial M_1}{\partial \alpha} + \frac{\partial H_{21}}{\partial \beta} = RQ_1 \quad (32)$$

$$\frac{\partial M_2}{\partial \beta} + \frac{\partial H_{12}}{\partial \alpha} = RQ_2 \quad (33)$$

К полученным уравнениям добавляются граничные условия.

5. Для определения критической нагрузки следует положить:

$$\omega = \omega(\alpha) \cos n\beta; u = u(\alpha) \cos n\beta; v = v(\alpha) \sin n\beta \quad (34)$$

$$\Phi_1 = \Phi_1(\alpha) \cos n\beta; \Phi_2 = \Phi_2(\alpha) \sin n\beta \quad (35)$$

При шарнирном опирании оболочки:

$$\omega(\alpha) = C \cdot \sin \frac{\pi R}{4} \alpha; u(\alpha) = A \cdot \cos \frac{\pi R}{4} \alpha; v(\alpha) = B \cdot \sin \frac{\pi R}{4} \alpha \quad (36)$$

$$\Phi_1(\alpha) = \Phi_1 \cdot \cos \frac{\pi R}{4} \alpha; \Phi_2(\alpha) = \Phi_2 \cdot \sin \frac{\pi R}{4} \alpha \quad (37)$$

Получаем систему алгебраических уравнений. Критическая нагрузка определяется как наименьшая из обращающих в нуль определитель системы.

Выполнена численная реализация данной задачи.

В работе проведено исследование структуры пакета слоев, обеспечивающего максимум критической нагрузки. Исследования производились на примере одно-, двух- трехслойных оболочек. Общая толщина во всех исследованиях сохранялась равной h . Размеры оболочек и физические характеристики компонентов композиции, материала ребра и коэффициент армирования приняты, как и для оболочек, рассмотренных при исследовании напряженно-деформированного состояния круговых цилиндрических оболочек, равномерно подкреплённых ребрами и нагружен-

ных гидростатическим давлением. Для однослойных оболочек углы армирования менялись от 0° до 90° с шагом 15° . Для двухслойных оболочек рассматривались всевозможные комбинации армирования слоев с шагом 15° . Для трехслойных рассматривались симметричные структуры с одинаковыми углами армирования в верхних и нижних слоях с шагом изменения угла 15° . Исследовалось влияние на $q_{кр}$ различных комбинаций армирования слоев от 0° до 90° . Кольцевому армированию соответствовало 0° , продольному 90° . В случае однослойных оболочек максимальная критическая нагрузка достигается при углах армирования от 0° до 15° (т.е. при армировании близком к кольцевому). Для двухслойных оболочек максимальная критическая нагрузка достигается при углах армирования верхнего слоя 15° (близко к кольцевому армированию) и нижнего

слоя 0° . Исследования трехслойных оболочек показали, что максимальная критическая нагрузка достигается при кольцевом армировании нижнего слоя и косом армировании других слоев оболочки (близких к кольцевому). Некоторые результаты исследований приведены в [17].

Разрушение композита от расслаивания.

Ввиду того, что касательные напряжения τ_{13} были значительно меньше напряжений σ_1 и σ_2 разрушения слоев оболочки от расслаивания по критерию П.П. Баландина [7] не происходило.

Весовая оптимизация оболочек. Для решения весовой оптимизации оболочки применялся метод покоординатного спуска. Отмечено, что уже при двух-трех внешних итерациях метод сходиллся, но решение являлось локальным. Для улучшения решения выполнялось несколько попыток при различных исходных векторах. Из полученных решений выбиралось наилучшее решение.

Для решения этой задачи также применен метод обхода узлов пространственной сетки [18]. Этот метод более прост в реализации и позволяет найти решение с точностью, вполне достаточной для решения практических задач. В этом методе область изменения варьируемых параметров (углы армирования оболочки, размеры ребер, количество ребер и т. д.) разбивается сеткой с заданным шагом по каждому параметру. Обход узлов начинается из точки, соответствующей нижним границам переменных. С учетом быстродействия современных вычислительных машин перебор всех узлов пространственной сетки не занимает много времени. При таком подходе к оптимизации получены наилучшие результаты.

Выводы. В работе получены разрешающие уравнения слоистых круговых цилиндрических оболочек на основе частично уточненной (итерационной) теории С.А. Амбарцумяна [12]. Уравнения построены с учетом поперечных сдвигов, членов порядка h/R , и учитывают конструктивную погибь между ребрами оболочки. Исследовано влияние поперечных сдвигов, членов h/R , конструктивной погиби на напряженно-деформированное состояние оболочки в условиях гидростатического давления. Определена структура пакета слоев, обеспечивающая максимальную прочность оболочки по критерию Мизеса-Хилла.

Получены уравнения устойчивости слоистых круговых цилиндрических оболочек на основе частично уточненной (итерационной) теории С.А. Амбарцумяна [12]. Уравнения учитывают сдвиги в поперечном направлении, дополнительную работу ребер при потере устойчивости и члены порядка h/R . На основе этих уравне-

ний определена структура пакета слоев, обеспечивающая максимальную критическую нагрузку при внешнем гидростатическом давлении.

Выполнена весовая оптимизация оболочек, удовлетворяющая условиям прочности, устойчивости и расслаиванию слоистых оболочек в условиях гидростатического давления. Использован метод обхода узлов пространственной сетки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Применение композиционных материалов в технике. Т.3. Под ред. Б. Нотона. М.: Изд-во Машиностроение, 1978. 511 с.
2. Васильев В.В. Оптимальное проектирование пластин и оболочек // Труды УИ Всесоюзной конференции по теории оболочек и пластин. М., 1969. С. 722–735.
3. Образцов И.Ф., Васильев В.В. Оптимальное проектирование пластин и оболочек из армированных пластмасс // Теория пластин и оболочек. М., 1971, С. 204–215.
4. Образцов И.Ф., Васильев В.В.А, Бунаков В.А. Оптимальное армирование оболочек вращения из композиционных материалов. М.: Изд-во Машиностроение, 1977. 144 с.
5. Прочность, устойчивость, колебания. Т.2. Под общ. Ред. И.А. Биргера, Я.Г. Пановко. М.: Изд-во Машиностроение, 1968. 464 с.
6. Анализ и проектирование конструкций. Под ред. К. Чамиса. М.: Изд-во Машиностроение, 1978. 344 с.
7. Баландин П.П. К вопросу о гипотезах прочности. // Вестник инженеров и техников. 1937. № 1. С. 12–36.
8. Болотин В.В., Новичков Ю.Н. Механика многослойных конструкций. М.: Изд-во Машиностроение, 1980. 375 с.
9. Малмайстер А.К., Тамуж В.П., Тетерс Г.А. Сопrotивление полимерных и композиционных материалов. Рига: Изд-во Зинатне, 1980. 572 с.
10. Амиро И.Я., Заруцкий В.А. Теория ребристых оболочек. Т.2 Киев: Изд-во Наукова думка, 1980. 368 с.
11. Schall W. Krafteinleitung in versteifte Kreiszyylinder schalen. Т.2, Z.: Flugwiss, 1957.
12. Амбарцумян С.А. Общая теория анизотропных оболочек. М.: Изд-во Наука, 1974. 448 с.
13. Ванин Г.А., Семенюк Н.П., Емельянов Р.Ф. Устойчивость оболочек из армированных материалов. Киев: Изд-во Наукова думка, 1978. 212 с.
14. Тимашев С.А. Устойчивость подкрепленных оболочек. М.: Изд-во Стройиздат, 1974. 256 с.
15. Lakshmikantham C., Tsui T. Dynamic buckling of ring stiffened cylindrical shells // AIAA Journal. 1975. Vol. 13. № 9. Pp. 1165–1170.

16. Ржаницын А.Р. Составные стержни и пластинки. М.: Изд-во Стройиздат, 1986. 326 с.

17. Кузнецова С.В., Ванькова Т.Е., Федоровский В.И. Устойчивость стеклопластиковых оболочек, подкрепленных поперечными ребрами с учетом клеевой прослойки между ребром и оболочкой // Закономерности и тенденции развития науки в современном обществе. Сборник статей

Международной научно-практической конференции 1 ноября 2016 г. Уфа. С. 65–69.

18. Кузнецова С.В., Ванькова Т.Е., Федоровский В.И. Оптимизация стеклопластиковых оболочек // Новые информационные технологии в науке. Сборник статей Международной научно-практической конференции 1 ноября 2015 г. Уфа. С. 33–36.

Информация об авторах

Кузнецова Светлана Васильевна, кандидат технических наук, доцент кафедры начертательной геометрии и графики.

E-mail: wladfed@mail.ru

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

Ванькова Татьяна Ефимовна, старший преподаватель кафедры начертательной геометрии и графики.

E-mail: wladfed@mail.ru

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

Поступила в сентябре 2017 г.

© Кузнецова С.В., Ванькова Т.Е., 2017

Kuznetsova S.V., Vankova T.E.

OPTIMIZATION OF ORTHOTROPIC FIBER-GLASS TRAVERSE-RIBBED SHELLS

The article deals with the problem of weight optimization of a multilayered fiber-glass round cylindrical shell, reinforced with traverse ribs and loaded with hydrostatic pressure. As physical restrictions the strength, buckling and lamination conditions have been taken. To solve the problem of strength and buckling the resolving equations on the base of partially refined (iterational) theory by S.A. Ambartsumyan have been derived. The results of weight optimization of multilayered shells, meeting the above-mentioned restrictions in conditions of hydrostatic pressure have been obtained by using the spatial network nodes bypassing method.

Keywords: *optimization, fiber-glass shells, strength, buckling, refined theory of equations derivation.*

Information about the authors

Kuznetsova Svetlana Vasilyevna, Ph.D., Assistant professor.

E-mail: wladfed@mail.ru

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

Vankova Tatyana Efimovna, Assistant professor.

E-mail: wladfed@mail.ru

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

Received in September 2017

© Kuznetsova S.V., Vankova T.E., 2017

Авдяков Д.В., канд. техн. наук
Курский государственный университет

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КЛЕЕННЫХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ТРЕЩИНАМИ НОРМАЛЬНОГО ОТРЫВА

avd-77@mail.ru

В статье предложена методика, основанная на методах механики разрушения, и представлены результаты экспериментальных исследований, по оценке параметров силового сопротивления клееных деревянных конструкций с трещинами нормального отрыва.

Ключевые слова: силовое сопротивление, трещиностойкость, клееная древесина, трещина, механика разрушения.

Оценка параметров силового сопротивления клееных деревянных конструкций с трещинами нормального отрыва является важным этапом в процессе оценки ресурса безопасной работы конструкций из этого материала во время эксплуатации, поскольку учитывает влияние несовершенств структуры материала, дефектов и повреждений в виде трещин, имеющих как силовое, так и технологическое происхождение.

Использование в данном случае классической теории прочности весьма ограничено, так как в ней рассматриваются вопросы прочности и деформативности главным образом сплошных твердых тел. Для этой цели наиболее целесообразно применять аппарат механики разрушения, опирающийся на несколько критериев разрушения, среди которых наиболее часто используют силовой и энергетический

$$K_I \leq K_{IC}, G_I \leq G_{IC}, \quad (1)$$

где K_I и G_I – коэффициент интенсивности напряжений и интенсивность освобождения энергии, возникающие в вершине трещины от действия внешней нагрузки, а K_{IC} и G_{IC} – их критические значения, являющиеся постоянными характеристиками материала, определяемыми экспериментально.

На сегодняшний день существует несколько методик определения критической интенсивности освобождения энергии цельной древесины, но нет ни одной стандартизованной в нашей стране, аналогично и для клееной.

Так П. Густасон и Х. Ларсон предложили для европейских норм проектирования строительных конструкций (Eurocode 5) для цельной древесины использовать метод, основанный на испытании SENB-образцов [5]. В этом случае G_{IC} определяется как отношение площади диаграммы A «нагрузка P – деформация f » (см. рис. 1) к площади разрушающегося материала в плоскости развития трещины.

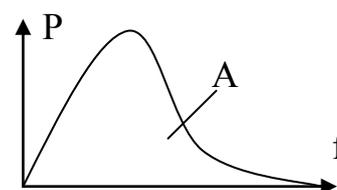


Рис. 1. Диаграмма «нагрузка-деформация» SENB-образцов

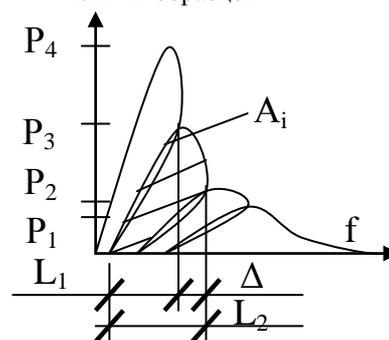


Рис. 2. Вычисление методом поэтапной разгрузки критической интенсивности освобождения энергии

Отрицательной стороной методики является то, что не каждая испытательная машина способна уловить ниспадающую ветвь диаграммы, особенно если геометрические размеры образца малы. Кроме того, для определения G_{IC} необходимо большое количество образцов из однородного материала, что весьма затруднительно для древесины, обладающей высокой вариативностью прочностных и деформативных характеристик.

Другой наиболее известный метод – метод поэтапной разгрузки образца состоит в том, что один и тот же образец несколько раз нагружается и разгружается [1]. В результате критическая интенсивность освобождения энергии определяется как отношение работы внешних сил (заштрихованная часть A_i) к приросту трещины $\Delta = L_2 - L_1$ (рис. 2).

Большой трудностью при реализации данного метода представляется определение длины и формы фронта трещины, а соответственно и

прироста, поскольку впрыскивание подкрашенной жидкости в вершину трещины, как это делается в металлических образцах, ведет к искажению результатов, из-за большой гигроскопичности древесины, а визуальная регистрация с помощью оптических приборов и метод акустической эмиссии не дают желаемой точности.

Метод податливости [1] основан на определении отношения перемещения берегов трещины к прикладываемой нагрузке, полученных экспериментально т.е.

$$C = \frac{\Delta f}{P_{fr}}, \quad (2)$$

где C – податливость образца; Δf – перемещение берегов трещины, равное перемещению захватов испытательной машины (при использовании СТ-образцов); P_{fr} – нагрузка, при которой трещина начинает расти.

Далее критическую интенсивность освобождения энергии определяют

$$G_{IC} = \frac{P_{fr}^2}{t} \cdot \frac{dC}{da}, \quad (3)$$

где t – толщина образца; dC/da – значение производной функции податливости C от длины искусственной трещины a .

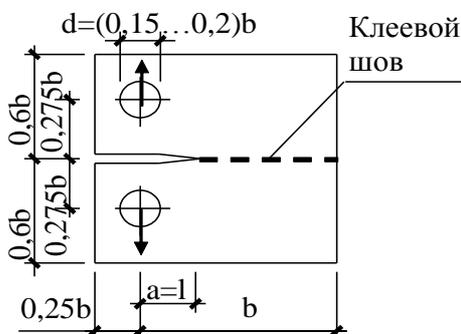


Рис. 3. Компактный образец на внецентренное растяжение

Недостатком метода податливости, как и в случае использования метода, предложенного для Eurocode 5, является применение относительно большого количества образцов. Однако относительная простота использования и нетребовательность к ресурсам испытательного оборудования дает на наш взгляд большое преимущество по сравнению с другими. Поэтому целью нашего исследования является определить возможность применения данного метода для определения критической интенсивности освобождения энергии нормального отрыва на основании испытаний компактных образцов на внецентренное нагружение (СТ-образцов) для дальнейшего

его использования при контроле трещиностойкости изделий и конструкций из клееной древесины в течение всего срока службы.

Поскольку при обследовании зданий и сооружений нередко возникает необходимость определять прочностные и деформативные характеристики материалов путем испытаний в лабораторных условиях малогабаритных образцов, вырезанных из менее всего нагруженных участков реальных конструкций, то СТ-образцы также были вырезаны из деревянных клееных балок (материал – сосна 2-го сорта, клей ФР-12), изготовленных в заводских условиях на ЭЗСК (г. Волоколамск). Толщина доски в клееном пакете составила 32 мм. Искусственную трещину (пропил) выполняли ножовкой по клеевому шву, не доводя ее на 2 мм до проектного значения, а затем на оставшееся расстояние заостряли ее с помощью специально изготовленного полотна толщиной 0,1 мм. Такая технология изготовления была использована для обеспечения наибольшей концентрации напряжений в вершине трещины.

Размеры образца назначили с учетом норм определения трещиностойкости изотропных материалов [6] (рис. 3), величина $b = 45$ мм. Ширину образцов, приняли исходя из условия создания плоского деформированного состояния в вершине трещины [1, 2, 3, 4] $t = 140$ мм.

Испытания провели для шести серий образцов с длиной начальной трещины $a = (0,2; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8)b$ или соответственно 9, 18, 23, 27, 32, 36 мм.

При проведении испытаний усилия на СТ-образцы передавались через вставленные в отверстия плотно прилегающие к древесине металлические цилиндры, закрепленные в захватах. В результате разрывная нагрузка P прикладывалась строго в заданных точках образца. При проведении эксперимента испытательная машина автоматически записывала диаграмму разрушения и определяла величину нагрузки в момент начала роста трещины и перемещение берегов трещины, равное перемещению захватов. Скорость нагружения принимали таким образом, чтобы время от начала приложения нагрузки до начала развития трещины было в пределах 2,5...3,5 мин [1]. Влажность образцов составила 10 %.

Практически во всех образцах трещина зарождалась в клеевом шве, а затем переходила в массив древесины. Разрушение по клеевому шву происходило только в том случае, когда наблюдалось ослабление клеевого соединения вследствие дефекта. Такие образцы исключали из общей выборки, как выпадающие.

Результаты испытаний, а также среднеквадратическое отклонение σ и коэффициент вариации γ разрушающих нагрузок P_{fr} и податливостей S показаны в таблице 1.

По данным таблицы 1 можно сделать вывод, что среднее значение критической интенсивности освобождения энергии равно

$G_{IC} = 730,68 \text{ Н/м}$. Полученные результаты хорошо согласуются с работой [5]. При сравнении видно, что G_{IC} для клееной древесины несколько выше, чем для цельной [5], что видимо объясняется более высокой трещиностойкостью клеевых соединений.

Таблица 1

Результаты испытаний СТ-образцов

Определяемые характеристики	Ед. изм.	Длина трещина, а					
		9	18	23	27	32	36
$P_{fr \text{ средн}}$	Н	971,25	582,50	578,50	498,50	306,17	164
σ_p	Н	90,58	20,12	30,38	44,85	57,22	40,92
γ_p	%	9,3	3,5	5,3	9	18,7	24,9
$S_{\text{средн.}} \cdot 10^{-2}$	мм/Н	0,302	0,5607	0,5677	0,5315	0,68	1,1286
σ_c	мм/Н	0,0004	0,0005	0,0011	0,0006	0,0012	0,0014
γ_c	%	14	9,72	19,24	11,72	18,02	12,61
G_{IC}	Н/м	3281,56	140,76	141,77	325,15	329,48	165,66
K_{IC}	кПа·м ^{1/2}	245,74	145,40	194,86	225,54	200,30	141,28

По данным испытаний СТ-образцов также определили и коэффициент интенсивности напряжений для каждой длины трещины по формуле, полученной для изотропных материалов (металлов) [6], поскольку, как было показано в работе [1], отличие между величинами K -тарировки Y для древесины и изотропных материалов незначительно:

$$K_{IC} = \frac{P_{fr}}{t\sqrt{b}} Y, \quad (4)$$

где

$$Y = 13,74 \left[1 - 3,380 \left(\frac{a}{b} \right) + 5,572 \left(\frac{a}{b} \right)^2 \right]. \quad (5)$$

В результате при рекомендованной длине трещины $a/b = 0,45 \dots 0,55$ [6],

$$K_{IC} = 194,86 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}.$$

Следует отметить, что для определения влияния таких факторов как длительность нагружения, геометрические размеры, строение, порода, температура и влажность древесины склеенных частей требуются дополнительные исследования.

Информация об авторах

Авдяков Дмитрий Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства.

E-mail: avd-77@mail.ru

Курский государственный университет.

Россия, 305000, Курск, ул. Радищева, д.33.

Поступила в октябре 2017 г.

© Авдяков Д.В., 2017

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гаппоев М.М. Оценка несущей способности деревянных конструкций методами механики разрушения: Автореф. дис. докт. техн. наук. М., 1996. 34 с.

2. Wrioght K., Fonselius M. Fracture mechanics testing of wood – methods for mode 1 and mode 2 // Combining materials, design, production and properties, RILEM, 1987. 243 p.

3. Bostrom L. Method for determination of the softening behavior of wood and the applicability of a nonlinear fracture mechanics models: Doctoral Thesis Report TVMB – 1012. Lund. Sweden, 1992.

4. Ewing P.D. Williams J.G. Thickness and moisture content effect in the fracture toughness of Scots pine // Mater. Sci. 1979. №14. P. 2959–2966

5. Larsen H.J., Gustafsson P.J. The fracture energy of wood in tension perpendicular to the grain. Results from a joint testing project // Lisbon, 1990. 62 с.

6. ГОСТ 25.506-85. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. М.: Изд-во стандартов, 1982. 62 с.

Avdyakov D.V.

**ETHODOLOGY OF ESTIMATION OF THE PARAMETERS OF THE POWER RESISTANCE
OF GLUED WOODEN CONSTRUCTIONS WITH CRACKS OF NORMAL COUPLING**

The article proposes a technique based on the methods of fracture mechanics and presents the results of experimental studies on the evaluation of the parameters of the strength resistance of glued wooden structures with cracks in the normal separation.

Keywords: *force resistance, crack resistance, glued wood, crack, fracture mechanics*

Information about the authors

Avdyakov Dmitry Vladimirovich, PhD, Assistant professor.

E-mail: avd-77@mail.ru

Kursk State University.

Russia, 305000, Kursk, ul. Radishcheva, 33.

Received in October 2017

© Avdyakov D.V., 2017

DOI: 10.12737/article_5a27cb7fa42cc1.15814822

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

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА И ВЕЛИЧИНА КОНТАКТНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ РАСТВОРНЫХ ШВОВ КАМЕННОЙ КЛАДКИ ПРИ СИЛОВОМ СЖАТИИ*

vell.30@mail.ru

При проектировании гражданских зданий из камня возникает необходимость проведения конструктивных расчетов не только на прочность многоэтажных многослойных и разнонагруженных стен, но и по деформациям. Показана зависимость контактной деформации цементных растворов горизонтальных швов каменной кладки при силовом сжатии от действующего напряжения, прочности и жесткости раствора.

Ключевые слова: каменная кладка, строительный раствор, горизонтальные швы, контактная деформация, предельный коэффициент пластичности.

Введение. Для строительства гражданских многоэтажных зданий России последних десятилетий характерно большое многообразие конструктивных решений и материалов каменной кладки их наружных стен. Сейчас кладка несущих и самонесущих многоэтажных наружных стен устраивается не только из керамического и силикатного кирпича, но и из легких мелких пустотных керамзитобетонных и сплошных ячеисто-бетонных камней с внутренними утепляющими слоями и наружной облицовкой керамическими плитками или облицовочными камнями. При проектировании и строительстве зданий со стенами из совершенно различных по деформативно – прочностным свойствам материалов для обеспечения их надежности деформативность имеет не менее важное значение, чем прочность. Имеющийся негативный опыт строительства и эксплуатации многоэтажных зданий с наружной облицовкой керамическими плитками, которые со временем отслаиваются и опадают, растрескивания и повреждения соединений разнонагруженных и разновысоких стен предопределяют настоятельную необходимость выполнения тщательных и точных расчетов деформирования их кладки.

Актуальность этой проблемы обусловлена тем обстоятельством, что нормативная методика [1] определения деформаций каменной кладки, разработанная проф. Л.И. Онищиком [2] еще в 30-х годах прошлого века, когда не было такого разнообразия каменных материалов и растворов, дающая только интегральную оценку относительным деформациям кладки и не учитывающая особенности деформативно-прочностных свойств современных разнообразных строительных материалов и конструктивных решений,

несовершенна. Определенные по этой методике деформации каменной кладки из камней совершенно различной прочности и деформативности, на растворах невысокой и высокой прочности совершенно одинаковы, что не подтверждается в экспериментах.

Методология. В отсутствие физически достоверной деформационной теории каменной кладки многие исследователи и проектировщики теоретически определяют абсолютные деформации кладки стен многоэтажных зданий как сумму абсолютных деформаций составляющих её материалов – камня и раствора. По их данным, относительные деформации сжатия кладки из различных материалов часто оказываются примерно равными, что в общем несколько согласуется с нормативной методикой [1].

Этот эффект заключается в двойственном характере деформаций раствора горизонтальных швов кладки. Многие исследователи каменной кладки по результатам опытов сходятся во мнении, что деформации раствора здесь состоят из обычных деформаций самого вещества раствора и трудно устанавливаемых деформаций его контактной зоны с камнем. По их расчетам, контактная деформация в кладке является преобладающей и в 7–8 раз больше деформаций собственно раствора, и в 5–6 раз больше деформаций камня.

Так, проф. С.А. Семенов [3] в результате опытов с кладкой из глиняного кирпича высотой 65 мм марки М150 на растворе прочностью 22 кг/см² с толщиной горизонтальных швов 12 мм на базе 100 см экспериментально-теоретически установил, что абсолютная деформация 13 рядов кирпича, равная 0,4 мм, составляет всего лишь 15 % общей деформации кладки при напря-

жениях $29,0 \text{ кг/см}^2$, равных 90 % от разрушающих. Абсолютные деформации раствора 12 швов были ещё меньшими – 0,3 мм, составлявшие всего лишь 10 %. Тогда на долю контактных деформаций этих швов приходилось 75 % от общих.

Аналогичные оценки величины контактных деформаций горизонтальных растворных швов приведены в работах С.В. Полякова [4] и других исследователей, испытывавших кладку с керамическим и силикатным кирпичом высотой 88 мм. По их мнению, контактные деформации раствора горизонтальных швов обычно составляют 75–80 % от общих деформаций кладки.

Основная часть. Проведенные авторами многолетние исследования [5–7] тоже подтвердили значительную величину контактных деформаций горизонтальных растворных швов, но установили ее несколько меньшей, чем в работах [3, 4] и равной от 50 % до 80 % от общих деформаций кладки. Также очень трудно было установить точную величину деформации собственно раствора. Поэтому авторы теоретически определяли абсолютную величину контактной деформации, но более точно устанавливали величины абсолютных деформаций камня и раствора, чем в работах других исследователей.

В своих исследованиях авторы основывались не на номинальных нормативных значениях начальных модулей деформации материалов E_0 , а на действительных их сниженных значениях, соответствующих уровню нагружения и исчерпанию сопротивления кладки при осевом сжатии.

Определение значений средних (секущих) модулей деформации материалов E' представляет тоже сложную задачу. Как известно, напряженно-деформативное состояние (НДС) камня и раствора сжатой кладки имеет диаметрально противоположный характер. Камень сжимается вертикальной нагрузкой и синхронно неравномерно растягивается в поперечных направлениях более деформативным раствором, вследствие чего его начальный модуль деформации E_0 с нагружением снижается. Раствор, наоборот, неравномерно, но тоже синхронно сжимается во всех направлениях и у него связь между напряжениями σ и деформациями ε явно нелинейна и существенно отличается от деформаций раствора при сжатии в стандартных образцах, и до сих пор недостаточно изучена.

В отсутствие физически обоснованной деформационной теории каменной кладки величину среднего секущего модуля деформаций кирпича можно описать зависимостью

$$E'_k = E_k^0 \left(1 - \frac{\lambda_k \theta_k \sigma}{R_k} \right), \quad (1)$$

где σ – действующее напряжение в кладке; E_k^0 , R_k , θ_k и λ_k – соответственно, начальный модуль деформации, прочность на сжатие, поправочный коэффициент на сложность НДС, равный 1,5 и предельный коэффициент пластичности кирпича, определяемый из зависимости (2), предложенной авторами

$$\lambda_k = \frac{1}{2,5 + aR_k} \quad (2)$$

где a – для керамического кирпича составляет 0,05; для силикатного – 0,025.

По результатам многолетних исследований [5–7] зависимость среднего модуля деформации E'_p цементных растворов в горизонтальных швах каменной кладки от действующих в ней напряжений сжатия σ является нелинейной и имеет вид

$$E'_p = E_p^0 [1 - \lambda_p \cdot \theta_p (\sigma/R_p)^2], \quad (3)$$

где E_p^0 – начальный модуль деформации; R_p – прочность на сжатие; θ_p – поправочный коэффициент при сложном пространственном состоянии, равный 0,5; λ_p – предельный коэффициент пластичности раствора, который рассчитывают из зависимости (4)

$$\lambda_p = \frac{1}{1,10 + 0,003 \cdot R_p}. \quad (4)$$

В соответствие с зависимостью (4) коэффициент λ_p для цементных растворов марок М25, М50 и М200, соответственно, равен 0,85; 0,80 и 0,59. Коэффициенты предельной пластичности материалов были получены по результатам опытов на основании энергетических принципов, как отношение работы, затраченной на пластическое деформирование, к общей работе, пошедшей на их разрушение при центральном сжатии.

Что же касается величины контактной деформации, то в настоящее время точно установить ее в опытах современными приборами практически невозможно. Это не упругопластическая, а чисто пластическая местная деформация бугристой зоны раствора, соприкасающегося снизу и сверху с частью шершавой поверхности кирпича или камня. Естественно, деформации этих отдельных мелких значительно более нагруженных участков раствора, получивших ещё в начале нагружения из-за обезвоживания камнем существенно более низкую по сравнению с расчетом (практически вдвое) плотность, прочность и начальный модуль деформации, оказываются в несколько раз больше величин стандартных деформаций самого раствора горизонтальных швов.

Учитывая сложность рассматриваемой проблемы, в лабораториях в течение длительного

времени не прекращаются исследования НДС растворной постели на всех стадиях работы кладки – от её создания до исчерпания сопротивления при силовом сжатии. В результате установлены следующие общие и уже не дискуссионные внешние и внутренние структурные отличительные особенности ее раствора:

- резкая структурная неоднородность по всей площади кирпича;
- отсутствие на отдельных значительных участках кирпича тесного соприкосновения и соответственно стабильного контакта (сцепления и адгезии) с раствором;
- наличие на некоторых протяженных участках кирпича в контактной поверхности раствора явно наблюдаемых протяженных пустот.

Действительно, проведенные исследования и рентгенограммы свидетельствуют, что по длине и ширине растворной постели даже в пределах одного кирпича плотность раствора изменяется в широких пределах – от 1,5 до 2,0–2,25 раз. Естественно, что точно также должна изменяться его плотность, прочность и начальный модуль деформации, а, следовательно, и жесткость, деформации и осадка раствора.

И если физика этих явлений очевидна и хорошо понятна, то установление действительных значений НДС камня и раствора на всех стадиях работы кладки аналитическими зависимостями детерминированных законов в связи с многочисленностью различных причин изгиба и растяжения камня в кладке, имеющих случайный (стохастический) характер, практически невозможно, и они могут быть определены только вероятностными методами.

Но для разработки достоверных вероятностных методов расчета деформаций каменной кладки, в том числе и контактных, при силовом кратковременном сжатии можно более точно определять по разработанному авторами инженерному методу, основанному на единых методологических подходах. Для этого следует рассматривать в первую очередь не расчетный большой объем кладки целиком и его относительные деформации, а перейти к определению абсолютных деформаций отдельных рядов камня и раствора проектируемой кладки, а потом уже суммировать их результаты для всей высоты каменной конструкции. Для этого необходимо по ранее разработанной нами методике определять абсолютные деформации отдельно камня и раствора одного ряда кладки и суммировать их с абсолютными значениями контактных деформаций, установленных нами на основании обработки результатов многочисленных экспериментальных исследований кладки с камнями и растворами различных видов, прочности и деформативности.

Для установления качественного соответствия и количественной оценки степени точности разработанного теоретического решения и аналитических зависимостей были проведены соответствующие машинные вычисления (численные эксперименты) абсолютных деформаций многочисленных образцов кратковременно центральной сжатой кладки в широком диапазоне изменений прочности кирпича (от М75 до М300) и раствора (от М25 и до М200) в сопоставлении с данными опытов различных исследований [3–7]. В результате было установлено, что разработанное теоретическое решение дает качественно и количественно более правильные и точные результаты, чем нормативная методика [1].

Так, величина абсолютной контактной деформации горизонтальных растворных швов $\Delta l_{\text{кон}}$ высотой 12–15 мм каменной кладки при кратковременном центральном силовом сжатии из кирпича высотой 65–88 мм на базе в 100 см колеблется от 1,2 до 4,2 мм, увеличиваясь с повышением прочности кладки, соответственно, от 22 до 78 кг/см². Показано, что она существенно повышается с повышением прочности кирпича (от марки М75 до М300).

По отношению к общей абсолютной деформации кладки $\Delta l_{\text{об}}$ такой же высоты величина абсолютной контактной деформации горизонтальных растворных швов $\Delta l_{\text{кон}}$ колеблется в пределах от 50 % для низкопрочной кладки с $R = 22$ кг/см² до 80 кг/см². Для кладки с кирпичом равной прочности, но на растворах различной прочности, она на 8–10 % увеличивается с понижением прочности раствора.

При пересчете на один горизонтальный растворный шов при исчерпании сопротивления кладки величина абсолютной контактной деформации $\Delta l_{\text{кон}}$ составляет от 0,1 мм для кладки прочностью 22 кг/см², до 0,33 мм для кладки прочностью $R = 78$ кг/см², а ее процентное отношение к общей абсолютной деформации $\Delta l_{\text{об}}$ кладки сохраняется.

Величина относительной общей деформации кладки $\varepsilon_{\text{об}}$ на растворах различной прочности – от М25 до М200 не однозначна, как это принято в действующих нормах [1], и увеличивается с повышением прочности кладки, кирпича и раствора от 0,00212 для кладки на растворе М25 с кирпичом М75 до 0,0055 для кладки с кирпичом М300 на растворе М200, что существенно отличается с нормативной методикой [1] и зависимостью проф. Л.И. Онищика, у которых для кладки из всех этих марок кирпича и растворов величина относительной общей деформации сохраняет постоянную величину 0,00264.

Принимая такую величину полученной абсолютной контактной деформации как среднюю

для всех отдельных рядов камня и раствора кладки из любых их видов, мы можем более точно определять деформации каменных конструкций.

Для понимания значимости и величины контактной деформации не менее важным является характер и процесс возникновения и динамики ее развития. Физически представляется, что возникновение контактной деформации происходит задолго до напряжения кладки расчетной нагрузкой. Первые контактные деформации возникают сразу же при укладке кирпича на шероховатую поверхность раствора. Хотя эти деформации могут быть весьма незначительными, но значение их в действительности весьма велико, поскольку через отдельные небольшие площади точки контакта осуществляется интенсивный водообмен соприкасающихся материалов. Именно здесь, в объеме раствора этих точек касания происходят первые фазы развития неоднородности структуры раствора и существенное снижение его плотности, прочности и жесткости. И степень такого снижения, доходящая часто даже до двукратной и более, зависит от ряда сложных факторов: местной всасывающей способности кирпича и водоудерживающей способности раствора.

Процесс возникновения и развития контактной прослойки раствора происходит следующим образом. При устройстве кладки между поверхностями кирпича и раствора образуются полости, заполненные водой. При твердении раствора происходит отсасывание и испарение воды, а полости заполняются воздухом. При этом действительное соприкосновение горизонтальных плоскостей кирпича и растворного шва происходит только на части их общей площади (рис. 1, 3). Напряжения, возникающие вначале под воздействием собственного веса материалов, а затем и от возрастающей нагрузки распределяются неравномерно и в продольном, и в поперечном направлениях элементов.

При нагружении и выдерживании под нагрузкой места контактов раствора деформируются (рис. 1, 4). Увеличивается площадь соприкосновения поверхностей кирпича и раствора, приводящая к более равномерному распределению напряжений и деформаций по площади кирпича и раствора.

Аналогичная картина повторяется вторично после укладки на шероховатую поверхность кирпича нового слоя бугристого раствора. Аналитически точно определить эти деформации невозможно, поскольку свежий раствор не имеет прочности и жесткости и не в состоянии сопротивляться даже небольшой механической нагрузке от веса одного ряда кирпича, составляющей порядка $0,0158 \text{ кг/см}^2$. Раствор, просто обжимаясь,

разглаживается и растекается от бугристых точек контакта с кирпичом в более низкие участки смеси. И так может продолжаться в течении двух-трех суток, пока раствор не наберет минимальную 20–35 % прочность. Тогда у раствора появляется минимальная жесткость и модуль деформации и можно говорить о конкретной величине его контактной деформации.

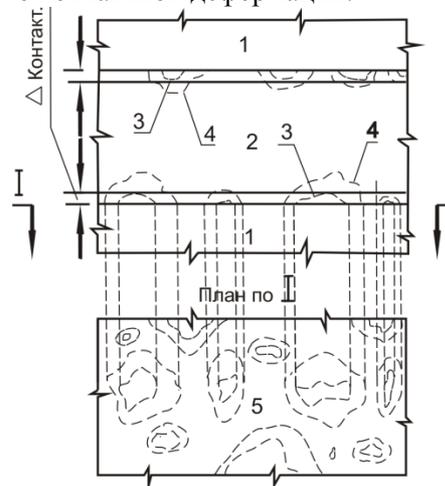


Рис. 1. Схема контактных зон раствора и кирпича: 1 – кирпич; 2 – раствор; 3 – поверхность контакта до нагружения кладки; 4 – поверхность контакта после нагружения кладки; 5 – поверхность кирпича

Определенно судить о величине этой первой фазы контактной деформации весьма затруднительно, поскольку измерение ее чрезвычайно сложно. И только по уменьшению толщины пустотных пазух между камнем и раствором или высоты горизонтального растворного шва можно определить ее порядок и величину. В первом приближении можно считать, что первая фаза контактной деформации находится в пределах $0,015–0,025 \text{ мм}$ и в среднем может быть принята равной для одного растворного шва $0,02 \text{ мм}$. Естественно, что для каждой стороны шва величина абсолютной контактной деформации будет вдвое меньше.

Но эту начальную фазу контактной деформации раствора нельзя смешивать со второй ее основной фазой общей расчетной деформации. И хотя она физически происходит путем дополнительного обмятия бугристых поверхностей непрочных обезвоженных участков раствора, но здесь местная сосредоточенная нагрузка на порядок выше и больше объема окружающего раствора, вовлекаемого в совместную работу. Поэтому последующее развитие контактной деформации раствора с повышением нагрузки вначале существенно увеличивается с постепенным замедлением, смыканием и закрытием пустот и щелей между камнем и раствором.

В целом, по результатам исследований, контактная деформация цементных растворов горизонтальных швов каменной кладки при силовом

кратковременном центральном сжатии зависит от действующего напряжения, прочности и жесткости раствора и может быть для каждого шва определяться по нашей несложной зависимости

$$\Delta l_{\text{кон}} = k \cdot h_p \cdot \sigma \cdot (\sigma/R_p)^{0,5}, \quad (5)$$

где h_p – высота растворного шва; σ – напряжение в кладке; k – постоянный коэффициент контактной деформации раствора при напряжении в кладке $1,0 \text{ кг/см}^2$, равный по найденной нами зависимости

$$k = 0,0002 + 1/(\gamma \cdot M_p). \quad (6)$$

В зависимости (6) коэффициент γ отражает относительную величину снижения начального модуля деформации раствора в предельном состоянии кладки.

Структура зависимостей (5, 6) качественно и количественно хорошо отражает установленное нами в опытах влияние увеличения прочности камня и раствора на снижение величины абсолютной контактной деформации горизонтального растворного шва при кратковременном силовом нагружении кладки осевым сжатием. Это объясняется хорошо известными явлениями того, что с повышением прочности кирпича увеличивается мелкозернистость, уменьшаются его пористость, влагопотребление и отсос влаги из раствора. Также растворы повышенной и высокой прочности обычно соответствуют смесям с небольшим водотвердым отношением, способствующим их влагоудержанию. Все это, естественно, противодействует снижению плотности, прочности и жесткости раствора и увеличению его деформации.

В качестве иллюстрации результатов полученных решений приведем величины абсолютной контактной деформации горизонтального растворного шва для трех видов каменной кладки с кирпичом различной прочности на растворе единой прочности марки М25:

1. Кирпич М 100, $R_{\text{кл}} = 26 \text{ кг/см}^2$, $\Delta l_{\text{кон}} = 0,02 + 0,13 = 0,15 \text{ мм}$;

2. Кирпич М 200, $R_{\text{кл}} = 36 \text{ кг/см}^2$, $\Delta l_{\text{кон}} = 0,02 + 0,21 = 0,23 \text{ мм}$;

3. Кирпич М 300, $R_{\text{кл}} = 50 \text{ кг/см}^2$, $\Delta l_{\text{кон}} = 0,02 + 0,35 = 0,37 \text{ мм}$.

В тоже время, при применении раствора более высокой прочности (марки М200) величина абсолютной контактной деформации одного горизонтального растворного шва кладки с кирпичом марки М 300 при ее прочности $R_{\text{кл}} = 78 \text{ кг/см}^2$ снижается до $\Delta l_{\text{кон}} = 0,02 + 0,14 = 0,16 \text{ мм}$.

Выводы. Имея, таким образом, величину контактных деформаций, теперь возможно более точно определять абсолютные и относительные деформации кладки стен многоэтажных зданий. Для этого к правильно определенным деформациям многочисленных рядов камня и раствора необходимо добавлять соответствующие величины двух фаз контактных деформаций горизонтальных растворных швов, т.е. возникающих во время возведения кладки и при ее проектном нагружении.

Все вышеизложенное позволит более точно определять не только деформации многослойных стен многоэтажных зданий, но и, в первую очередь, рассчитывать разность абсолютных деформаций разновысоких и разнонагруженных стен, стен с жесткими элементами облицовки и т.п. для предотвращения их растрескивания и повреждения.

**Работа выполнена в рамках Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. СНиП П-22-81* Каменные и армокаменные конструкции // Госстрой России. М.: ФГУП ЦПП, 2004.
2. Онищик Л.И. Прочность и устойчивость каменных конструкций. М.: ОНТИ, 1937. 291 с.
3. Семенцов С.А. Некоторые вопросы прочности и проектирования крупнопанельных и каменных конструкций: доклад по опубл. работам на соискание учен. степени д-ра техн. наук. М.: Центр. науч.-исслед. ин-т строит. конструкций им. В. А. Кучеренко, 1969. 7 с.
4. Поляков С.В. Длительное сжатие кирпичной кладки. М.: Госстройиздат, 1959. 183 с.
5. Дегтев И.А., Донченко О.М. 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.
6. Донченко О.М., Дегтев И.А. К развитию теории трещиностойкости и сопротивления кладки при сжатии // Известия ВУЗов. Строительство и архитектура. 2000. № 8. С. 16–20.
7. 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.

Информация об авторах

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

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

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

E-mail: konsttarh@mail.ru

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

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

E-mail: vell.30@mail.ru

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

Литовкин Николай Иванович, инженер кафедры строительства и городского хозяйства.

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

Поступила в октябре 2017 г.

© Донченко О.М., Дегтев И.А., Тарасенко В.Н., Литовкин Н.И., 2017

Donchenko O.M., Degtev I.A., Tarasenko V.N., Litovkin N.I.

THE PHYSICAL NATURE AND THE MAGNITUDE OF THE CONTACT DEFORMATION OF THE HORIZONTAL MORTAR JOINTS OF MASONRY WHEN POWER COMPRESSION

In the design of civil buildings of stone arises the need for structural calculations not only on the strength of multi-storey multi-layered walls, but also on the deformations. The dependence of the contact deformation of cement mortar of the horizontal joints of masonry under compression force from the effective stress, strength and stiffness solution.

Keywords: *masonry, mortar, horizontal seams, pin deformation, limiting plasticity.*

Information about the authors

Donchenko Oleg Mihailovich, PhD, Professor.

E-mail: kafedrasigsh@mail.ru

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

Degtev Ilya Alekseevich, PhD, Professor.

E-mail: konsttarh@mail.ru

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

Tarasenko Viktoriya Nikolaevna, PhD, Assistant professor.

E-mail: vell.30@mail.ru

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

Litovkin Nikolay Ivanovich, engineer.

E-mail: kafedrasigsh@mail.ru

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

Received in October 2017

© Donchenko O.M., Degtev I.A., Tarasenko V.N., Litovkin N.I., 2017

Юрьев А.Г., д-р техн. наук, проф.,
Зинькова В.А., ст. преп.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

УСТОЙЧИВОСТЬ СТЕРЖНЕЙ В СТРУКТУРНОМ СИНТЕЗЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ФЕРМ*

yuriev_ag@mail.ru

Одним из основных тормозов в развитии оптимального проектирования металлических ферм является обеспечение устойчивости сжатых стержней. Попытки вовлечения этой проблемы на основе критерия минимума объема (массы) материала оказались неудачными из-за трудностей отыскания глобального минимума. Оптимальное решение конструкции фермы в отношении ее топологии, геометрии, площадей и форм поперечных сечений стержней осуществляется на основе вариационных принципов структурного синтеза. Вытекающий из них универсальный критерий оптимальности приводит к минимуму расхода материала. Специфика сжатых стержней отражена в выражении потенциальной энергии деформации. В то же время полное решение проблемы сжатых стержней осуществляется при дополнительном их исследовании на состояние стесненной или принужденной потери устойчивости.

Ключевые слова: структурный синтез фермы, вариационная постановка задачи, стесненная и принужденная потеря устойчивости

Введение. Одним из основных тормозов в развитии оптимального проектирования ферм явилось обеспечение устойчивости сжатых стержней. Эта проблема отражена в работе [1].

Практическая ценность использования теорем Леви невысока из-за неучета потери устойчивости. Попытки использовать метод последовательных приближений, в котором принимают на каждом шаге коэффициент продольного изгиба φ , отвечающий усилию, найденному на предыдущем шаге, к успеху не приводят: процесс расходится. Поэтому задача оптимизации ферм с учетом устойчивости должна ставиться как существенно нелинейная.

Теория Максвелла – Мичелла [2, 3] и ее развитие не получили большого практического применения при проектировании ферм, главным образом из-за того, что проектируемые конструкции неудовлетворительны с точки зрения устойчивости и технологичности.

Попытки вовлечения проблемы устойчивости сжатых стержней в теорию оптимизации ферм на основе критерия минимума объема (массы) материала оказались неудачными из-за трудностей отыскания глобального минимума. Решение этой проблемы стало возможным после установления вариационных принципов структурного синтеза [4], из которых вытекает формулировка универсального энергетического критерия оптимальности, обеспечивающего глобальный минимум объема (массы) материала.

Основная часть. Решение изопериметрической задачи при заданном объеме материала виртуальной фермы с внутренними силами N_i/φ_i [5]

свидетельствует о ее квазиравнонапряженности. Тем самым определяется критерий оптимальности проектируемой фермы.

В металлических фермах равнонапряженность связывают с расчетным сопротивлением R [6], принятие которого рассматривают как дополнительное условие в оптимизационной задаче.

Поскольку площадь поперечного сечения равна

$$A_i = N_i / (\varphi_i R), \quad (1)$$

выражение потенциальной энергии деформации фермы принимает вид:

$$J = \frac{R}{2E} \sum_{i=1}^n \frac{N_i l_i}{\varphi_i}, \quad (2)$$

где E – модуль продольной упругости, l_i – длина стержня, n – число стержней.

Выражение объема материала с учетом (1) и (2) представляется в виде

$$V = 2EJ / R^2. \quad (3)$$

Следовательно, в случае глобального минимума функционала (2) объем материала фермы также достигает глобального минимума.

Методика СНиП, построенная на зависимости коэффициента φ от гибкости стержня, требует дополнительного обоснования с позиции стесненной или принужденной потери устойчивости [7–9].

Потенциальная энергия деформации U_i сжатого стержня фермы с жесткими узлами при его бифуркации равна сумме работ концевых сил:

$$U_i = A_i(N_i) + A_i(M_i, Q_i), \quad (4)$$

где $A_i(N_i) = N_i \Delta_i$ – работа продольных сжимающих сил на сближении концов стержня от изгиба; $A_i(M_i, Q_i)$ – работа изгибающих моментов и поперечных сил на перемещениях при изгибе стержня.

Так как $U_i > 0$, то сумма работ (4) также всегда больше нуля. Но знаки слагаемых $A_i(N_i)$ и $A_i(M_i, Q_i)$ могут быть либо одинаковы, либо различны. Для сжимающей силы N_i ее работа $A_i(N_i) > 0$, и это значит, что она способствует бифуркации стержня, то есть активной потери устойчивости. Работа других концевых усилий может быть больше, меньше или равна нулю.

$A_i(M_i, Q_i) > 0$ означает, что работы одной продольной силы N_i недостаточно для компенсации приращения величины U_i , и окружающие стержни помогают его потере устойчивости

(пассивная, или принужденная, потеря устойчивости).

$A_i(M_i, Q_i) < 0$ свидетельствует о том, что окружающие стержни сопротивляются его бифуркации и, следовательно, сам стержень вовлекает в бифуркацию сжатые окружающие стержни (активная, или стесненная, потеря устойчивости).

Случай $A_i(M_i, Q_i) = 0$ можно отнести к активной нестесненной потере устойчивости.

Естественно, что бифуркация стержня зависит от топологии системы, под которой подразумевается расположение стержней и способ их соединения между собой [10]. Вопросам оптимальной топологии посвящены работы [11–12].

На рис. 1 представлена оптимальная по структуре ферма [13] с параллельными поясами, имеющая раскосую решетку без стоек с нисходящим опорным раскосом и централизацией осей раскосов в узлах. Расчетная нагрузка: $F_{(3)} = F_{(5)} = F_{(7)} = 70$ кН, $F_{(1)} = 35$ кН. Модуль упругости $E = 2,06 \cdot 10^5$ МПа.

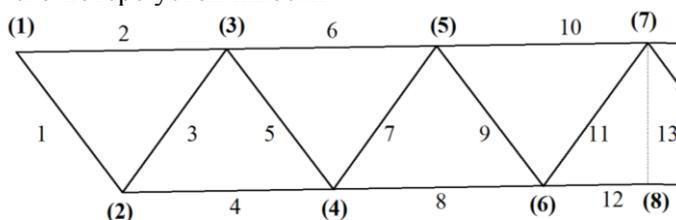


Рис. 1. Оптимальная конструкция фермы

Таблица 1

Внутренние усилия в ферме

Узел	Стержень	N , кН	M , кН·см	Q , кН
(1)	1	222,11	131,08	-0,98
	2	-151,63	-131,08	0,86
(2)	1	222,11	-110,92	-0,98
	3	-221,66	-20,12	0,26
	4	265,19	131,04	-1,03
(3)	2	-151,63	123,79	0,86
	3	-221,66	-43,22	0,26
	5	133,58	-88,11	0,61
	6	-59,96	7,54	-1,02
(4)	4	265,19	173,91	-1,03
	5	133,58	-63,57	0,61
	7	-134,90	-26,09	0,10
	8	425,22	-84,25	0,003
(5)	6	-59,96	292,95	-1,02
	7	-134,90	2,13	0,10
	9	49,16	-96,00	0,66
	10	-168,94	-199,08	-0,20
(6)	8	425,22	83,29	0,003
	9	49,16	-68,42	0,66
	11	-482,47	13,75	0,98
	12	45,72	-28,62	0
(7)	10	-168,94	258,28	-0,2
	11	-482,47	-258,28	0,98

В табл.1 представлены внутренние усилия N , M и Q , вычисленные в предположении, что узлы фермы жесткие. Продольные усилия в сжатых стержнях отмечены знаком минус. Моменты на концах стержней, направленные против хода часовой стрелки, приняты положительными. Пары поперечных сил обозначены по тому же принципу.

В табл. 2 представлены перемещения по горизонтальной (Δ_x) и вертикальной (Δ_y) осям и узлы поворота (ϑ) узлов фермы.

Таблица 2

Линейные и угловые перемещения узлов

Узел	Δ_x , см	Δ_y , см	ϑ , 10^{-3} рад
(1)	0	0	4,52
(2)	-0,66	-0,68	4,23
(3)	0,11	-1,42	4,56
(4)	-0,46	-2,03	3,75
(5)	0,09	-2,60	2,82
(6)	-0,16	-2,86	1,91
(7)	0	-3,05	0

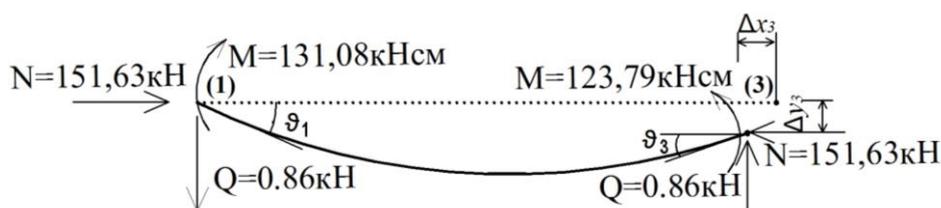


Рис. 2. Стержень 1 из фермы на рис. 1

Выделим стержень 2 (рис. 2), приложим к нему внутренние усилия и покажем перемещения его краев. Вычислим работу $A_i (M_i, Q_i)$:

$$A_2 (M_i, Q_i) = \frac{1}{2} (131,08 \cdot 4,52 \cdot 10^{-3} - 123,79 \cdot 4,56 \cdot 10^{-3} - 0,86 \cdot 0,11) = -0,03 \text{ кН} \cdot \text{см},$$

т.е. имеет место активная, или стесненная, потеря устойчивости.

Для стержней 6 и 10 аналогично вычисляем:

$$A_6 (M_i, Q_i) = \frac{1}{2} (-7,54 \cdot 4,56 \cdot 10^{-3} - 292,95 \cdot 2,82 \cdot 10^{-3} - 1,02 \cdot 1,42 + 1,02 \cdot 2,6) = 0,17 \text{ кН} \cdot \text{см},$$

$$A_{10} (M_i, Q_i) = \frac{1}{2} (199,08 \cdot 2,82 \cdot 10^{-3} - 258,28 \cdot 0 - 0,2 \cdot 2,6 + 0,2 \cdot 3,05) = 0,32 \text{ кН} \cdot \text{см},$$

т.е. имеет место пассивная, или принужденная, потеря устойчивости.

Проведем аналогичные исследования для сжатых раскосов:

$$A_3 (M_i, Q_i) = \frac{1}{2} [20,12 \cdot 4,23 \cdot 10^{-3} + 43,22 \cdot 4,56 \cdot 10^{-3} - 0,26(0,66 \cdot 0,866 - 0,68 \cdot 0,5) - 0,26(0,11 \cdot 0,866 + 1,42 \cdot 0,5)] = 0,$$

$$A_7 (M_i, Q_i) = \frac{1}{2} [26,09 \cdot 3,75 - 2,13 \cdot 2,82 - 0,1(0,46 \cdot 0,866 - 1,42 \cdot 0,5) - 0,1(0,09 \cdot 0,866 + 2,65 \cdot 0,5)] = 0,$$

$$A_{11} (M_i, Q_i) = \frac{1}{2} [(-13,75 \cdot 1,91 + 258,28 \cdot 0) - 0,98(0,16 \cdot 0,866 - 2,86 \cdot 0,5) - 0,98 \cdot 3,05 \cdot 0,5] = -0,15 \text{ кН} \cdot \text{см}.$$

Таким образом, стержням 3 и 7 присуща нестесненная, а стержню 11 – стесненная активная потеря устойчивости.

Так как обычно сечения элементов унифицируются, то такую унификацию целесообразно осуществлять, ориентируясь на блоки элементов с активной бифуркацией. В данном случае это касается верхнего пояса фермы.

Выводы. Оптимальное решение конструкции фермы в отношении ее топологии, геометрии, площадей и форм поперечных сечений стержней осуществляется на основе вариационных принципов структурного синтеза. Вытекающий из них универсальный критерий оптимальности приводит к минимуму расхода материала. Специфика сжатых стержней отражена в выражении потенциальной энергии деформации. В то же время полное решение проблемы сжатых стержней осуществляется при дополнительном их исследовании на состояние стесненной или принужденной потери устойчивости.

**Работа выполнена в рамках Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рейтман М.И., Шапиро Г.С. Методы оптимального проектирования деформируемых тел. М.: Наука, 1976. 266 с.
2. Michell A.G.M. The limits of economy of materials in framestructures // Philosophical Magazine and Journal of Science. 1904. Vol. 8. № 47.
3. Прагер В. Основы теории оптимального проектирования конструкций. М: Мир, 1977. 111 с.
4. Юрьев А.Г. Строительная механика: структурный синтез. М.: МИСИ, 1982. 100 с.
5. Юрьев А.Г., Зинькова В.А., Смоляго Н.А., Яковлев О.А. Оптимизация структуры металлических ферм // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 7. С. 41–45.
6. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*: СП 16.13330.2011. М.: ОАО «ЦПП», 2011. 171 с.
7. Смирнов А.Ф. Статическая и динамическая устойчивость сооружений. М.: Трансдориздат, 1947.
8. Александров А.В. Роль отдельных элементов стержневой системы при потере устойчивости // Вестник МИИТ. 2001. Вып. 5.
9. Александров А.В., Травуш В.И., Матвеев А.В. О расчете стержневых конструкций на

устойчивость // Промышленное и гражданское строительство. 2002. № 3. С. 16–19.

10. Majid K.I. Optimum design of structures. London: Newnes – Butterworths, 1979. 238 p.

11. Zinkova V.A., Yuriev A.G., Peshkova E.V. Designing of tube trusses without gusset plate with joint connections // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. № 5. Vol. 10. P. 1239–12398.

12. Зинькова В.А. Оптимизация топологии металлических ферм // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 2. С. 37–40.

13. Юрьев А.Г., Зинькова В.А. Вариационный метод определения конфигурации плоских металлических ферм // Zbornik radova: Visoka tehnička škola strukovnih studija Niš. Niš (Serbia), 2016. December. P. 166–169.

Информация об авторах

Юрьев Александр Гаврилович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры теоретической механики и сопротивления материалов.

E-mail: yuriev_ag@mail.ru

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

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

Зинькова Виктория Анатольевна, начальник отдела создания и оценки объектов интеллектуальной собственности.

E-mail: vikzinkova@mail.ru

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

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

Поступила в октябре 2017 г.

© Юрьев А.Г., Зинькова В.А., 2017

Yuriev A.G., Zinkova V.A.

STABILITY OF RODS IN THE STRUCTURAL SYNTHESIS OF METAL TRUSSES

One of the main brakes in the development of the optimal design of metal trusses is to ensure the stability of compressed rods. Attempts to engage this issue on the basis of the criterion of minimum volume (mass) of the material were unsuccessful because of the difficulty of finding a global minimum. The optimal solution of the design of the truss in respect of its topology, geometry, areas and shapes of cross sections is based on variational principles for structural synthesis. Stemming from their universal optimality criterion leads to a minimum consumption of material. The specificity of the compressed rods is reflected in the expression of the strain energy. At the same time a complete solution of compressed rods is carried out by additional research on the state of the unconstrained or constrained buckling.

Keywords: structural synthesis of the truss, variational statement of problem the, a constrained and forced buckling.

Information about the authors

Yuriev Aleksandr Gavrilovich, PhD, Professor.

E-mail: vikzinkova@mail.ru

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

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

Zinkova Viktoriya Anatolyevna, head of department.

E-mail: vikzinkova@mail.ru

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

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

Received in October 2017

© Yuriev A.G., Zinkova V.A., 2017

DOI: 10.12737/article_5a27cb81293fd2.58844576

Алексанин А.В., канд. техн. наук, доц.,
Воронов Д.А., студент

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЕЙ И ОРГАНИЗАЦИЕЙ ВОЗВЕДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НИЖНЕ-БУРЕЙСКОЙ ГЭС

aleks08007@mail.ru

Статья посвящена обзору организации и технологии производства работ при строительстве железобетонных наклонных блоков на Нижне-Бурейской гидроэлектростанции. Для наглядного представления некоторых основных производственных процессов в тексте статьи содержатся фотографии с их описанием. Гидротехнические сооружения относятся к категории сложных и особо опасных объектов, строительство которых требует четкого соблюдения организации и технологии выполнения работ. В статье рассматриваются процессы очистки поверхности скалы от грязекаменной массы, работы по установке опалубки, армированию и бетонированию блоков, а также мероприятия по уходу за бетоном, представлена информация об основных функциях лаборатории строительного контроля на стройплощадке. Авторы статьи выделяют специфические технологические приемы производства работ, а также указывают на положительные и отрицательные моменты, выявленные при наблюдении за строительством.

Ключевые слова: строительство, технологические процессы, организация строительства, бетонные работы, ГЭС.

Введение. За время своего существования человечеством создано огромное количество зданий и сооружений различного архитектурного облика, конструктивного типа, а также технологического назначения. Отдельного внимания заслуживают объекты, относящиеся к категории технически сложных и особо опасных, например, объекты использования атомной энергии, космической инфраструктуры, сооружения связи, метрополитены, гидротехнические сооружения и т.п. [1, 2]. Строительство таких объектов представляет собой интересный и многогранный процесс [3–8], участником которого стал один из авторов статьи, который в составе студенческого отряда участвовал в возведении железобетонных наклонных блоков на Нижне-Бурейской гидроэлектростанции.

Географически Нижне-Бурейская ГЭС располагается на дальнем востоке России на реке Бурей у посёлка Новобурейский Бурейского района Амурской области. Входит в Бурейский каскад ГЭС, являясь контррегулятором крупной Бурейской ГЭС [9].

Основная часть. Средняя часть ГЭС относительно ее длины состоит из блока агрегатов с генераторами (изображены справа на фото рис. 1 и на рис. 2), через которые проходит основной поток воды, и наклонной плоскости (слева на фото рис. 1), куда поток воды попадает после прохождения через гидроагрегаты. На фотографии рис. 1 показана уже залитая верхняя часть наклонной плоскости и еще не залитые нижние блоки с очищенным скальным основанием. На не-

залитых участках установлена съемная деревянная опалубка, смонтированы арматурные каркасы, подведены все необходимые инженерные коммуникации для обеспечения бетонирования блоков.

Технологический процесс возведения наклонных блоков (плоскостей) на строительной площадке состоял из следующих видов работ:

- установка опалубки;
- армирование блоков;
- бетонирование блоков;
- уход за бетоном.

Процессу возведения бетонных блоков предшествовали работы по очистке скального грунта от грязекаменной массы, которая образовалась при взрывных работах на начальном этапе строительства ГЭС, а также от строительного мусора, появившегося из-за нерациональной организации строительных работ. Нерациональность заключалась в том, что отходы строительных материалов (куски арматуры, полиэтиленовая пленка, куски утеплителя, доски, провода, цементное молочко и т.д.) сбрасывались с верхнего уровня на нижний уровень, что приводило к увеличению сроков его очистки и неэффективному использованию рабочего времени. Организации управления строительными отходами на строительной площадке следует уделять повышенное внимание [10–12].

Очистка скального основания проводилась в два этапа. На первом этапе рабочие путем грубой обработки убирали основную массу земли и куски разорвавшейся скалы (рис. 3 и рис. 4). В качестве инструментов использовались лопаты,

кирки, мастерки, перфораторы и отбойники. К местам производства работ с помощью крана подавалась большая бадья, в которую сбрасывалась грязекаменная масса. Процесс перемещения

наполненной бадьи краном проходил под руководством бригадира, находящегося на постоянной радиосвязи с крановщиком.



Рис. 1. Наклонная плоскость ГЭС



Рис. 2. Проходные отверстия блока агрегатов с генераторами

На втором этапе скалу очищали мощным потоком воды из трансбоя, который вымывал мельчайшие частички грунта из скальных трещин. Последний этап проводился по требованиям ла-

боратории, которая выдавала разрешения на бетонирование того или иного блока. Без одобрения лаборатории работы по бетонированию не начинались.



Рис. 3. Неочищенная скала от грязекаменной массы. Средняя часть наклонной плоскости



Рис. 4. Неочищенная скала от грязекаменной массы и строительного мусора. Нижняя часть наклонной плоскости прямо над верхним уровнем

Одними из основных функций лаборатории на стройплощадке являлись:

1. Приемка и проверка бетонной смеси, привезенной на строительную площадку. Осуществлялся контроль осадки конуса, плотности, температуры и состава бетонной смеси, проверялся класс бетона, путем испытания кубических образцов размеров 10×10 см (15×15 см) и цилиндров радиусом 10 см и 15 см под прессом. Кроме этого определялась марка по морозостойкости,

образцы испытывались на воздействия различных агрессивных сред.

2. Приемка объемов, подготовленных к бетонированию конструкций, одобрение начала производства работ по заливке бетона. Главная задача строителей перед бетонированием заключалась в создании чистой поверхности скального основания для улучшения адгезионной способности.



Рис. 5. Установленная опалубка на заключительном этапе очистки скалы

После получения от лаборатории разрешения на заливку бетона начинались работы по установке опалубки (рис. 5). Трудность монтажа съемной деревянной опалубки заключалась в том, что было сложно повторить контур поверхности скалы и обеспечить плотное примыкание торцевой части досок к скале. Заливаемый блок ограждали опалубкой с трех сторон, роль четвертой стороны в качестве ограждения выполнял предыдущий залитый блок с арматурными выпусками (рис. 6.). На рис.6 показано, как скреплялись доски между собой – деревянными брусками, в которых просверливались отверстия для анкерных стержней. Анкерные стержни использовались длиной около 0,5 метра круглого гладкого сечения диаметром 10–15 мм с резьбой на одном конце. С помощью таких стержней доски с брусками соединялись в единую опалубку, причем резьбовая часть была нужна для стягивания их гайками, а остальная большая часть стержней оставлялась специально внутри блока. К ним в дальнейшем приваривались арматурные стержни основного металлического каркаса. В некоторых случаях нижний шов соприкосновения опалубки и скалы заполнялся монтажной пеной для герметизации.

Следующим этапом были арматурные работы. На рис. 7 показан процесс работы сварщика и рабочих по возведению арматурного каркаса. Каркас представлял собой стальной куст, в котором были несущие вертикальные стержни гладкого профиля диаметром 20–25 мм и более тонкие стержни, диагонально приваренные одним концом в нижней точке за несущие стержни, а другим концом в верхней точке за анкерные стержни, выходящие из опалубки. Несущие стержни с помощью сварки крепились к выпускам таких же стержней из нижнего залитого блока (на рис. 7 в левом нижнем углу фотографии видны такие выпуски), либо вбуривались в скалу. Затем в верхней части блока параллельно наклонной плоскости устанавливалась сетка ячейкой 20×20 см из арматурных стержней диаметром 30



Рис. 6. Участок наклонной плоскости, подготовленный к бетонированию, а также забетонированный предыдущий блок с арматурными выпусками

мм периодического профиля. Соединение стержневой сетки осуществлялось с помощью вязальной проволоки. Вязка производилась крючком. Длина стержней в каждом направлении была равна длине и ширине наклонной плоскости блока. Сварка основной части соединений сетки запрещалась, чтобы не допустить потери прочности арматуры.



Рис. 7. Армирование бетонного блока. Подготовленный ряд блоков для заливки их бетоном

Роль несущих стоек арматурного каркаса частично выполняли соединительные трубы (рис. 8 и рис. 9). Трубы устанавливали внутрь блока и распределяли равномерно по всему объему. Их оставляли полыми до окончания набора прочности бетона в блоке. Истинное предназначение соединительных труб состояло в том, чтобы обеспечить надежное соединение уже замоноличенного железобетонного блока со скальным основанием, на котором этот блок залит. Процесс соединения блока со скалой представлял собой установку на наклонную плоскость буровой машины, которая, погрузив свой бур в соединительную трубу до упора в скальное основание, начинала процесс бурения скалы до определенного уровня (рис. 9). Бурение начиналось после полного набора прочности бетоном в замоноличенном блоке. Работы по бурению сопровождались высоким уровнем шума. Бурение одной «лунки» занимало от 3 до 5 дней. Далее в пробуренную скважину заливали так называемый «железняк» – смесь цемента с водой. Застывший раствор в скважинах должен обеспечивать надежное

соединение железобетонного блока со скалой.

После установки опалубки и монтажа арматурного каркаса на стройплощадку завозили бетонную смесь. Для заливки одного блока требовалось, примерно, от 60 до 80 м³ бетона в зависимости от размера блока. По мере доставки бетонной смеси начинался процесс сбора магистрали трубопровода для ее подачи. Доставленная бетонная смесь из автобетоносмесителя подавалась в бетононасосную машину, из которой по трубопроводу перемещалась в блок (рис. 9). Точка



Рис. 8. Бетонирование блока. Процесс создания ровной поверхности

Для создания гладкой поверхности требовалась негустая консистенция бетонной смеси, учитывая быстрое время ее схватывания и возможные задержки поставок. Иногда случалось, что бетонную смесь привозили слишком густой, и поверхность получалась неровной. Работу такого качества сотрудники лаборатории не принимали и требовали снять слой уже застывшего бетона толщиной 20 см. Демонтажные работы проводились около двух недель с использованием отбойников, перфораторов и трансбоев.

Заключительный этап возведения наклонных блоков представлял собой уход за бетоном согласно технологии, так как работы проводились в жаркое летнее время [13–15]. Каждый час блоки поливались водой из трансбоя для предотвращения появления трещин на поверхности конструкции. Для увеличения времени нахождения во влажном состоянии бетона поверхность наклонной плоскости покрывали мешковиной и увлажняли. В результате возведенная железобетонная конструкция получилась хорошего качества согласно всем требованиям.

Выводы. По итогам производства работ можно сделать следующие выводы:

- процесс возведения железобетонных блоков гидроэлектростанции оказался интересным и полезным практическим опытом для студентов строительного отряда;

- кроме получения навыков общей технологии производства бетонных работ, студенты стали свидетелями примеров интересных и нестандартных технических решений;

установки автобетоносмесителя и бетононасосной машины была выбрана выше наклонной плоскости. По команде бригадира бетонная смесь подавалась в блок партиями по 1–2 м³. В блоке двое рабочих вибрировали бетонную смесь с помощью глубинных высокочастотных вибраторов с радиусом действия 1 – 1,5 м и глубиной опускания 50–60 см. На рис.8. поверх арматурной сетки видны четыре временные направляющие трубы, по которым рабочие создавали ровные поверхности, перемещаясь с рейкой от нижней части блока к верхней.



Рис. 9. Бетонирование блока. Трубопровод подачи бетонной смеси. Бурильная установка

- работы по очистке скалы от строительного мусора можно было бы организовать более рационально, тем самым сократив срок выполнения работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 N 190-ФЗ [Электронный ресурс] // Правовой сайт «КонсультантПлюс». Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/ (дата обращения 18.02.2017)
2. СТО 17330282.27.140.002-2008. Гидротехнические сооружения ГЭС и ГАЭС. Условия создания. Нормы и требования. // Информационная система Меганорм. Режим доступа: <http://mega-norm.ru/Data2/0/4294821/4294821851.htm> (дата обращения 18.02.2017)
3. Сборщиков С.Б., Герасимчук И.В., Введенский Р.Е. Обзор особенностей конструктивных и организационно-технических решений строительства гидротехнических сооружений в г. Певеке // Научное обозрение. 2016. № 11. С. 57–60.
4. Сборщиков С.Б., Лазарева Н.В., Лейбман Д.М. Особенности инжиниринговой схемы управления строительством технически сложных объектов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 11. С. 79–83.
5. Christiane Zarfl, Alexander E. Lumsdon, Jürgen Berlekamp, Laura Tydecks, Klement Tockner.

A global boom in hydropower dam construction // Aquatic Sciences. 2015. Vol.77. Pp. 161–170.

6. Svetlana Stevovic, Zorica Milovanovic, Milan Stamatovic. Sustainable model of hydro power development - Drina river case study // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. Vol. 50. Pp. 363-373.

7. Асарин А.Е., Радченко В.Г. Строительство малых ГЭС в КНР // Гидротехническое строительство. 2005. № 4. С. 44–45.

8. Николаева Н.А., Ноговицын Д.Д., Шеина З.М., Сергеева Л.П. Влияние строительства каскада ГЭС на реке Тимптон на изменение окружающей среды // Экология урбанизированных территорий. 2010. № 3. С. 42–46.

9. Википедия. Свободная энциклопедия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org> (дата обращения 18.02.2017)

10. Алексанин А.В. Перспективные направления развития организации строительства // Научное обозрение. 2015. № 10-1. С. 378–381.

11. Алексанин А.В. Организационные возможности снижения вредного воздействия на окружающую среду в строительной сфере // Научное обозрение. 2016. № 13. С. 258–262.

12. Алексанин А.В., Сборщиков С.Б. Перспективные направления исследований по повышению эффективности управления строительными отходами // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 11. С. 84–86.

13. Дмитриенко В.А., Дюба Э.А. Влияние температуры твердения бетона на надежность конструкций // Электронный научный журнал. 2016. № 9 (12). С. 107–111.

14. Головченко И.В. Выбор рациональных способов приготовления, доставки и подачи бетонной смеси в условиях повышенных температур наружного воздуха // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2016. Т. 2. № 4. С. 37–41.

15. Ризаев Б.Ш., Мавлонов Р.А., Нуманова С.Э. Деформации усадки и ползучести бетона в условиях сухого жаркого климата // Символ науки. 2016. № 5-2 (17). С. 95–97.

Информация об авторах

Алексанин Александр Вячеславович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии, организации и управления строительством.

E-mail: aleks08007@mail.ru

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. 129337, Центральный федеральный округ, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Воронов Дмитрий Александрович, студент.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. 129337, Центральный федеральный округ, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Поступила в сентябре 2017 г.

© Алексанин А.В., Воронов Д.А., 2017

Aleksanin A.V., Voronov D.A. **OVERVIEW OF THE TECHNOLOGIES AND ORGANIZATION OF ESTABLISHMENT OF ELEMENTS OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES OF THE NIZHNE-BUREYSKAYA HPP**

The article is devoted to the review of the organization and technology of production of works in the construction of reinforced concrete sloping blocks at the Nizhne-Bureyskaya hydroelectric power station. To illustrate some of the main production processes, the text of the article contains photographs describing them. Hydraulic engineering structures belong to the category of complex and especially dangerous objects, the construction of which requires strict observance of the organization and technology of work performance. The article deals with the processes of cleaning the rock surface from the mud mass, work on the installation of formwork, reinforcement and concreting of blocks, as well as measures for the care of concrete, provides information on the main functions of the construction control laboratory at the construction site. The authors of the article highlight specific technological methods of production, and also point to the positive and negative points revealed in the supervision of construction.

Keywords: *construction, technological processes, construction organization, concrete work, hydroelectric power station.*

Information about the authors

Aleksanin Aleksandr Vyacheslavovich, PhD, Assistant professor.

E-mail: aleks08007@mail.ru

Federal state budget educational institution of higher education «Moscow state university of civil engineering (national research university)»

Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26

Voronov Dmitriy Aleksandrovich, Bachelor student.

Federal state budget educational institution of higher education «Moscow state university of civil engineering (national research university)»

Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26

Received in September 2017

© Aleksanin A.V., Voronov D.A., 2017

Долженко А.В., ст. преп.,
Наумов А.Е., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СБОРНО-МОНОЛИТНОГО ПАНЕЛЬНОГО МАЛОЭТАЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА*

da7182@mail.ru

В статье рассматривается экспериментальная каркасная конструктивная система малоэтажных жилых домов с применением сборно-монолитных стеновых панелей с несущими элементами из пластикотрубобетона. Авторами предложена технология изготовления стенового ограждения, включающая стадию индустриального изготовления несъёмной опалубки из полимерных труб и ориентированно-стружечных панелей, а также стадию монтажа и заполнения бетоном несъёмной опалубки в построчных условиях.

Ключевые слова: пластикотрубобетон, трубобетон, несъёмная опалубка, каркасное домостроение, легкий бетон.

Будущее массового малоэтажного строительства связано с использованием гибких строительных систем, к которым безусловно можно отнести каркасные конструктивные системы, выполненные с использованием эффективных строительных материалов, конструкций и технологий. В условиях, когда обеспечение граждан России доступным и комфортным жильём стало приоритетным национальным проектом, необходимо принципиально изменить подход к индивидуальному жилищному строительству, создать технологию, доступную большинству россиян с обеспечением необходимого уровня потребительских требований, а именно: комфортности проживания, экономичности, долговечности, быстровозводимости и индустриальности.

Существенное снижение стоимости строительства, обеспечение необходимой конструктивной безопасности, долговечности, уменьшение материалоёмкости и энергоёмкости может быть достигнуто применением оптимальных конструктивных решений.

В конструкциях индивидуальных жилых домов нагрузки, создаваемые внешней средой, относительно невелики и имеют хорошо предсказуемый характер. В этих условиях целесообразным конструктивным решением вертикальных несущих конструкций каркаса является трубобетон.

Общеизвестна практика применения в строительных конструкциях, работающих преимущественно на сжатие конструктивных элементов, состоящих из стальных труб, заполненных бетоном. С момента первого упоминания о таких строительных конструкциях (1930-е гг.) было выполнено множество исследований работы данного типа конструктивных элементов, которые позволили сделать ряд научных открытий, среди

которых выделяют явление увеличения прочности бетона в трубе и отрицательную усадку [1, 2].

На основании анализа множества ранее выполненных опытов [3, 4] следует выделить следующие основные особенности напряженно-деформированного состояния трубобетонных конструкций:

- бетонное ядро находится в условиях объемного сжатия;

- оболочка работает в условиях сложного напряженного состояния «сжатие-растяжение-сжатие»;

- величина бокового давления бетонного ядра на оболочку σ_{br} в незначительной степени зависит от соотношения коэффициентов поперечных деформаций бетона и оболочки из-за малости упругости оболочки по сравнению с упругостью бетона.

- совместная работа бетонного ядра и оболочки продолжается вплоть до стадии разрушения трубобетонной конструкции;

- направление геометрических осей симметрии сжатых трубобетонных элементов совпадает с направлениями нормалей главных площадок;

- распределение продольных деформаций по поперечному сечению трубобетонных конструкций при внецентренном сжатии свидетельствует о возможности использования гипотезы плоских сечений.

Среди других достоинств трубобетонных конструкций следует отметить экономичность (меньший вес, меньшие трудозатраты, меньшая по сравнению с бетонными конструкциями стоимость), повышенную изгибную жесткость [5]. К недостаткам следует отнести малую исследованность работы конструкции при внецентренном сжатии, ползучести и усадки бетона в трубе, из-

менение контролируемых показателей конструкции во времени. Также к недостаткам следует отнести большой разброс контролируемых параметров при ручном уплотнении бетонной смеси. Однако, как показали, проведенные в последние годы исследования [6, 7, 8], вместо ожидаемой усадки бетона в трубе происходит его набухание, что, несомненно, положительно сказывается на работе бетона.

Кроме того, следует отметить, что применение незащищенного металла в условиях высокой влажности, либо агрессивной среды затрудняет эксплуатацию строительных конструкций из трубобетона [9, 10]. Толщину трубы, с учетом ее уменьшения во времени, проектируют в запас, что снижает экономический эффект от применения данного типа строительных конструкций.

Кроме того, значительны затраты на постоянный ремонт защитного покрытия трубы.

Основываясь на вышесказанном, а также предположив, что применение стальной трубы при малых нагрузках нецелесообразно, авторами было предложено использование в качестве оболочки пластмассовой (полимерной) трубы и рассмотрены в дальнейшем фактические условия работы и параметров напряженно-деформированного состояния предлагаемой конструкции – пластикотрубобетона (ПТБ) [11, 12, 13].

На основании проведенных экспериментов авторами была разработана индустриальная каркасная конструктивная система малоэтажных домов со стеновым ограждением, выполненным с применением ПТБ.

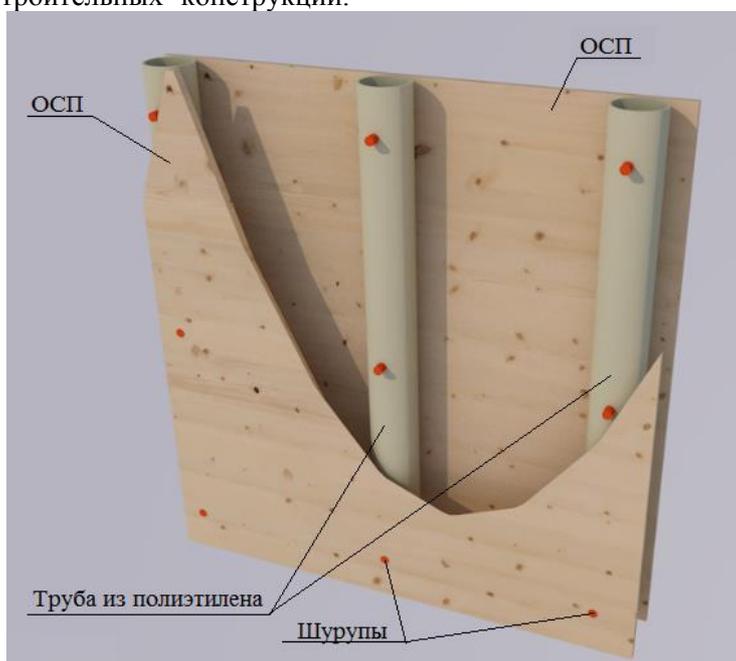


Рис. 1. Состав стеновой панели (несъемной опалубки) заводского изготовления

В качестве оболочки ПТБ авторами предлагается использовать полиэтилен или поливинилхлорид [14], которые наиболее широко представлены на рынке труб диаметром более 100 мм.

К достоинствам вышеупомянутых полимеров следует отнести:

- универсальную химическую и коррозионную стойкость;
- прочность и эластичность;
- легкость окрашивания;
- более низкую теплопроводность по сравнению с металлами.

К недостаткам относятся:

- снижение прочности при нагревании;
- горючесть;
- старение под действием ультрафиолетовых лучей;
- большой (в 8 раз больше, чем у стали) коэффициент температурного расширения.

Предлагаемое стеновое ограждение здания, включает наружный и внутренний слой, выполненные из ориентированно-стружечной плиты (ОСП), между которыми расположен самонесущий слой утеплителя – легкий бетон, разделенный несущими сборно-монолитными ПТБ колоннами (рис. 3).

В качестве легкого бетона предлагается использовать монолитный пенобетон.

Изготовление стеновой панели начинается с соединения в горизонтальном положении между собой двух листов ОСП и полимерных труб, расположенных с постоянным шагом (рис. 1). Соединение осуществляется на шурупы через прокладки, отстоящие ОСП панель от полиэтиленовой трубы.

При изготовлении стеновых панелей в заводских условиях возможно нанесение внутреннего штукатурного слоя.

Готовый комплект стеновых панелей устанавливается в проектное положение (рис. 2) на готовый фундамент. Установка стеновых панелей осуществляется на предусмотренные в фундаменте выпуски арматуры, которые укладываются в каждую полимерную трубу.

Фундаментом может служить фундаментная плита, ленточный фундамент (ростверк) или рамный фундамент.

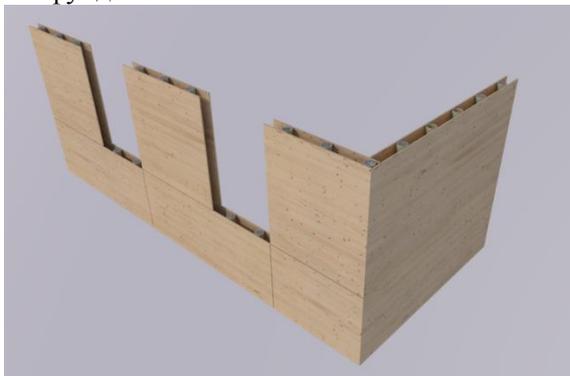


Рис. 2. Фрагмент стены, готовой к укладке бетона в несъемную опалубку

При монтаже стеновых панелей друг на друга соблюдается соосность полимерных труб верхнего и нижнего ряда. Соединение панелей между собой осуществляется путем стыка полимерных труб друг с другом через растроб или муфту.

После завершения монтажа комплекта стеновых панелей всего этажа жилого дома производится заполнение полимерных труб тяжелым бетоном. Пространство между ПТБ заполняется легким бетоном.

Поверх готового стенового ограждения устраивается монолитный железобетонный пояс, опирающийся на ПТБ колонны и служащий для восприятия нагрузок от вышележащего перекрытия или крыши и передачи их на ПТБ колонны.

Следует отметить, что предлагаемая конструктивная система подразумевает наличие перечня типоразмеров стеновых панелей заводского изготовления, отличающихся друг от друга:

- местом положения (цокольная, простеночная, надоконная);
- длиной;
- высотой;
- толщиной внешнего и внутреннего слоев ОСП;
- наличием внутреннего штукатурного и внешнего отделочного слоев.

Благодаря небольшим габаритным размерам и незначительному весу для монтажа конструкций не нужна специальная строительная техника [15]. Размеры панелей привязаны к размерности ОСП, либо производным от них.

Необходимое количество этажей и величины пролетов обеспечиваются подбором диаметра и армирования ПТБ колонн.

На основании вышеизложенного следует сделать вывод о том, что предлагаемая каркасная конструктивная система с применением ПТБ в стеновом ограждении позволяет возводить малоэтажные дома, отвечающие всем стандартам качества, экологичности, энергоэффективности и экономичности. Индустриальное изготовление стеновых панелей позволит исключить дефекты их изготовления, а также существенно снизить сроки возведения здания.

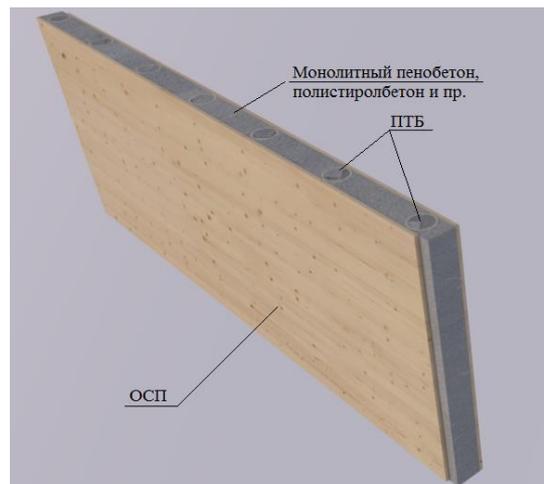


Рис. 3. Готовое стеновое ограждение

Дальнейшее совершенствование предложенной конструктивной системы с применением ПТБ стеновых панелей может идти по пути упрощения процесса монтажа за счет:

- полной заводской подготовки стеновых панелей;
- качества их изготовления (не требуется подгонка по месту),
- создания базовой номенклатуры стеновых панелей;
- отработки технологии монтажа;
- детальной разработки всех этапов монтажных работ.

**Работа выполнена в рамках Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Долженко А.А. Усадка бетона в трубчатой обойме // Бетон и железобетон. 1960. №8.
2. Лопатто А.Э. Про властивості бетону, тверднучого у замкненій обоймі // Будівельні матеріали і конструкції. 1964. №4.
3. Кикин А.И., Санжаровский Р.С., Труваль В.А. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном. М.: Изд-во Стройиздат,

1974, 144 с.

4. Лукша Л.К. Прочность трубобетона. Минск: Изд. Высшая школа, 1977, 95 с.

5. Санжаровский Р.С. Теория и расчет прочности и устойчивости элементов конструкций из стальных труб, заполненных бетоном: дис. ... д-ра техн. наук. СПб. 1977. 453 с.

6. Серых И.Р., Чернышева Е.В. Сталебетон в современном строительстве // Научно-технические технологии и инновации. Юбилейная Международная научно-практическая конференция, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова, XXI научные чтения. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2014. С. 112–115.

7. Катаев В.А. Теоретическое исследование и расчет трубобетонных стержней // Бетон и железобетон. 1993. №2. С. 26–28.

8. Несветаев Г.В., Резван И.В. Оценка Прочности Трубобетона // Фундаментальные исследования. 2011. № 12-3. С. 580–583.

9. Schneider S.P. Axially Loaded Concrete-Filled Steel Tubes // Journal of Structural Engineering. 1998. Vol. 124. №. 10. Pp. 1125–1138.

10. Shosuke Morino, Keigo Tsuda. Design and Construction of Concrete-Filled Steel Tube Column System in Japan // Earthquake Engineering and Engineering Seismology. 2002. Vol. 4. №. 1. Pp. 51–73.

11. Dolzhenko A., Naumov A., Shevchenko A., Kara K. Experimental Study of Actual Operation of Plastic Tube Concrete Constructions // Advances in Engineering Research. 2017. Vol. 133. Pp. 175–180.

12. Шевченко А.В., Наумов А.Е., Долженко А.В. Эффективные трубобетонные конструкции для индивидуального жилищного строительства // Экономика, наука, производство: Сборник научных трудов №28. М.: Изд-во «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)», 2015. С. 40–42.

13. Шевченко А.В., Долженко А.В., Наумов А.Е. Исследование прочности трубобетона в пластмассовых трубах на центральное сжатие // Актуальные вопросы образования и науки: сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. Часть 4. Тамбов: ООО «Консалтинговая компания ЮКОМ», 2015, С. 172–175.

14. Технические трубы ПНД [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://www.gidroplast.ru/dictionary-truby/tehnicheskie_truby_pnd.

15. Теличенко В.И., Терентьев О.М., Лapidус А.А. Технология возведения зданий и сооружений – Высшая школа, 2004. 225 с.

Информация об авторах

Долженко Александр Валериевич, старший преподаватель кафедры городского кадастра и инженерных изысканий.

E-mail: da7182@mail.ru.

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

Наумов Андрей Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент кафедры экспертизы и управления недвижимостью

E-mail: andrena@mail.ru .

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

Поступила в августе 2017 г.

© Долженко А.В., Наумов А.Е., 2017

Dolzhenko A.V., Naumov A.E.

EFFECTIVE TECHNOLOGIES OF THE PRECAST-MONOLITHIC PANEL IN RESIDENTIAL HOUSING

The article considers the experimental framework structure system of low-rise residential houses with the use of precast-monolithic wall plastic tube concrete panels with load-bearing elements. The authors propose a technology for manufacturing walls construction that includes the stage of industrial manufacturing of non-removable formworks made of polymer pipes and oriented strand boards, and the stage of formwork assembling and in-situ concreting.

Keywords: plastic-tube concrete, tube concrete, fixed formwork, frame house constructing, lightweight concrete.

Information about the authors

Dolzhenko Alexander Valeryevich, Senior lecturer.

E-mail: da7182@mail.ru.

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

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

Naumov Andrey Evgenyevich, PhD, Assistant professor.

E-mail: andrena@mail.ru.

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

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

Received in August 2017

© Dolzhenko A.V., Naumov A.E., 2017

DOI: 10.12737/article_5a27cb82438016.40006046

Колесникова Л.И., проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

**ХРАМ СВЯТЫХ АПОСТОЛ ПЕТРА И ПАВЛА В ПРОХОРОВКЕ –
МЕМОРИАЛ ВОИНСКОЙ СЛАВЫ***

Arh.lik@yandex.ru

В статье кратко описываются военные действия 1943 г. под Прохоровкой, танковое сражение, переломившее ход наступательной операции немецких войск на Курск и дальше на Москву. Строительство храма, возведенного к 50-летию Победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.

Ключевые слова: танковое сражение, наступательная операция, военные действия, храм, монумент, колокольня, объемно-планировочное решение, четверик, приделы, алтарная апсида, храмовый комплекс.

12 июля памятная дата военной истории Отечества. В этот день в 1943 году под Прохоровкой произошло крупнейшее во Второй мировой войне танковое сражение между советской и германской армиями. Обе стороны понесли под Прохоровкой огромные потери. В этом сражении советские войска потеряли 500 танков из 800 (60 %). Немцы потеряли 300 танков из 400 (75 %). В этот день произошел перелом в развитии оборонительного сражения на южном фланге Курского выступа. Основные силы противника перешли к обороне. 5 августа войска Брянского фронта освободили Орел. В тот же день войска Степного фронта освободили Белгород. Вечером 5 августа в Москве в честь войск, освободивших эти города, впервые был произведен артиллерийский салют [3].

Курская битва была жестокой и беспощадной. Победа в ней досталась советским войскам большой ценой. В этой битве они потеряли 863303 человека, в том числе 254470 безвозвратно. Потери в технике составили: танков и САУ 6064, орудий и минометов 5244, боевых самолетов 1626. Результатом танкового сражения под Прохоровкой стали провал немецкого плана на Курской дуге «Цитадель» и значительные потери танковых сил германской армии. Танковое сражение под Прохоровкой явилось прологом к разгрому немецко-фашистских войск в Курской битве (5 июля – 23 августа 1943 г.), которая стала переломным событием во всей Второй мировой войне [4].

В истории страны Прохоровское поле называют Третьим ратным полем России наряду с Куликовым и Бородинским [5].

26 апреля 1995 г., в преддверии 50-летия победы в Великой Отечественной войне, президент Российской Федерации подписал Указ «О создании Государственного военно-исторического музея-заповедника «Прохоровское поле» «в целях увековечения памяти погибших при защите Оте-

чества в битве на Курской дуге и в связи с завершением создания музейно-мемориального комплекса «Прохоровское поле».

К этой же дате в центре Прохоровки был возведен Храм-монумент, заложенный 14 июня 1992 г. Освященный 3 мая 1995 г. Святейшим Патриархом Московским и Всея Руси Алексием II во имя святых апостолов Петра и Павла. Построен на народные средства в память о погибших в битве на Курской дуге в решающем Прохоровском сражении, произошедшем 12 июля (в день святых апостолов Петра и Павла). Храм построен на ратном поле как памятник защитникам Отечества во второй мировой войне. Авторы проекта архитекторы Д.С. Соколов, Г. Богданов, инж. Е. Попов. Строительство храма велось под руководством Попечительского Совета «Прохоровское поле» во главе с Н.И. Рыжковым [1]. Возведение храма осуществляли белгородские строительные организации.

Храм расположен на огороженном участке в комплексе со Свято-Николаевским храмом, домом для ветеранов Великой Отечественной Войны и труда, домом причта, «Колоколом соединения трёх братских славянских народов», закладным камнем, памятной стеной и туристическим центром.

Трехглавый каменный храм пятидесятиметровой высоты объединен с колокольней в единое целое по типу древних храмов «иже под колоколы». Мощный четверик храма с примыкающими к нему неглубокими приделами и алтарем несет трехъярусную восьмигранную колокольню с ярусами, убывающими по высоте и ширине, завершенную крупной луковичной главой с ажурным крестом. Сложная многообъемная композиция с подчеркнутой вертикальной осью колокольни полна динамики и устремления ввысь. Центричность храма, заложенная в объемно-планировочной композиции, с симметричным планом с равными по геометрии рукавами креста, потребовала идентичного оформления фасадов.

Изменение декоративных мотивов развивается по вертикали. Стены храма прорезаны высокими узкими арочными окнами в три ряда, в верхнем ряду окна небольшие по размерам и поставлены с частым шагом по всему периметру. Над ними четыре яруса мелких закомар, осуществляющих переход от четверика храма к восьмерику колокольни, скрывающих логику архитектурной конструкции и галерею, с которой можно попасть на колокольню. Первый ярус колокольни с арочными звонами по всем граням восьмерика завершен килевидным поясом с рядом крупных бус над ними и небольшими декоративными закомарами. Второй и третий ярусы колокольни прорезаны арочными проемами, второй ярус завершен

треугольными фронтончиками, третий ярус, завершающий вертикальную композицию, украшен в простенках бусами и многопрофильными фризом и карнизом барабана, над которым возвышается луковичная глава. Пространственно-планировочная структура здания представляет собой симметричный крестообразный план, в центре которого расположен четверик храма, все стороны которого обстроены равными по площади приделами, притворами алтарем. Приделы и алтарь сообщаются с храмом через арочные проемы. В храме устроены три входа, как указано на Святую Троицу: с западной стороны (это главный вход), с северной и южной сторон. Четверик храм перекрыт сомкнутым сводом, за которым скрыта галерея, ведущая на колокольню.

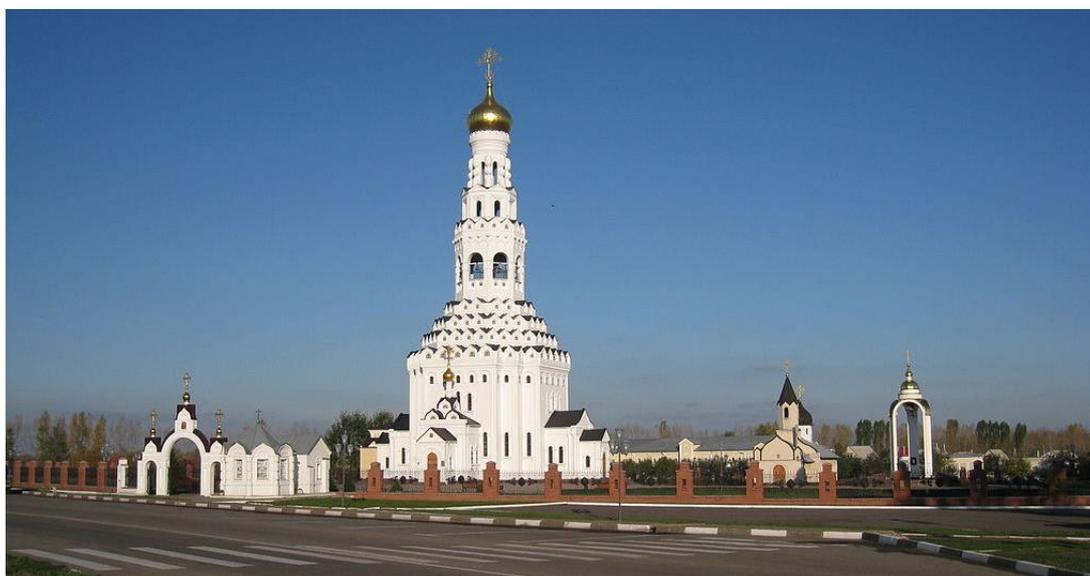


Рис. 1. Общий вид на храмовый комплекс

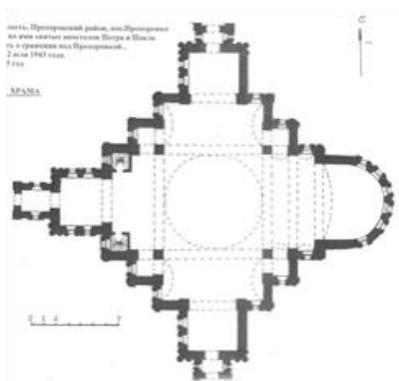


Рис. 2. План храма

На стенах притвора и приделов на беломраморных плитах высечено около семи тысяч имен воинов, павших под Прохоровкой. Своды и стены храма покрыты росписями, выполненными бригадой иконописцев под руководством члена Союза художников России А.С. Работнова. В центральном куполе изображения Спасителя и

святых, на стенах и сводах росписи на библейские сюжеты. В парусах изображены фигуры евангелистов.



Рис. 3. Интерьер храма. На плитах имена воинов, павших под Прохоровкой

В храме установлен трехъярусный резной, позолоченный иконостас. Третий ярус представлен тремя иконами, обрамленными крупными арками, центральная икона, завершающая композиционную ось царских врат, выше и крупнее боковых икон. Форма царских врат имитирует воинский орден, в котором от иконы «Благовещение» расходятся золотые лучи плотным фоном, на котором по четырем углам расположены иконы евангелистов, как обрамление из драгоценных камней.



Рис. 4. Роспись купола храма



Рис. 5. Храмовый иконостас

«Колокол Единения», расположенный в южной части храмового комплекса, недалеко от храма во имя святых апостолов Петра и Павла, представляет собой ротонду на трех пилонах-опорах, перекрытую сводом, в центре которого висит колокол. Ротонда была возведена по инициативе митрополита (в то время архиепископа)

Белгородского и Старооскольского Иоанна и губернатора Белгородской области Е.С. Савченко. На каждом пилоне ротонды изображения святых, которые особо почитаются тремя славянскими народами: образ святого равноапостольного великого князя Владимира, Преподобного Сергия Радонежского и преподобной Евфросинии Полоцкой [2]. Сам колокол был отлит в Москве, а по его верхнему поясу начертаны слова Преподобного Сергия Радонежского: «Любовию и единением спасемся». 3 мая 2000 года после Божественной литургии в храме Святых первоверховных апостолов Петра и Павла «Колокол Единения» славянских народов освятил Святейший Патриарх Московский и всея Руси Алексий II в присутствии президентов России, Украины и Белоруссии: В.В. Путина, Л.Д. Кучмы и А.Г. Лукашенко.



Рис. 6. «Колокол Единения»



Рис. 7. Памятная стена

С северной стороны недалеко от храма во имя святых апостолов Петра и Павла, расположена Памятная стена с перечнем фронтов, армий, дивизий и командующих, одержавших победу в Курской битве.

**Работа выполнена в рамках Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белгородская энциклопедия. Белгород, 2000. 431 с.
2. Колесникова Л.И. Православное церковное зодчество Белгородской области. Белгород. 1997, 147 с.
3. Интернет ресурс: Храм Святых Апостолов Петра и Павла (Прохоровка).
4. Интернет ресурс: vidania.ru>храмы белгородской области> Прохоровка,
5. Интернет ресурс: fishki.net>...treatratnoe-pole-rossii/

Информация об авторах

Колесникова Людмила Ильинична, Заслуженный архитектор РФ, профессор кафедры архитектура и градостроительство.

E-mail: arh.lik@yandex.ru

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

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

Поступила в сентябре 2017 г.

© Колесникова Л.И., 2017

Kolesnikova L.I.

STS. PETER AND PAUL CHURCH IN PROKHOROVKA-WAR MEMORIAL

In the article briefly describes the military actions of 1943 g. prokhorovka, tank battle, perelomivshee offensive progress of German troops at Kursk and on to Moscow. Construction of the temple, built to the 50 anniversary of the victory in the Great Patriotic War 1941–1945 Gg.

Keywords: *tank battle, offensive, hostilities, Temple, monument, Tower, space-planning decision, accumulator, altars, altar, temple complex.*

Information about the authors

Kolesnikova Lyudmila Ilyinichna, Professor.

E-mail: arh.lik@yandex.ru

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

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

Received in September 2017

© Kolesnikova L.I., 2017

**ИСТОРИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
РАССЕЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ***

perkova.margo@mail.ru

В исследовании рассматривается периодизация развития территории Белгородчины. Прослеживается формирование региональной системы расселения, которое обусловлено строительством Белгородской черты. Анализируется функционально-планировочная структура крепостей и слобод, получивших развитие как центральные места локальных систем расселения. Подробно рассмотрен первый цикл развития территории и выявлены закономерности развития малых городов Белгородской области.

Ключевые слова: Белгородская черта, крепости, слободы, малые города, региональная система расселения.

Градостроительное развитие Белгородчины является непрерывным историческим процессом, начиная с древних времен и до наших дней. В данной работе рассматривается период формирования широтной системы расселения, обусловленной строительством Белгородской черты с конца 16. Исторический процесс формирования региональной системы расселения в современных административных границах территории Белгородской области можно условно подразделить на 2 цикла, 4 стадии и 7 этапов. **Первый цикл** состоит из трех стадий и начинается периодом активного освоения обширных пространств лесостепи с 1574 г для борьбы с крымскими вторжениями, которые сыграли значительную роль в заселении «Дикого поля» [7, 8, 9]. **Второй цикл** – вторая половина XX (1954 г.) – начало XXI в. включает две стадии и два этапа развития территорий Белгородской региональной системы расселения как субъекта РФ. **Первая стадия** – социалистический период, связанный с преобразованиями в сложившейся структуре расселения на базе развития индустриально-аграрного комплекса области. **Вторая стадия** – современный этап развития системы расселения, который включает 2 этапа. **Первый этап** – переходный (характеризуется масштабными изменениями в идеологии, экономической и политической жизни СССР). **Второй этап** – территориальное развитие в начале 21 века.

Рассмотрим первый цикл развития территории в современных административных границах Белгородской области. На южной части территории России в конце 16 века отсутствовали поселения, территория называлась на картах «Диким полем». Первое упоминание о нападениях татар после исчезновения Золотой Орды и образования новой формы государственности у татар – ханств на юге Восточной Европы, относится к 1506 году.

Первой татарской дорогой был Муравский шлях. Несколько позднее возникли два новых шляха – 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 [5, 8, 9]. Первый цикл включает две стадии. **Первая стадия** – XVI – XVII вв. – период интенсивного заселения территории, создание военно-хозяйственной системы расселения «южного порубежья» России, представляет собой период строительства Белгородской черты и включает **три этапа** [14,15]. Во время **первого этапа** строительства Белгородской черты (1635 – 1645 гг.) построены города-крепости Козлов, Яблонов, Усерд, Короча, Хотмыжск, Вольный, Костёнск, Ольшанск, Усмань, сооружены Козловский и Яблоновский земляные валы. Первые «города» строились быстро, без предварительного осмотра места. Общим для крепостей была геометрическая «регулярность» их очертаний: все они имели более или менее правильную прямоугольную форму, что объяснялось фортификационными требованиями того времени. В крепостях городов Белгородской черты размещались приблизительно те же сооружения, что и в каменных кремлях городов укрепленного «берега» и деревянных укреплениях тульских городов: церковь, съезжая изба, иногда объединявшаяся с тюрьмой погреба для хранения боеприпасов, комплекс воеводского двора. Имелись также осадные дворы жителей на случай военного времени. За первый период строительства сплошная линия построена не была, и татары, находя

незащищённые места, продолжали опустошать русские земли. Во время *второго этапа* (1646–1653 гг.) строительство Белгородской черты практически завершилось: построены города-крепости Карпов, Болхолец, Орлов, Новый Оскол, Коротояк, Верхососенск, Добрый, Сокольск, Урыв, Острогожск, перенесён на другое место Белгород, насыпаны Карповский, Новооскольский, Усманский земляные валы [11]. Во время *третьего этапа* (1654–1658 гг.) полностью завершилось строительство черты (построена крепость Нежегольск). В 1658 г. сформировали Белгородский полк, город Белгород определён главным городом на черте, утверждён Белгородский разряд как новая военно-административная единица. Все города Белгородской черты, а также находящиеся поблизости от неё, были переданы в подчинение белгородскому воеводе.

Таким образом, Белгородская черта, строительство которой завершилось в 1653 г., имела важное значение для внешней и внутренней политики России. Она позволила закрыть русские земли от татарских набегов, заселить обширные южные районы и подготовиться к войне с Польшей за Украину. Белгородская черта представляла собой систему городов-крепостей, острогов, земляных валов, а также естественных природных препятствий. Она начиналась от города Ахтырки, шла в северо-восточном направлении почти 800 км (по территории нынешних Белгородской, Воронежской, Липецкой и Тамбовской областей) и переходила в Тамбовскую черту.

В планировке, застройке и композиции населенных пунктов Засечной черты можно выделить ряд особенностей. Главная функция поселений – оборонительная, население городов состояло исключительно из служивых людей, количество посадского населения было незначительно, как правило, в городах, ставших центрами ремесла и торговли. Во всех «украинных» городах планировочным и композиционным центром города была крепость. Ее доминирование было выражено сильнее, чем в «береговых» и тульских городах, поскольку при одновременной разбивке всего города на местности крепость с самого начала учитывалась градостроителями как ядро города и главный градообразующий фактор. Посадские храмы и торг подчинялись ансамблю крепости. Помимо основной функции – оборонительной в крепостях и слободах население осваивало прилегающие территории, занималось земледелием, ремесленным производством. Постепенно утрачивая оборонительные функции, большинство крепостей стали развиваться как

центральные населенные пункты.

Вторая стадия – XVIII в. – начало XIX в. – период расселение населения по всей территории края и формирование административно-торговых систем городских поселений. Происходит развитие городов, сложение локальных систем расселения, транспортных, торгово-экономических, производственных и других связей. Вторая стадия включает два этапа. На каждом этапе истории становления среды на 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 [6]. Административное устройство Белгородчины неоднократно менялось в процессе проведения реформ. По данным писцовых книг, в первой четверти XVII в. на территории современной Белгородской области было три уезда – Белгородский, Оскольский и Валуйский. В результате административной реформы, проводимой Петром I в 1717 году, была создана Белгородская провинция. В 1727 году по указу Сената (правления Екатерины I) была образована Белгородская губерния. Затем Белгород с прилегающими территориями вошел в состав Курского наместничества, вскоре переименованного в губернию. Белгород в это время становится уездным центром, уступив лидерство Курску. По новому административному делению в 1779 году территория нашего края вошла в состав двух губерний Российской империи – Курской и Воронежской. На *первом этапе* происходит формирование главных узловых элементов системы расселения. В конце XVII века города-крепости Белгородской засечной черты теряют свое стратегическое значение и часть городов-крепостей, не имеющая других функций, кроме оборонительной, приходит в упадок, превращается в селения или исчезая вовсе (Нежегольск, Карпов, Яблонов, Усерд, Карпов, Верхососенск и другие) [12]. 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) [1-4].

Рассмотрим шесть крепостей и слобод, получивших дальнейшее пространственное и социально-экономическое развитие. Период XVIII – начало XIX века отмечен внедрением

регулярных принципов в планировку городов. В первой половине XIX века планировочная структура городов приобрела регулярный характер, отвечавшим требованиям того времени – упорядочение пространства города на основе прямоугольной уличной сети и выявление композиционных центров. Сложившаяся сетка кварталов сохранила преимущество: прямоугольная сетка улиц Грайворона и Корочи, где все улицы ориентировали по сторонам света в соответствии с розой ветров, радиально-кольцевая застройка г. Бирюч [13]. В те времена существовала сеть дорог разного назначения и включала государственные тракты, дополнительные к ним дороги, региональные дороги между поселениями, дороги местного значения (подъездные, тупиковые, на сельскохозяйственные угодья, в леса). Государственные тракты и региональные дороги преимущественно меридионального направления вели к государственной границе между Россией и Украиной. Появились генеральные планы городов, создававшиеся для упорядочения городского пространства (Короча –1784 г., Новый Оскол –1786 г., Валуйки – 1740 г, Бирюч – 1786 г.). Были разработаны межевые карты и планы, свидетельствующие о многочисленных земельных спорах между помещиками. Изучение отраслевых структур малых городов выявило зависимость от природных ресурсов и сохранение преимущества на протяжении более трех веков исторически сложившихся специализаций хозяйств [10]. Например, маслобойное производство в г. Алексеевке, плодово-ягодные сады и консервные комбинаты и молочные производства в г. Короче, ликеро-водочные заводы в г. Валуйках развиваются до настоящего времени. Важным моментом в развитии малых городов стало строительство железных дорог. Это стимулировало развитие торговли, способствовало социальному и экономическому росту.

Отраслевая структура городов рассматриваемого периода представлена:

1. Развитием строительной отрасли: в Грайвороне 3 кирпичных завода, крупорушка, маслобойня, 22 ветряных мельницы, пивоварни, кузнецы. В Новом Осколе построили кирпичный завод, в Короче организовали строительные предприятия.

2. Пищевое производство: в Алексеевке 1833 г. был построен первый в России маслобойный завод, в г. Бирюч – плодоваягодные комбинаты, маслозавод. В Валуйках производили сахар, масло, ликеро-водочную продукцию, молокопродукты. В

Короче – молочные заводы, маслозавод, плодоваягодное производство. В Новом Осколе консервный комбинат.

3. Обрабатывающее производство в Валуйках составляло 61%. В Шебекино в 1914 г был открыт кожевенный завод и скотобойня на 1385 рабочих.

4. Перерабатывающая промышленность в Грайвороне составляла 20 %. В Новом Осколе построили комбикормовый завод, в Короче производство селитры, в Шебекино выпускались неметаллические минеральные продукты.

5. Сельскохозяйственные предприятия в Валуйках составляли 13,5 %, была построена птицефабрика. В Грайвороне 18 % составляла сельскохозяйственная отрасль. В Короче выращивали плодовые деревья и кустарники, развивалось винокурное дело (1760 г) и переработка с/х продукции.

6. В г. Шебекино осуществлялось производство машин и оборудования, развивалось химическое производство.

Второй этап – вторая половина XIX–начало XX вв. - этап развития промышленных центров и транспортной инфраструктуры. Особенностью экономической деятельности на территории региона является создание полных технологических циклов. Например, все владение Ребендеров представляло собой 12 экономий, каждая из которых являлась специализированным хозяйством и объединялась с другими в единый хозяйственный комплекс. Все процессы, протекающие в экономиях, были взаимосвязаны между собой и представляли замкнутую цепочку по переработке вторичного и производству первичного сырья. Такой подход сохранял преимущество со сменой владельцев территории. Развитию социальной инфраструктуры также уделяли большое значение. В городах развивался человеческий потенциал. В Валуйках работали школы для детей и взрослых, обучали кузнецов, столяров, портных, была больница на 20 коек, построена почтовая дорога от г. Валук до г. Воронежа. В Бирюче построена типография и в 1912 г – почтово-телеграфная станция. Алексеевка являлась вполне сформированным центром торговли и промыслов края с подготовленными кадрами торговцев. В Короче в 1820 открыто Корочанское уездное училище, 1868 – публичная библиотека, сельскохозяйственный техникум и школы садовых рабочих, в 1897 году открыт центр Российского садоводства. В Новом Осколе была построена метеостанция. В Шебекино в 1905 г запущена электростанция, в 1875 построена сельскохозяйственная школа на 120

чел.

Таким образом, второй этап – активной урбанизации территорий малых городов Белгородской области характеризуется активным развитием разнообразной градообразующей базы городов, социальной инфраструктуры и человеческого потенциала. Следствием является рост численности населения, развитие промышленности, изменение характера застройки, что подтверждается картографическими материалами рассматриваемого периода.

Проведенный ретроспективный анализ помог выявить историко-культурное своеобразие малых городов как характеристику идентичности: темпы роста городов и характер градостроительного развития, тип сложившийся планировочной структуры, главные магистрали, основные линейные элементы каркаса (улицы) и узлы планировочной структуры (площади). Архитектурно-типологический анализ зданий и сооружений XIX – начала XX вв. выявил архитектурно-планировочные особенности центральной части семи малых исторических городов Белгородской региональной системы расселения. Историко-культурная среда исторических центров городов Корочи, Алексеевки, Грайворона, Нового Оскола, Бирюча и Валук отражает многовековое движение переселенцев из Украины, что отразилось на этнокультурных традициях рассматриваемых городов, стало фактором возникновения самобытных форм архитектуры проживающих на территории Белгородчины народов. Объекты архитектуры в «высоких» стилях, дошедших до наших дней и участие известных зодчих в строительстве на территории Белгородской области было незначительным. Большинство сохранившихся памятников архитектуры были построены во второй половине XIX – начале XX веков: жилая застройка (45 объектов историко-культурного наследия), общественные здания и сооружения (40 объектов историко-культурного наследия), церковные сооружения (12 объектов историко-культурного наследия), практически отсутствуют объекты ландшафтной архитектуры. Основным стилистическим направлением в архитектуре малых городов во второй половине XIX века была эклектика. Для построек начала XX века характерно появление черт романтизма, модерна и неоклассицизма [16]. Существует органическая взаимосвязь планировочной структуры и объемно-пространственной композиции с ландшафтом и природным окружением, присутствующая всем рассматриваемым малым городам.

В результате исследования первого цикла развития Белгородчины выявлено, что устойчи-

вость узлов сети расселения (малых городов) связано с многофункциональностью (разнообразием видов деятельности) и развитыми пространственными связями (магистралями). Локальные системы расселения, центрами которых являлись малые города, получали развитие благодаря внедрению новых на тот момент времени технологий и опережающему управлению развитием территорий.

Таким образом, проведенный историко-географический анализ дает основание трактовать Белгородскую засечную черту как прямую пространственно-историческую предшественницу Белгородской региональной системы расселения. Выявлена периодизация и цикличность градостроительного развития территории Белгородской области в целом, в контексте развития исторических малых городов как центральных мест локальных систем расселения. Она включает 2 цикла, 4 стадии, 7 этапов и является одной из фундаментальных градостроительных характеристик.

Определены закономерности формирования региональной и локальных систем расселения, заключающиеся в развитии сложной линейно-узловой структуры населенных пунктов и отражают последовательную смену способов освоения среды: от локальных форм приспособления местности (рельефа, водоемов, рек) к преобразованию природной среды и созданию форм искусственной среды. Они формировались под влиянием транспортных силовых линий московского государства, овражно-балочной сети и первичных ядер расселения (крепостей и слобод) к пространственному развитию малых и крупных городов, локальных и региональной системы расселения. Шесть малых городов из восьми существующих на территории региона являются историческими и получили свое развитие как крепости и слободы Белгородской черты. Раскрыта пространственная и социально-экономическая преемственность в управлении развитием территории городов, заключающаяся в формировании торговых пространственных связей и многопрофильной структуры экономики, сохранившей свою направленность на протяжении трех веков. Основные особенности функционально-планировочной структуры малых городов: преемственность и цикличность развития на основе генеральных планов; регулярность градостроительной системы, геометричность уличного каркаса, регулярность разбивки кварталов и участков; кластерный («слободской») характер освоения территорий.

**Работа выполнена в рамках Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Генеральный план городского поселения «Город Строитель» Белгородской области. Т.1. Пояснительная записка. Белгород. 2009., Районы Белгородской области. Бородин А.С. Белгород. 1988.
2. Генеральный план городского поселения «Город Валуйки» Белгородской области. Т.1. Пояснительная записка. Белгород. 2008.
3. Генеральный план городского поселения «Город Грайворон» Белгородской области. Т.1. Пояснительная записка. Белгород. 2008.
4. Генеральный план городского поселения «Город Алексеевка» Белгородской области. Т.1. Пояснительная записка. Белгород 2009., Отчет «Корректировка генерального плана городского поселения «Город Короча» Белгородской области». «Материалы обоснования» Т. II. Белгород 2008.
5. Гуляницкий Н.Ф. Градостроительство Московского государства XVI - XVII веков. Под общ. Ред. Н.Ф. Гуляницкого. М.: Стройиздат, 1994. 317 с.
6. Есаулов Г.В. Архитектурно-градостроительное наследие Юга России: Его формирование и культурный потенциал/дисс. на соис.д.арх., М., 2004, 482 с.
7. Загоровский В.П. Воронежский край с древнейших времен до конца VII века. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1976, 192 с.
8. Загоровский В. П. Глава III. Географическое описание Изюмской черты // Изюмская черта. Воронеж: Изд-во: ВГУ, 1980. 239 с.
9. Ильин А.И., Ткаченко, К.Е., Битюгин К.Е. Белгородские воеводы. Конец XVII века. Белгород: Отчий край, 2004. 56 с.
10. Крогиус В. Р. Исторические города России как феномен ее культурного наследия. М.: Прогресс-Традиция, 2009. 312 с.
11. Овчинников В. В. Царев – Алексеев – Новый Оскол: история новооскольской земли XVIII вв. Белгород: ЗАО «Белгородская областная типография», 2009. 320 с.
12. Подключников В. Стратегический фактор в общей планировке древнерусских городов. Сообщения кабинета теории и истории архитектуры. Вып. 3. М.: Издание Академии архитектуры СССР, 1943.
13. Перькова М.В., Трибунцева К.М., Киселев С.Н. Исторический аспект формирования функционально-планировочной структуры малых городов Белгородской области. // Эл. сб. докл. Региональной научно-практ. конф. / Белгор. гос. технол. Ун-т (Белгород, 9-10 апреля 2015 г.) Белгород: Изд-во БГТУ, 2015.
14. Перькова М.В., Трибунцева К.М. Возникновение и развитие малых городов Белгородской области. Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. 144 с.
15. Трибунцева К.М. Возникновение и строительство Белгородской засечной черты // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2017. № 6. С. 86–90.
16. Щенков А.С. Основы реконструкции исторических городов. М.: Московский архитектур. ин-т (гос. академия), 2008. 154 с.

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 сентябре 2017 г.

© Перькова М.В., 2017

Perkova M.V.

THE HISTORICAL PROCESS OF FORMATION OF A REGIONAL SETTLEMENT SYSTEM IN BELGOROD REGION

The article considers the periodization of the development of the Belgorod region. The formation of a regional settlement system, which is conditioned by the construction of the Belgorod line. The functional-planning structure of fortresses and settlements, which have been developed as the central places of local settlement systems, is analyzed. We discussed in detail the development of the territory of the first cycle and the regularities of the development of small cities in the Belgorod region.

Keywords: *Belgorod line, fortress, settlements, towns, regional settlement system.*

Information about the authors

Perkova Margarita Victorovna, 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 September 2017

© Perkova M.V., 2017

DOI: 10.12737/article_5a27cb83a92297.11914445

Ярмош Т.С., доц.,
Иванилова Е.И., студент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

**ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОЗЕЛЕНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ГОРОДА,
КАК СРЕДСТВО УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ ГОРОДСКОГО НАСЕЛЕНИЯ***

architektura_bgty@mail.ru

В настоящее время проектирование жилой среды ориентировано на формирование жизненного пространства человека как единого социокультурного комплекса. Включение участков естественной природы в планировочную структуру города – во все времена было одной из главных градостроительных задач. Существует множество современных решений экологических проблем посредством зеленых насаждений. К примеру, в городе Губкин к существующим уже двум действующим заповедникам, предлагается проект «Губкин-парк», с помощью которого правительство собирается превратить Губкинский район и сам город с серьезными санитарно-экологическими проблемами в зелёную зону.

Ключевые слова: природа, городская среда, промышленность, зеленые насаждения, экологическая среда.

В настоящее время проектирование жилой среды ориентировано на формирование жизненного пространства человека как единого социокультурного комплекса [1]. Анализируя современное состояние качества городской среды, нужно отметить такие серьезные проблемы как рост населения, беспорядочную урбанизацию, социальную дестабилизацию, – и все это неразрывно связано с экологическими проблемами, стихийным уничтожением природных ресурсов, флоры, фауны. Такой дисбаланс порождает психо-физические проблемы, социальную дискриминацию [2]. Поэтому, для решения этих проблем, одной из главных градостроительных задач было и остается: включение участков естественной природы в планировочную структуру города.

Во все времена выдвигались самые разнообразные идеи по решению данного вопроса: можно выделить три основных периода, которые принципиально различались своим подходом. Самый первый из них отличается тем, что системы зеленых насаждений имеют правильные

геометрические формы (концентрические, кольцевые, линейные и т.д.). Этот подход начался с появлением первых городов, которые, в свою очередь, рассматривались без учета внешнего окружения (схемы Г. Шарпа, Ш. Фурье).

Второй период, начиная с конца XIX – первой половины XX века, тесно связан с появлением крупных промышленных центров и рождением агломераций. В ходе этих изменений, архитектурно-планировочные решения городов нуждались в разработке систем озелененных территорий, представляющих собой зеленые пояса, диаметры, зеленые клинья и т.д.

Третий период (вторая половина XX в.) отличается от предшествующих комплексным подходом к проектированию городов и территорий, прилегающих к ним. Непосредственно в городе зеленым насаждениям отводилось более 50 % площади, в микрорайонах – 70 % от общей территории (рис. 1).

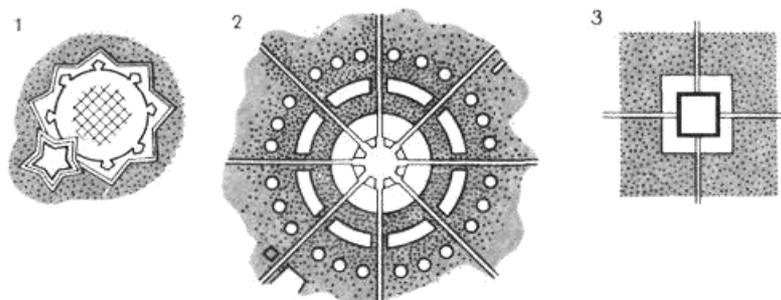


Рис. 1. Теоретические схемы систем зеленых насаждений городов:

1 – идеальный город Ж. Перре. Зеленые насаждения окружают крепостные стены, внутри города они практически отсутствуют (1601); 2 – город из «Кодекса природы» Морелли; 3 – «Образцовая» схема колониального города Г. Шарпа. Вокруг компактного города создаются пояса общественных парков и пояса садов и ферм [3]

Скорое развитие городов по всем направлениям (по вертикали и горизонтали) стремительно снижает привлекательность ландшафта местности. Разнообразные объекты природы, такие как рощи, рельефные берега озер и рек, террасы, живописные холмы (например, в г. Белгороде это Архиерейская роща, Армячий лог и др.) – всё это сможет сыграть значимую роль в формировании городской среды, если будут органично включены в систему зеленых насаждений города, а, значит, и в городскую планировочную структуру.

В современном городе применяют гибкие планировочные структуры, способные реагировать на изменяющиеся потребности и условия, поэтому системы озелененных территорий города постоянно усложняются, а их отдельные элементы все больше дифференцируются [3].

В небольших городах, как правило, существуют несколько городских парков различного назначения, садов, бульваров, скверов. С увеличением же города значительно возрастает различие таких объектов, его озеленение по функциям, размерам и типам.

Различные системы, которые применяются для озеленения городов, можно объяснить тем, что градостроительное условие каждого города различается его местоположением в системе группового расселения, размещением жилой застройки, общественных единиц, промышленности; размером и установленной схемой зонирования территории, архитектурно-планировочным решением территории, схемой автотранспортных магистралей. Таким условием является также перспектива развития города и организация единой системы озелененных пространств. Большое внимание уделяется природно-климатическим, физико-географическим, экологическим, санитарно-гигиеническим и некоторым другим факторам.

В зависимости от выше перечисленных факторов, от градостроительных и природных требований, система озеленения города может быть представлена в следующих видах: как однородно разбросанные зеленые «пятна» по всей территории города (зеленые массивы – клинья, принимающие в центр города); системы парков, скверов, бульваров, открытых пространств, расположенных вдоль рек пересекающих город; одной или нескольких полос зеленых насаждений на протяжении застройки вдоль, а также, в некоторых случаях, поперечно, разделяя город на некоторые отрезки (линейный планировочный тип города); озелененных территорий, окружающих отдельные городские районы. В настоящий момент наиболее значимым требованием является увеличение массивов зеленых территорий. В городах целесообразно включать зеленые массивы протяженностью более 0,5 км, которые будут делить

городскую застройку на районы площадью около 100 га (рис. 2)

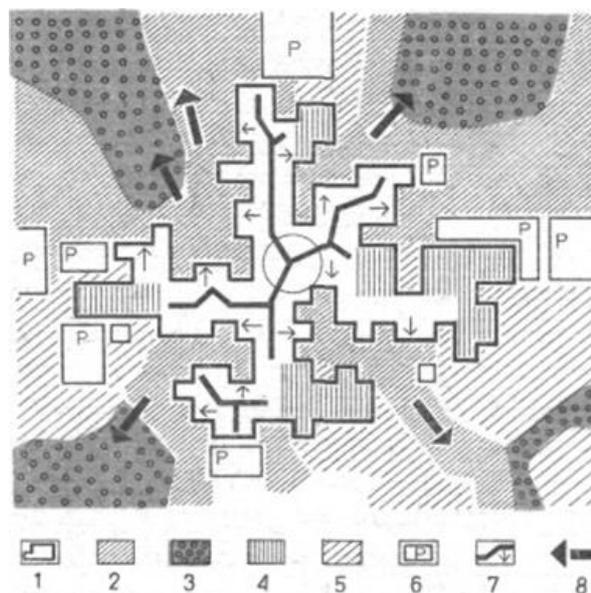


Рис. 2. Принципиальная модель взаимосвязанной системы внутригородских и пригородных открытых пространств: 1 – селитебные территории; 2 – зеленые клинья открытых пространств – головные зоны рекреации; 3 – экологическая зона; 4 – промышленные и коммунально-складские территории; 5 – открытые пространства коммунально-хозяйственного назначения; 6 – зоны градостроительного развития; 7 – условная линия, разделяющая селитебные территории на районы тяготения к открытым пространствам; 8 – сохраняемые непрерывные связи городских и загородных открытых пространств [3]

В городах, где имеются значительные источники загрязнения важно производить озеленение промышленных зон, автотранспортных и коммунальных территорий, то есть использовать научно обоснованные схемы размещения зеленых санитарно-защитных зон. Озеленение можно и нужно внедрять в сердце самого города за счет разуплотнения перенаселенных районов города путём сноса ветхого жилья [4].

Такие зоны создаются в виде полос между жилыми и промышленными районами, учитывая направление ветра (перпендикулярно господствующим ветрам). Зеленые насаждения размещают с учетом создания оптимального аэрационного режима на городской территории. Специально направленные широкие аллеи и массивы зелени улучшают проветривание застройки и предупреждают возможность застоя загрязненного воздуха в низинах. Также проведенные исследования показали, что зеленые насаждения влияют на температурно-влажностный режим: даже небольшой зеленый массив снижает температуру летом на несколько градусов не только

внутри себя, но и в прилегающих районах [5] – важное свойство поглощать тепловую энергию. Взаиморасположение открытых и озелененных пространств позволяет регулировать тепловой баланс и создавать конвекционные точки воздуха в городской застройке [6]. Так, для обеспечения аэрации поселений благоприятными ветрами, размещаются разрывы в зеленых насаждениях по направлению господствующих ветров, представленных в виде лугов, полей, просек или водных пространств, интегрированных в общую ландшафтную композицию.

Как пример нового подхода к этой проблеме может являться город Губкин Белгородской области. Для того, чтобы понять, что представляет собой город, заглянем на страницы его истории. В 1960 году на карте СССР только появляется город Губкин, и уже в 1967 году начинается строительство крупного градообразующего промышленного – предприятия – Лебединского горно-обогатительного комбината. В настоящее время он является самым крупным в мире карьером по добыче железной руды. К сожалению, именно из-за него наблюдается экологическая катастрофа на территории города и пригородных районах Губкинского округа, которые образовались непосредственно вокруг предприятия. Ныне Губкин – один из индустриальных центров Белгородской области с населением 120 тыс. человек. Из них свыше 40 %, по данным социологических опросов, недовольны состоянием местной экологической среды. К сожалению, в числе причин, заставляющих губкинцев задыхаться, называется не только горная промышленность, но и увеличение количества транспортных средств на дорогах, обилие животноводческих комплексов. Последние, правда, расположены не в самом городе, а вокруг него, но все равно негативно влияют на районную экологическую среду [7]. В данном случае очень важно понимать, что благоприятная для людей и природы здоровая среда городов обеспечивает физический, психологический и социальный комфорт жителей, гармоничное и устойчивое социальное и экономическое развитие города [8].

Уже сейчас на территории Губкинского района действуют два заповедника, где свободное пребывание запрещено законом: Лысые горы и Ямская степь.

Однако этого мало, необходимы современные проекты по борьбе с загрязненным воздухом.

Одним из них стал проект «Губкин-парк», с помощью которого правительство собирается превратить Губкинский район и сам город с серьезными санитарно-экологическими проблемами в зеленую зону. Деревья будут высажены на площади около 1900 га. Вдоль дорог будет организована живая изгородь общей площадью 219 га. Что немаловажно, в проекте есть еще одно новшество – посадка именных дубрав, которые по проекту появятся до конца 2016 года, занимая общую площадь в 210 га. Они будут посажены в честь исторически важных персонажей, работников различных профессий и трудовых династий.

Вывод: Без грамотного подхода к организации экологически чистой среды, без рационального устройства и внедрения зеленых зон в планировочные схемы городов и пригородов, не может существовать «умный», а главное безопасный для жизнедеятельности людей город. Поэтому понимание потребностей человека, его отношения к окружающей среде и возможностей влияния на принятие решений по её обустройству требует самого внимательного рассмотрения [9].

**Работа выполнена в рамках Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ярмош Т.С. Комплексная оценка готовности к социокультурному проектированию жилой среды // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 5. С. 256–260.
2. Казанцев В.И., Светульников М.Г. Социология города. Ульяновск: УлГТУ, 2004. 140 с.
3. Горохов В.А. Зеленое строительство. М.: Стройиздат, 1991. С. 260.
4. Бутягин В.А. Планировка и благоустройство городов. М.: Стройиздат, 1974. 256 с.
5. Николаевская И.А. Благоустройство городов. М.: Высшая школа, 1990. С. 109.
6. Оскольские новости. 2000. № 18. С. 5.
7. Леженин В.Н. Удивительный Хай-Лайн парк. Татлин. 2012. №2. С. 25–26.
8. Тетиор А.Н. Городская экология. М.: Академия. 2008. 336 с.
9. Ярмош Т.С., Михина О.В. Социокультурные принципы проектирования жилой среды // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 5. С. 254–258.

Информация об авторах

Ярмош Татьяна Станиславовна, доцент кафедры архитектуры и градостроительства.

E-mail: architektura_bgty@mail.ru.

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

Иванилова Елена Игоревна, студент кафедры архитектуры и градостроительства.
E-mail: ivanova.ivanilova@yandex.ru.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в октябре 2017 г.

© Ярмош Т.С., Иванилова Е.И., 2017

Yarmosh T.S., Ivanilova E.I.

THE FORMATION OF A SYSTEM OF GREEN AREAS OF THE CITY, AS A MEANS OF IMPROVING THE QUALITY OF LIFE OF THE URBAN POPULATION

Currently, the design of the residential environment is focused on the formation of the living space of humans as a single socio-cultural complex. Inclusion of natural areas in the planning structure of the city was the one of the major urban tasks at all times. There are many modern solutions to environmental problems through green spaces. For example, in Gubkin city to the existing two existing reserves, the Gubkin-Park project is proposed, with the help of which the government is going to turn the Gubkinsky district and the city witch has serious sanitary and environmental problems into the green zone.

Keywords: *nature, urban environment, industry, green spaces, ecological environment.*

Information about the authors

Yarmosh Tatyana Stanislavovna, Assistant professor.

E-mail: architektura_bgty@mail.ru.

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

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

Ivanilova Elena Igorevna, Bachelor student.

E-mail: olga.koalchenko@mail.ru.

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

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

Received in October 2017

© Yarmosh T.S., Ivanilova E.I., 2017

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.12737/article_5a27cb84383e09.39945102

Павленко А.В., аспирант,
Ястребинский Р.Н., канд. физ.-мат. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ИССЛЕДОВАНИЕ АГРЕГАТИВНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ МЕТИЛСИЛИКОНАТ НАТРИЯ – НИТРАТ ВИСМУТА*

yrndo@mail.ru

В работе рассмотрены вопросы агрегативной устойчивости системы метилсиликонат натрия – нитрат висмута, используемой для получения металлоолигомеров по золь-гель технологии, а также исследования гидродинамической активация данной водной суспензии. Разработана теоретическая модель взаимодействия метилсиликоната натрия в водно-спиртовом растворе с нитратом висмута (III) в ацетоновом растворе, подкисленном азотной кислотой по золь-гель технологии с образованием коллоидной твердой фазы, обладающей высокой агрегативной неустойчивостью, которая значительно интенсифицируется в результате воздействия гидродинамической кавитацией (ультразвука) и введения в суспензию высокодисперсного оксида висмута (III). Агрегация твердых частиц до размеров 100–500 мкм в суспензии, подвергнутой УЗ-обработке протекала в 3 раза быстрее, чем в суспензии не подвергнутой УЗ-обработке, что вызвано механоактивацией твердых частиц при УЗ-кавитации суспензии и как следствие повышению их агрегативной неустойчивости. Образование наиболее крупных частиц (1000 мкм) наблюдалось в суспензии, подвергнутой УЗ-обработке через 6 мин против 12 мин в суспензии без УЗ-обработке.

Ключевые слова: метилсиликонат натрия, нитрат висмута, покрытия, дисперсность, агрегация, устойчивость, свойства.

Введение. Одним из актуальных направлений создания высокодисперсных металлоолигомерных, наполнителей полимеров с заданными свойствами является метод золь-гель технологии. Данный метод имеет ряд преимуществ: высокую степень гомогенизации образующихся продуктов, низкие температуры синтеза, а, следовательно, пониженные энергозатраты и упрощенную технологическую схему производства. Перспективным является использование водорастворимых химически активных органосилоксанов и на их основе получение металлоолигомеров [1].

Разработка высокодисперсных металлоорганосилоксановых наполнителей с модифицированной поверхностью позволит решать многие важные проблемы в области радиационного материаловедения, в том числе и при создании новых видов полимерных композиционных радиационно-защитных материалов с повышенными физико-механическими, радиационными, химическими, и технологическими характеристиками [2]. Необходим новый технологический подход к решению поставленной комплексной задачи.

Для синтеза высокодисперсного наполнителя для полимерных матриц необходимо выполнение следующих требований:

- частицы порошка должны быть монодисперсными;
- размер частиц порошка не более 5 мкм;
- порошки должны быть однофазными по минеральному составу.

В связи с этим в данной работе рассмотрены вопросы агрегативной устойчивости системы метилсиликонат натрия – нитрат висмута, используемой для получения металлоолигомеров по золь-гель технологии, а также исследования гидродинамической активация данной водной суспензии.

Методика. Для синтеза в системе $\text{Na}_2\text{O}-\text{Bi}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ (NBS-материал) использован водно-спиртовой раствор метилсиликоната натрия (МСН) $\text{H}_3\text{CSi}(\text{OH})_2\text{ONa}$ и раствор пятиводного нитрата висмута $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ в ацетоне, подкисленный азотной кислотой. Расчетные количества исходных компонентов взяты исходя из возможности получения стабильного силиката висмута состава $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ ($6\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$).

Фракционный состав свежеприготовленной суспензии, полученной в результате смешения расчетной концентрации водно-спиртового раствора метилсиликоната натрия (МСН) и ацетонового раствора нитрата висмута, подкисленного азотной кислотой исследован методом лазерного рассеивания на дифракционном микроанализаторе «Frisch Analysete 22 Nano Tec Plus».

Основная часть. Наиболее доступными и эффективными гидрофобизаторами многих видов неорганических материалов среди кремнийорганических соединений являются органо-силиконаты натрия. Эти соединения, обладающие строением $\text{HO}[\text{RSi}(\text{ONa})\text{O}]_n\text{H}$ (где: $n=3-16$, $\text{R}=\text{CH}_3, \text{C}_2\text{H}_5$ и др.) в водном растворе распадаются на мономерные молекулы $\text{RSi}(\text{OH})_2\text{ONa}$, и димеры.

Алкилсиликонаты натрия образуют практически нерастворимые в воде соединения со многими растворимыми в воде солями многих металлов. Необходимо было выяснить, будет ли ион висмута при диссоциации нитрата висмута $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ в водном растворе замещать ион натрия в силанольной группе ($\text{Si}-\text{ONa}$) метилсиликоната натрия.

Кислотные признаки нитрата висмута проявляются в характере гидролиза, который преобладает над электролитической диссоциацией:



Ионы висмута в растворе не обнаружены,

т.к. даже в сильно кислых средах гидролизует до одновалентного иона висмутила $(\text{BiO})^+$, ионный радиус которого равен 0,222 нм. Ионный радиус Na^+ равен 0,116 нм, что в 1,91 раза меньше ионного радиуса $(\text{BiO})^+$. Следовательно, согласно правилу изоморфизма В.М. Гольдшмидта (“изоморфизм возможен, если ионные радиусы взаимозамещающихся структурных единиц различаются не более 15 %) можно предположить, что висмутит-ион не может изоморфно заместить ион натрия в силанольной группе метилсиликоната (МСН) [3, 4].

Данное предположение находит подтверждение при анализе ИК-спектра синтезированного порошка, полученного в результате смешения водно-спиртового раствора МСН с ацетоновым раствором нитрата висмута, отмытого в дистиллированной воде и высушенного при 100 °С. Так характерная полоса поглощения в ИК-спектре синтезированного продукта для силанольной ($\text{Si}-\text{O}-\text{Na}$)- группы при 935 см^{-1} сохраняется (рис. 1).

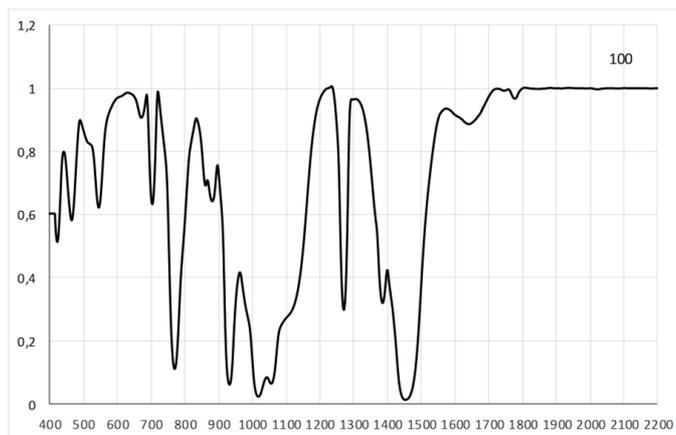
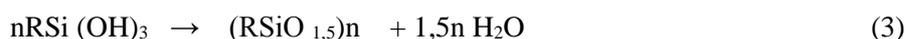


Рис. 1. ИК-спектр системы $\text{Na}_2\text{O}-\text{Bi}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ (HBC- материал)

При обработке неорганических материалов алкилсиликонатами натрия гидрофобные алкил-

полисиликонатные слои образуются также в результате реакции карбонизации с углекислотой воздуха:



Гидрофобная силикатная пленка на поверхности неорганического материала по реакциям (2 и 3) образуется в течение 1–2 суток.

При смешении щелочного раствора МСН и раствора нитрата висмута в осадок выпадает гидроксид висмута $\text{Bi}(\text{OH})_3$:



который при 100 °С переходит в оксид висмута Bi_2O_3 . Следовательно, при температуре 100 °С и

выше возможно протекание процесса поликонденсации между гидроксильными OH -группами образующимися полиметилсиликонатом натрия и гидроксидом висмута, что подтверждено экспериментально.

На рис. 2 представлены кинетические интегральные и дифференциальные кривые распределения по размерам твердых частиц в суспензии. В начальный период (1–2 мин.) образования твердой фазы твердые частицы находились в двух дисперсных состояниях (0,1–0,5 мкм.

и 1–10 мкм). По-видимому, наиболее высокодисперсные частицы (0,1–0,5 мкм) могут быть представлены образованием коллоидного кремнезема ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) в виде золя в результате разрушения азотной кислотой части молекул МСН.

Через 8 мин. наиболее высокодисперсные

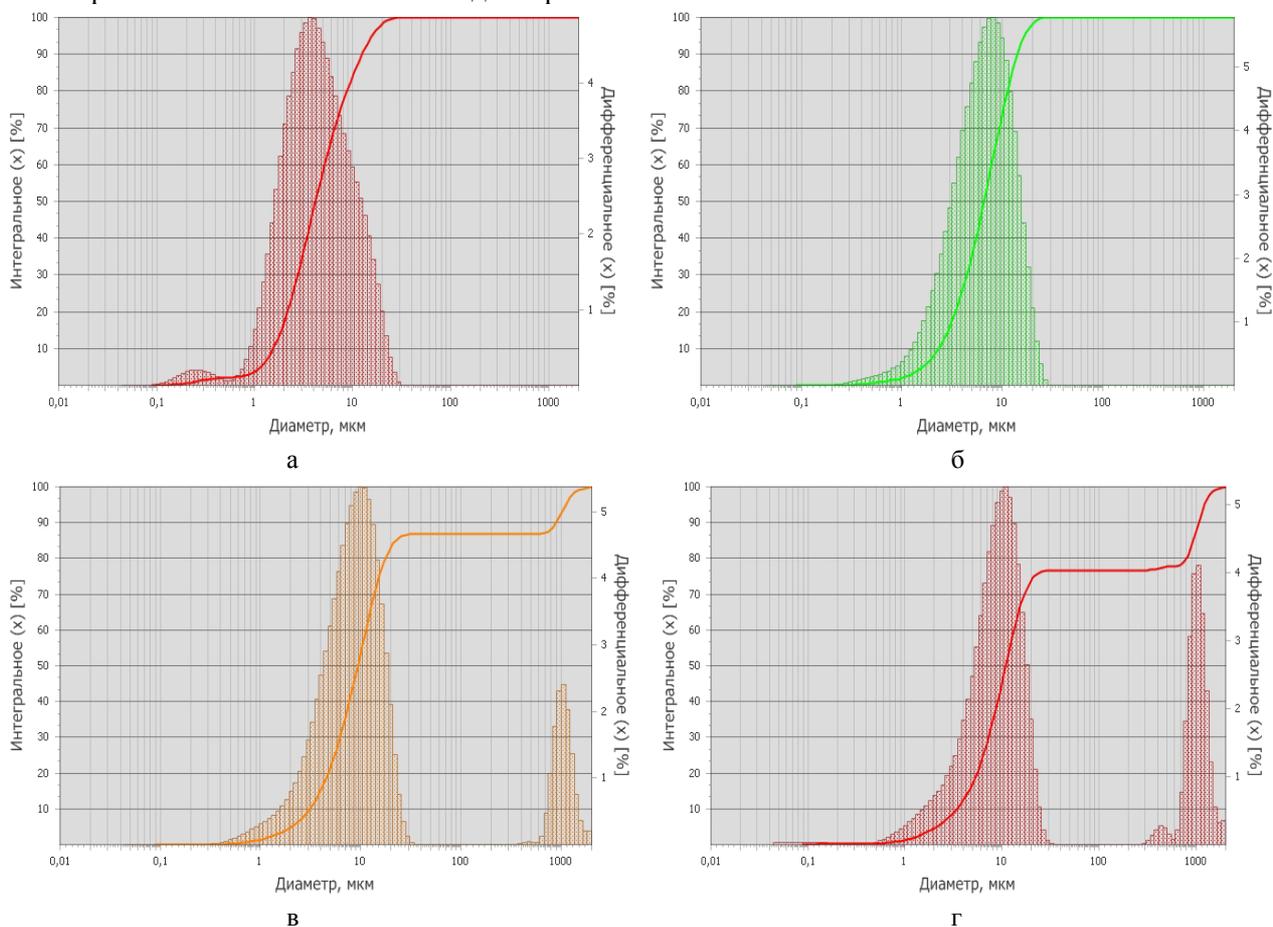


Рис. 2. Интегральные и дифференциальные кривые распределения по размерам твердых частиц в суспензии системы (МСН – нитрат висмута): а) 2 – 4 мин ; б) 4 – 8 мин.; в) 6 – 12 мин.; г) 8 – 16 мин

Полученные экспериментальные результаты свидетельствуют о высоком энергетическом уровне твердых частиц в растворе системы (МСН – нитрат висмута) в связи с их высокой удельной поверхностью ($26500 \text{ см}^2/\text{см}^3$), что и обуславливает их агрегативную неустойчивость.

Одним из эффективных способов активации воды является ультразвуковое (УЗ-) воздействие, относящееся к механическим способам диспергирования. Данный метод активации воды характеризуется универсальностью и эффективностью.

При воздействии на водный раствор УЗ-излучения происходят сложные физико-механические процессы, появляются зоны повышенного и пониженного давления. В зонах повышенного давления создаются кавитационные каверны (микропузырьки), а в зонах пониженного давления происходит интенсивное схлопывание микрокаверн, что аналогично образованию микровзрывов.

Аналогичная свежеприготовленная водная

частицы (0,1–0,5 мкм) в системе не наблюдались. Через 12 мин. происходила заметная агрегация твердых частиц и их размер достигал 1000 мкм. Количество таких агрегатов в дальнейшем непрерывно возрастало.

суспензия в системе (МСН - нитрат висмута) подвергалась УЗ-обработке (частота 22 кГц, интенсивность излучения $60 \text{ Вт}/\text{см}^2$, время обработки 10 с.).

Известно, что УЗ-обработка изменяет водородный показатель (рН), поверхностное натяжение, электропроводность, окислительно-восстановительный потенциал и ряд других показателей воды. Вода обладает кислотно-основными буферными свойствами (рН-const) и изменение рН воды может быть связано с изменением концентрации ионов H^+ и OH^- , что приводит к потере буферной способности воды. УЗ-активация воды приводила к возрастанию рН воды от 7,0 до 8,4 что может вызвать щелочную активацию минеральных фаз в водной суспензии, придавая поверхности минеральных фаз основной характер. По данным [5] метастабильное состояние воды сохраняется в течение 30 мин. Таким образом, УЗ-обработка приводит к подщелачиванию воды.

УЗ-обработка суспензии приводила к диспергации частиц твердой фазы (рис. 3). Доля высокодисперсных частиц размером от 0,01 мкм до 0,5 мкм возрастало до 43,6 %, тогда как без УЗ-обработки этот показатель составлял 19,4 %, т.е.

УЗ-обработка суспензии способствовала возрастанию высокодисперсных частиц в 2,25 раза. Удельная поверхность твердых частиц в суспензии после УЗ-обработке также возрастало с 26084 см²/см³ (без УЗ-обработке до 38563 см²/см³ (с УЗ-обработкой), т.е. в 1,5 раза (рис. 4).

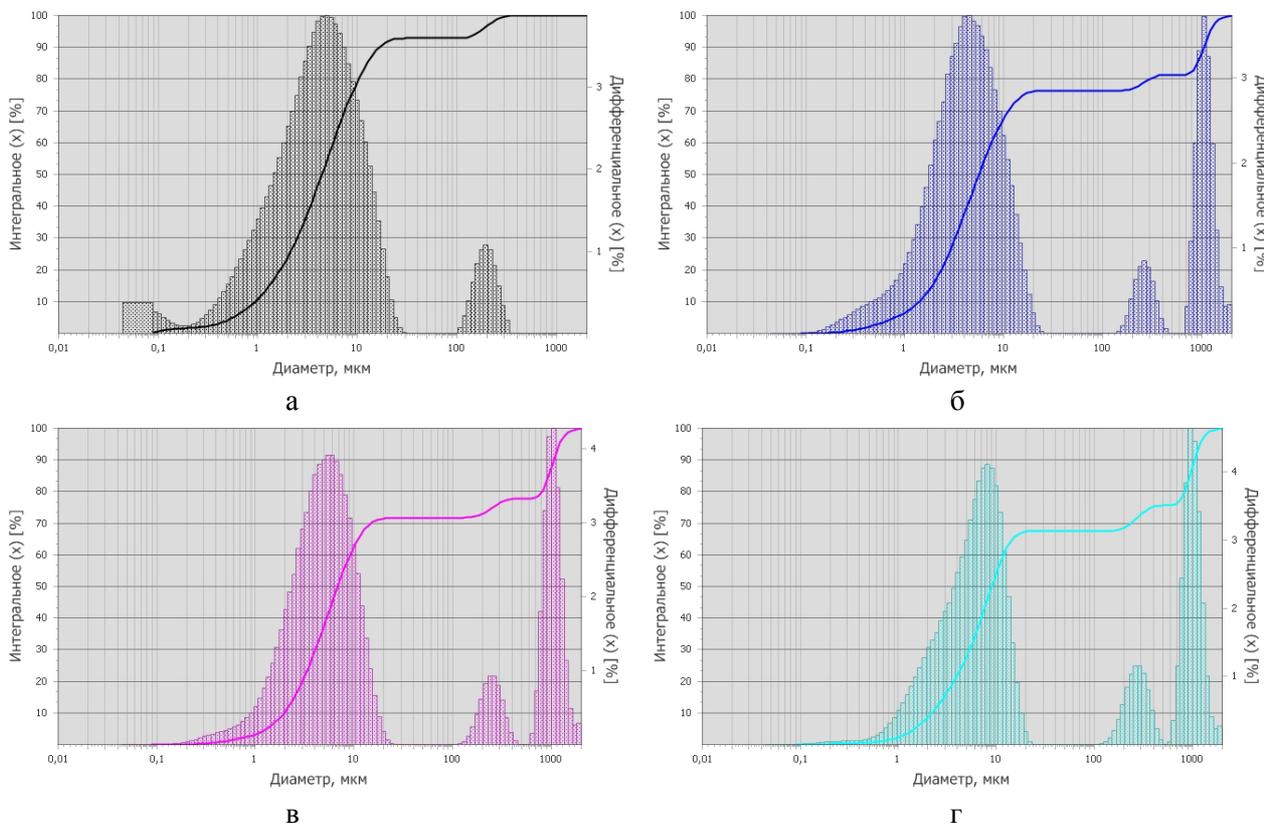


Рис. 3. Интегральные и дифференциальные кривые распределения по размерам твердых частиц в суспензии системы (МСН – нитрат висмута), подвергнутой УЗ-обработке: а) 2 – 4 мин.; б) 4 – 8 мин.; в) 6 – 12 мин.; г) 8 – 16 мин.

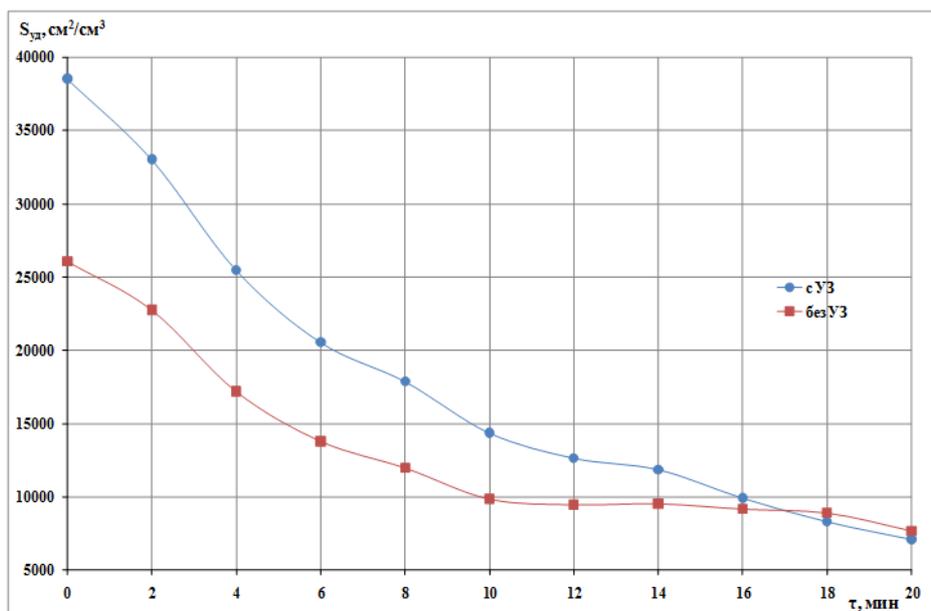


Рис. 4. Кинетика изменения удельной поверхности твердых частиц в суспензии системы (МСН – нитрат висмута)

С течением времени в обоих типах суспензии наблюдалась агрегация твердых частиц (рис. 5). Однако УЗ-обработка суспензии приводила к ускоренной агрегации твердых частиц. Агрегация твердых частиц до размеров 100–500 мкм в

суспензии, подвергнутой УЗ-обработке протекала в 3 раза быстрее, чем в суспензии не подвергнутой УЗ-обработке, что вызвано механоактивацией твердых частиц при УЗ-кавитации суспензии и как следствие повышению их агрегативной неустойчивости [6–8].

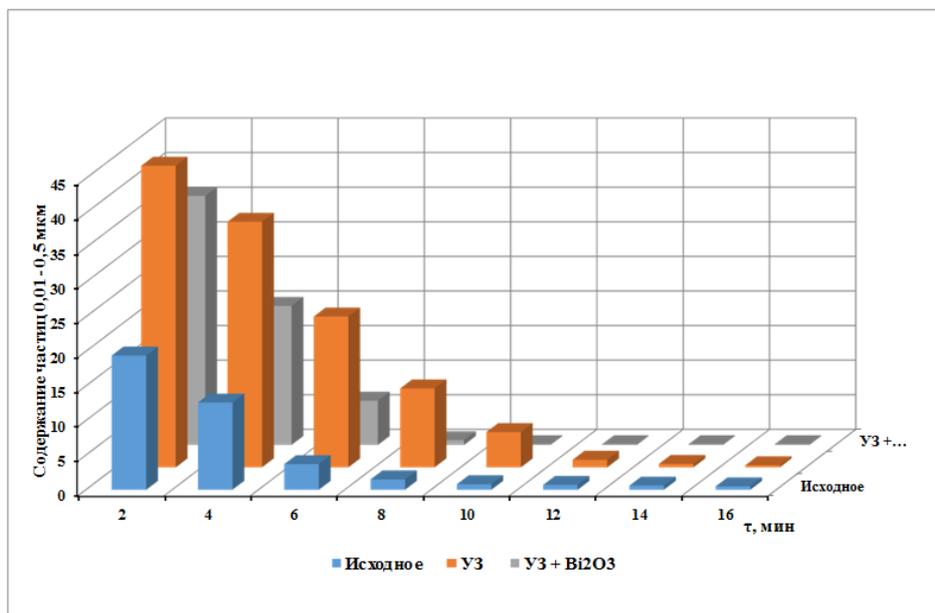


Рис. 5. Кинетика содержания высокодисперсных твердых частиц в суспензии системы (МСН – нитрат висмута) при физико-химическом воздействии

Образование наиболее крупных частиц (1000 мкм) наблюдалось в суспензии, подвергнутой УЗ-обработке через 6 мин против 12 мин в суспензии без УЗ-обработке.

Таким образом, агрегативная неустойчивость системы метилсиликонат натрия – нитрат висмута значительно интенсифицируется в результате воздействия гидродинамической кавитации (ультразвука) и введения в суспензию высокодисперсного оксида висмута (Ш).

Выводы. Разработана теоретическая модель взаимодействия метилсиликоната натрия в водно-спиртовом растворе с нитратом висмута (Ш) в ацетоновом растворе, подкисленном азотной кислотой по золь-гель технологии с образованием коллоидной твердой фазы, обладающей высокой агрегативной неустойчивостью, которая значительно интенсифицируется в результате воздействия гидродинамической кавитацией (ультразвука) и введения в суспензию высокодисперсного оксида висмута (Ш).

**Работа выполнена в рамках Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Павленко В.И., Ястребинский Р.Н., Ястребинская А.В., Павленко З.В. Высокодисперсные органосилоксановые наполнители полимерных матриц // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2010. № 2. С. 99–103.
2. Павленко В.И., Ястребинский Р.Н. Термопластичные конструкционные композиционные материалы для радиационной защиты // Перспективные материалы. 2010. №6. С. 22–28.
3. Шлегель В.Н., Панцуркин Д.С. Выращивание кристаллов $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ и $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ низкоградцентным методом Чохральского // Кристаллография. 2011. Т 56. № 2. С. 367–372.
4. Андрианов К.А. Кремнийорганические соединения. М.: Химия, 1975, 328 с.
5. Милинчук В.К. Макрорадикалы. М.: Химия, 1980, 264 с.
6. Клебанский Е.О., Кудзин А.Ю., Пасальский В.М. и др. Тонкие золь-гель пленки силиката висмута // Физика твердого тела. 1999. Т. 41. вып. 6. С.1003–1005.
7. Паньков Г.Н. Радиационная модификация полимерных материалов. Киев: Техника, 1969, 69 с.
8. Смит А. Прикладная ИК спектроскопия // «Мир», М., 1982, 250 с.

Павленко Алексей Вячеславович, аспирант.

E-mail: belpavlenko@mail.ru

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

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

Ястребинский Роман Николаевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии.

E-mail: yrndo@mail.ru,

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

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

Поступила в октябре 2017 г.

© Павленко А.В., Ястребинский Р.Н., 2017

Pavlenko A.V., Yastrebinsky R.N.
RESEARCH OF AGGREGATE STABILITY OF THE METILSILIKONAT SYSTEM
OF SODIUM – BISMUTH NITRATE

In work questions of aggregate stability of system metilsilikonat sodium – nitrate of bismuth, the technology used for receiving metallooligomer on zol-gel and also researches hydrodynamic activation of this water suspension are considered. The theoretical model of interaction of the metilsilikonat of sodium in aqueous-alcoholic solution with nitrate of bismuth (III) in the acetone solution acidified by nitric acid on technology zol-gel with formation of the colloidal firm phase having high aggregate instability which is considerably intensified as a result of influence by hydrodynamic cavitation (ultrasound) and introduction to suspension of high-disperse oxide of bismuth (III) is developed. Aggregation of firm particles to the sizes of 100-500 microns in the suspension subjected US – processing proceeded 3 times quicker, than in the suspension which isn't subjected US - processing that is caused by mechanoactivation of firm particles at US – to cavitation of suspension and as a result increase in their aggregate instability. Formation of the largest particles (1000 microns) was observed in the suspension subjected US – processing in 6 min. against 12 min. in suspension without ultrasound - processing.

Keywords: metilsilikonat sodium, nitrate of bismuth, covering, dispersion, aggregation, stability, properties.

Information about the authors

Pavlenko Aleksey Vyacheslavovich, PhD, Professor.

E-mail: belpavlenko@mail.ru

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

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

Yastrebinsky Roman Nikolaevich, PhD, Assistant professor.

E-mail: yrndo@mail.ru

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

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

Received in October 2017

© Pavlenko A.V., Yastrebinsky R.N., 2017

РОЛЬ ДВОЙНЫХ СОЛЕЙ НА ОСНОВЕ СУЛЬФАТОВ Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , NH_4^+ В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ АНГИДРИТОВЫХ ВЯЖУЩИХ

Klimenko3497@yandex.ru

В работе исследованы условия образования и роль двойных солей на основе сульфатов Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , NH_4^+ в технологии материалов на основе ангидритовых вяжущих.

Показано, что на образование двойных солей существенное влияние оказывает форма сульфата кальция и внешние параметры. Образуя малорастворимые кристаллогидраты в поровой структуре гипса, двойные соли могут выступать в качестве коагулирующих агентов. Сингенит является эффективным активатором твердения нерастворимого ангидрита. Предложен механизм образования высолов на поверхности гипсовых строительных материалов и методы его устранения.

Ключевые слова: двойные соли, нерастворимый ангидрит, гипс, строительный гипс, сингенит, коктаит, гидроглауберит, глауберит, коагуляция пор, РФА, рН.

Введение. Двойные соли – это сложные вещества, образованные одним кислотным остатком и катионами нескольких металлов. Примерами таких солей могут служить: доломит ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$); алюмо-килиевые квасцы ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$); коктаит $(\text{NH}_4)_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ [1]; сингенит $(\text{K}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O})$ [2]; соли Туттона общей формулы $\text{Me}_2^{\text{I}} \cdot \text{Me}^{\text{II}}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ [3]. Где Me_2^{I} – Cs^+ ; K^+ ; Na^+ ; NH_4^+ и др. Me^{II} – Cd^{2+} ; Co^{2+} ; Cu^{2+} ; Fe^{2+} ; Zn^{2+} и др. Как правило, двойные соли существуют в твердом виде, а в растворе распадаются на исходные катионы и анионы. Их в основном и получают, выделяя из раствора средних солей. Реже двойные соли образуются при взаимодействии отдельных средних солей. Вероятность образования двойных солей тем больше, чем больше различаются у катионов, входящих в состав исходных солей, отношения электрических зарядов к ионным радиусам. Если прочность связи аниона с одним из катионов значительно больше, чем с другим, можно выделить ацидо-комплексы.

Двойные соли встречаются в различных строительных материалах на основе минеральных вяжущих в том числе гипсовых вяжущих. Литературные сведения о влиянии двойных солей на гипсовые вяжущие не однозначны, а иногда и противоречивы. Так, образованием мелких не срастающихся кристаллов сингенита Даумантас Э.П. объясняет снижение прочности ангидрита, активированного KCl и K_2SO_4 в количествах $> 5-7$ мас. %. Утверждается, что кристаллы сингенита замедляют гидратацию и твердение нерастворимого ангидрита CaSO_4 II [4]. Еще

раньше Мартинайтис М.А. [5] обнаружил двойные соли в промежуточных продуктах гидратации CaSO_4 II в присутствии NaHSO_4 .

Федорчук Ю.М. [6], изучавший активацию фторангидрита K_2SO_4 , указывает, что при взаимодействии сульфатов кальция и калия образуются иглоподобные кристаллы сингенита в 6-8 раз длиннее, чем кристаллы гипса. Кристаллы сингенита служат центрами кристаллизации и осаждения гипса.

В ангидритовых вяжущих согласно теории, предложенной П.П. Будниковым, активация гидратации ангидрита идет через образование двойных солей [7]. Вместе с тем, не до конца выяснена роль двойных солей в формировании структуры гипсовых материалов и ее устойчивости к внешним воздействиям, а также в образовании высолов на строительных материалах.

В связи с этим, как с практической, так и с теоретической стороны, актуальными являются исследования процессов и продуктов взаимодействия в гипсовых системах, содержащих сульфаты щелочных и щелочноземельных металлов. Чему и посвящена представленная работа.

Цель работы. Определение условий образования двойных солей в системах на основе сульфата кальция и сульфатов калия, натрия, аммония. Выяснение их роли в процессах гидратации и структурообразования материалов на основе ангидритовых вяжущих.

Методология. В работе использован заводской строительный гипс Г-4 (СГ) ОАО «Хабезский Гипсовый Завод», Али-Бердуковского месторождения Карачаево-Черкессии. Физико-механические характеристики гипса: $R_{\text{сж.}} = 4-5$ МПа, $R_{\text{изг.}} = 2,0 - 2,5$ МПа, сроки схва-

тывания 8–13 мин., величина рН водных суспензий ($V/T=12,5$) равна 7,4. Термический нерастворимый ангидрит получали обжигом природного гипса при температуре 650 °С в течение 3 часов. Величина рН его водных суспензий равна 11,06. Измельчали сырьевые материалы в вибромельнице. Прочностные характеристики материалов определяли на образцах размером 2×2×2 см. Испытания проводились через 7 суток после их заливки в формы, а также после сушки в сушильном шкафу в течение 2 часов при 60 °С. В качестве активаторов твердения ангидрита использовали K_2SO_4 , Na_2SO_4 и $(NH_4)_2SO_4$ спецификации х.ч.

Для изучения природы и продуктов взаимодействия сульфата кальция с сульфатами щелочных металлов и аммония был применен потенциометрический метод, позволяющий по изменению величины рН суспензий контролировать ход химических реакций. Продукты взаимодействия компонентов идентифицированы с помощью рентгенофазового анализа (РФА).

Основная часть. Для ускорения гидратации $CaSO_4$ II чаще всего используют сульфатные активаторы твердения в количестве, не превышающем 2 мас. %. Щелочные активаторы твердения $CaSO_4$ II используются в несколько больших количествах (известь -2-5 %, доломит, обожженный при 800–900 °С – 5-8 %, основной доменный шлак – 10–15 %, зола сжигания топлива – 10–20 % [8]). Ввиду небольших количеств добавок, идентификация продуктов, образующихся в гипсовых системах затруднительна. В связи с

этим были проведены исследования гидратации и твердения ангидрита при количествах добавки активатора до 20 %.

Установлено, что сульфаты K^+ ; Na^+ и NH_4^+ по-разному ведут себя в смеси с $CaSO_4$ II (рис. 1). Лучшей активирующей способностью по отношению к термическому $CaSO_4$ II обладают сульфаты K^+ и NH_4^+ . У сульфата Na^+ активирующая способность несколько ниже. Оптимальное количество добавок сульфатов, обеспечивающее наибольшую прочность, составляет 1–2 мас. %. При количествах добавки активатора больше 2 мас. % прочность вяжущих уменьшается более резко для $CaSO_4$ II с добавками сульфата аммония и более плавно для $CaSO_4$ II с добавками сульфатов калия и натрия. Причем, $CaSO_4$ II с добавками сульфата калия при равных условиях имеет наибольшую прочность, что мы связываем с образованием в его структуре сингенита.

Сингенит – это малорастворимая соль. Ее образование используется для извлечения из растворов сульфата калия. Сингония – моноклинная, структура слоистая, обусловленная чередованием слоев из SO_4^{2-} и М-полиэдров со слоями из крупных R – полиэдров. Кристаллы мелкие таблитчатые, иногда расщепленные или иглообразные. Не растворим в этаноле и частично растворим в воде. Твердость 2,5. Согласно ДТА сингенит теряет воду при 265 °С, затем около 450 °С происходит необратимый распад его на K_2SO_4 и $K_2SO_4 \cdot 2CaSO_4$, сопровождающийся поглощением тепла. Сингенит образует малорастворимый кристаллогидрат [9].

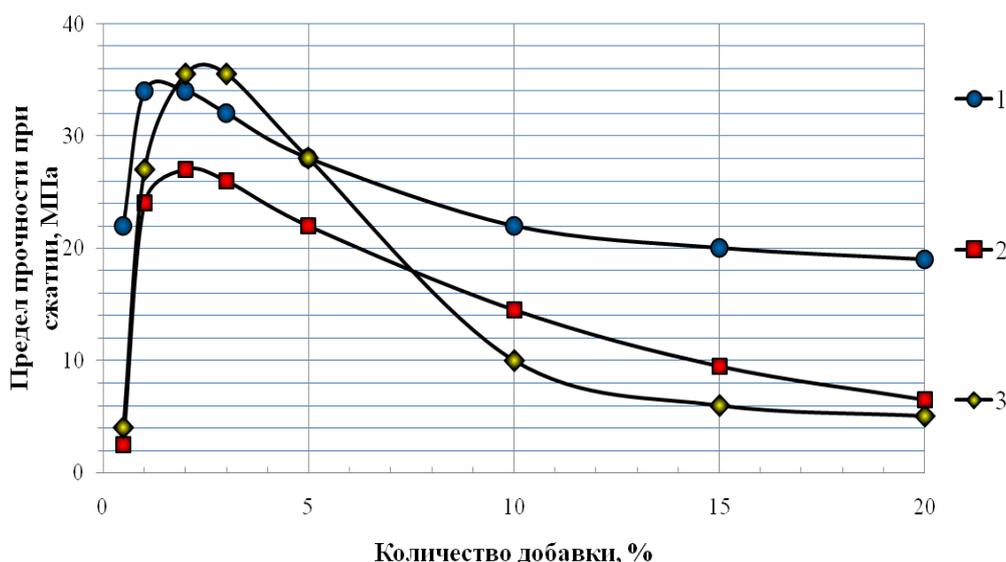


Рис. 1. Активация твердения термического $CaSO_4$ II сульфатами: 1 – K^+ ; 2 – Na^+ ; 3 – NH_4^+

Образцы ангидритового вяжущего, активированного добавками K_2SO_4 в количестве >3–5 %, на своей поверхности не имеют высолов, что мы также связываем с образованием кристал-

логидрата малорастворимой двойной соли сингенита ($K_2Ca(SO_4)_2 \cdot H_2O$). Данная соль образуется по всему объему образцов, уплотняя их структуру. Образование сингенита отмечено ранее нами при потенциометрических исследованиях

гипсовых систем [10, 11]. Установлено, что пробы ангидрита, активированные Na_2SO_4 , не зависимо от количества добавки, имеют на своей поверхности высолы. Согласно РФА (рис. 2) высолы состоят из $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Гидроглауберит ($\text{Na}_{10}\text{Ca}_3(\text{SO}_4)_8 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) в системах на основе гипса и сульфата натрия образуется в незначительных количествах и не влияет на процессы твердения ангидрита. Находясь в свободном виде, ионы сульфата натрия свободно мигрируют по образцу и при сушке выделяются в виде высолов. Глауберит нами не обнаружен.

На образцах термического CaSO_4 II, активированного $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, появляются небольшие количества высолов только при количестве добавки > 5 мас. %. Это связано с тем, что сульфат аммония взаимодействует с сульфатом кальция с образованием хорошо растворимой соли – коктаита. Большие добавки сульфата аммония (5-

20 мас. %) приводят к падению pH среды вяжущих и значительному замедлению выделения аммиака. Этому способствует слабокислая реакция среды $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

Коктаит образуется в обычных условиях при смешивании гипса с $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Процесс образования коктаита протекает при $\text{pH} = 7,6-7,8$. Исходные суспензии гипса и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ имеют pH 10,6 и 5,8 соответственно. В продуктах синтеза содержание гипса минимально. Образование коктаита отмечалось нами ранее при синтезе гипса из CaCl_2 и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Выход гипса по этой реакции уменьшается из-за образования хорошо растворимой двойной соли коктаита. Кристаллы его игольчатые или волокнисто-пластинчатые. Сингония – моноклинная. Спайность отсутствует. Плотность 2,09 г/см³. Коктаит образует псевдоморфозы по гипсу [9]. Встречается в ассоциации с гипсом, аммониевыми квасцами, масканитом.

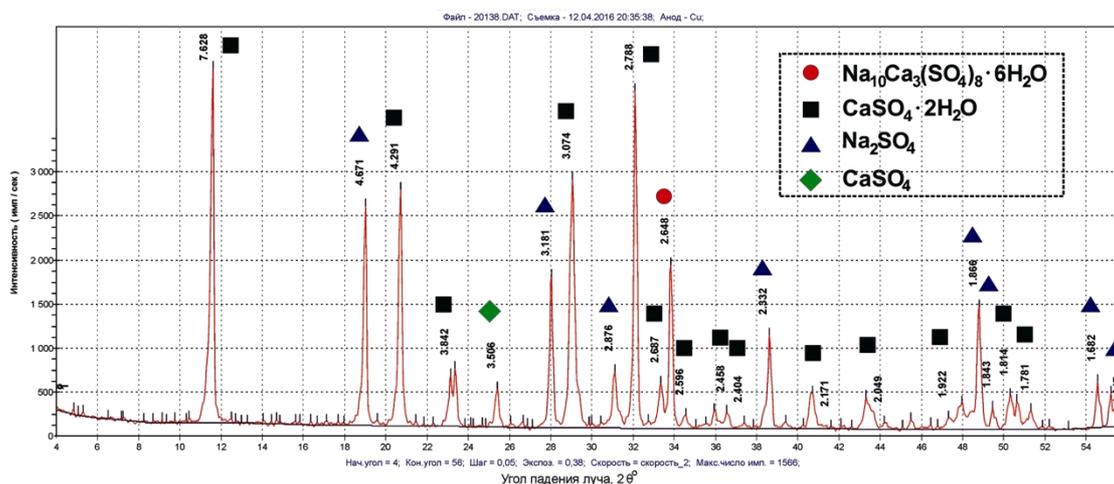


Рис. 2. РФА высолов на образцах ангидрита, активированного Na_2SO_4

В продуктах взаимодействия сульфата кальция и сульфатов K^+ , Na^+ и NH_4^+ установлено образование сингенита ($\text{K}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), коктаита ($(\text{NH}_4)_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) и гидроглауберита ($\text{Na}_{10}\text{Ca}_3(\text{SO}_4)_8 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). На рентгенограммах (рис. 3) этим соединениям соответствуют рефлексы со следующими межплоскостными расстояниями, Å: для сингенита – 9,509; 5,717; 4,745; 3,164; для коктаита – 9,992; 5,809; 4,968; 3,314; 2,903; для гидроглауберита – 9,213; 5,505; 4,659; 2,931. Кроме того, в продуктах взаимодействия присутствует гипс и не вступившие в реакцию, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; K_2SO_4 ; Na_2SO_4 . Характерно, что в системе на основе сульфатов кальция и аммония количество остаточного гипса незначительно, а количество коктаита максимально. Наоборот, в системах на основе сульфатов кальция и натрия количество гидроглауберита минимально. Анализ рентгенограмм двойных солей показывает, что

они имеют близкие характеристики параметров кристаллических решеток.

Особый интерес представляют системы на основе сульфатов кальция и калия, где образуются значительные количества сингенита. Установлено [10], что не все формы сульфата кальция можно использовать для получения сингенита. Наиболее предпочтительно использование гипса, позволяющего получить сингенит при 22–25 °C за 15–20 мин. В системах на основе нерастворимого ангидрита и K_2SO_4 сингенит образуется через 25–30 мин. Хуже всего сингенит образуется со строительным гипсом. Строительный гипс в растворах K_2SO_4 гидратируется не полностью, что отмечается на рентгенограммах рефлексами при межплоскостных расстояниях, Å: 6,087; 3,48; 3,039; 2,82.

Влияние фазового состава сульфата кальция на образование сингенита можно объяснить различной растворимостью его фаз. Гипс имеет

наименьшую растворимость, а строительный гипс – наибольшую. В суспензиях строительного гипса концентрация ионов SO_4^{2-} почти в три раза больше, чем в суспензиях гипса, что уменьшает растворимость K_2SO_4 и сингенит образуется хуже.

В суспензиях гипса и $CaSO_4$ из-за невысокой концентрации SO_4^{2-} растворимость K_2SO_4 выше, что способствует образованию сингенита. Согласно потенциометрическим исследованиям,

суспензии, содержащие равные массы гипса и K_2SO_4 , имеют более щелочную реакции среды, чем исходные вещества, что также указывает на химические процессы, протекающие в данных системах. При образовании сингенита жидкая суспензия структурируется и загустевает, значительно теряя подвижность. В других системах такое явление не наблюдается.

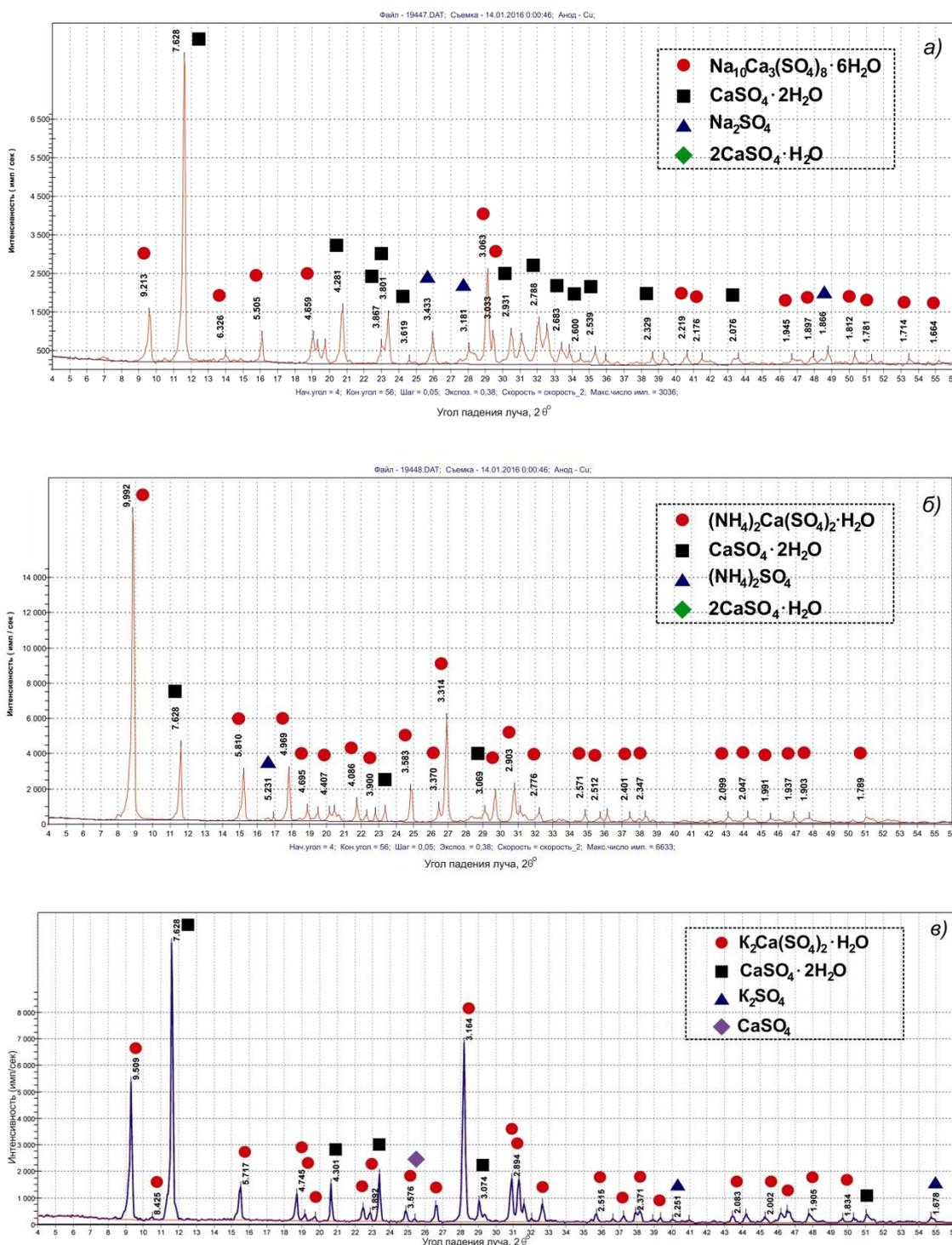


Рис. 3. РФА продуктов взаимодействия сульфата кальция с сульфатами:
 а – Na_2SO_4 ; б – $(NH_4)_2SO_4$; в – K_2SO_4 .

В связи с этим, нами предложен метод упрочнения поверхности гипсовых материалов за счет кольматации его пор сингенимом [12].

Для проверки данного предположения были приготовлены образцы размером 2×2×2 см из строительного гипса Г-5 Хабезского завода, (В/Г=0,55) и термического CaSO₄ II, активированного K₂SO₄, (NH₄)₂SO₄, Na₂SO₄ (В/Г=0,38). Количество добавки активатора твердения CaSO₄ II 2 мас. %. Образцы твердели в естественных условиях 10 дней. Воздушно-сухие образцы выдерживались в насыщенном растворе K₂SO₄ в течение 2 часов при температуре 36–38 °С. При данной температуре растворимость гипса максимальна. Для повышения ионной силы раствора

дополнительно вводился KCl. Обработанные, таким образом, пробы исследовались после 14 сут. твердения.

Из полученных данных (см. табл.1) следует, что прочность гипсовых образцов на основе строительного гипса, обработанных насыщенным раствором K₂SO₄, увеличивается на 8,5 %, а масса – на 1,74 %. Правда водостойкость образцов несколько снижается. Коэффициент размягчения холостых проб равен 0,48, а обработанных K₂SO₄ – 0,39. Гипсовые образцы, выдержанные в насыщенном растворе K₂SO₄ мыльные на ощупь. При высыхании на их поверхности образуется слой вещества белого цвета. Вещество имеет щелочную реакцию среды.

Таблица 1

Характеристики материалов на основе ангидритового вяжущего и гипса Г-5

№ пробы	Природа добавки	Масса проб, г		Изменение массы, %	Рсж. проб, МПа		Изменение Рсж., %
		холостых	опытных		холостых	опытных	
Сухие образцы							
1	(NH ₄) ₂ SO ₄	14,20	14,68	3,40	29,7	31,7	+6,7
2	K ₂ SO ₄	14,28	14,65	2,59	30,4	32,0	+5,3
3	Na ₂ SO ₄	13,76	14,40	4,65	25,0	25,0	нет
4	K ₂ SO ₄ *	13,25	13,90	4,90	22,0	24,0	+9,0
5	Г-5	11,5	11,7	1,74	18,7	20,3	+8,5
Водонасыщенные образцы							
1	(NH ₄) ₂ SO ₄	15,47	15,47	-	15,8	16,7	+5,7
2	K ₂ SO ₄	15,66	15,73	0,44	18,7	19,1	+2,2
3	Na ₂ SO ₄	15,00	15,23	1,53	11,7	14,5	+24,0
4	K ₂ SO ₄ *	15,13	15,03	0,07	13,2	17,0	+28,8
5	Г-5	13,7	13,8	0,73	9,0	7,9	-12,0

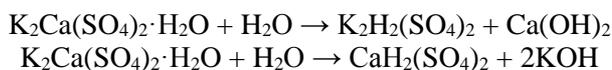
*количество активатора 0,5 %.

Кольматация пор ангидритовых вяжущих зависит от вида активатора твердения и его количества. Большее увеличение массы проб ангидритовых вяжущих по сравнению с образцами на строительном гипсе можно объяснить дополнительной гидратацией ангидрита при обработке его насыщенным раствором сульфата калия. Прочность, как сухих, так и водонасыщенных образцов также увеличивается. Повышается водостойкость гипсовых вяжущих.

Таким образом, K₂SO₄ можно использовать для кольматации пор поверхности гипсовых материалов, улучшая их физико-механические характеристики.

Для проверки влияния сингенима на свойства ангидритовых вяжущих был синтезирован сингеним из гипса спецификации х.ч. и K₂SO₄. Суспензия гипса имела нейтральную среду, а раствор K₂SO₄ – слабокислую с pH 6,15–6,44. Синтез сингенима проводили при 25 °С, а сушку готового продукта – при 60 °С. Перед использованием проба сингенима подвергалась помолу на вибромельнице и активатор вводился в CaSO₄ II

в тонкомолотом виде. Суспензии сингенима имеют слабощелочную реакцию среды с pH = 9,5, что мы связываем с ионизацией воды по одной из ниже приведенных схем:



Образующиеся в результате данных реакций основания будут подавлять гидролиз сульфата кальция и тем самым усиливать его гидратацию. Особенность сингенима, как активатора твердения CaSO₄ II, заключается в том, что его активизирующая способность с увеличением количества добавки от 0,5 до 5,0 % изменяется незначительно, находясь на высоком уровне (см. табл. 2).

На наш взгляд это связано с ограниченной растворимостью сингенима. Для активации CaSO₄ II достаточно 1,5 % сингенима. Активирующая способность сингенима выше, чем у чистого K₂SO₄. Так при количестве добавки активатора 1 % прочность на сжатие гипсовых образцов с сингенимом на 15-20 % выше, чем с K₂SO₄.

Таблица 2

Активация AnII сингенимом

№ п/п	Количество добавки сингенима; %	Рсж. 7 сут. МПа	ρ кг/м ³	pH продуктов гидратации	В/Г
1	–	2,6	1434	8,96	0,38
2	0,5	39,6	1808	8,99	0,38
3	1,0	41,6	1746	9,12	0,38
4	2,0	40,9	1816	9,10	0,38
5	3,0	38,9	1805	9,07	0,38
6	5,0	36,3	1740	9,05	0,38
7*	1,0	36,3	1828	-	0,38

* - ангидрит, активированный K₂SO₄ (1 мас. %)

Статья подготовлена в рамках программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

Выводы. Проведенные исследования показали, что двойные соли играют важную и многогранную роль в технологии гипсовых вяжущих. С одной стороны, они выступают как комплексные активаторы твердения CaSO₄ II, ускоряющие его гидратацию и структурообразующие твердеющие системы. С другой стороны – двойные соли могут выступать как коагулирующий агент поровой структуры, снижающий образование высолов на поверхности гипсовых строительных материалов.

Установлено, что не все двойные соли образуются в обычных условиях. Сингеним и коктаит образуются легче, а глауберит и гидроглауберит – хуже. На образование двойных солей существенное влияние оказывает форма сульфата кальция. Сингеним является эффективным активатором твердения CaSO₄ II, превосходя по этому показателю K₂SO₄. Образуются малорастворимые кристаллогидраты в поровой структуре гипса, двойные соли могут выступать в качестве коагулирующих агентов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бокий Г.Б., Пальчик Н.А., Антипин М.Ю. Генезис и структура коктаита // Труды института геологии и геофизики / Сиб. Отделение АН СССР, 1981. вып. 487. С. 4–8.

2. Позин М.Е. Технология минеральных солей (Удобрений, пестицидов, промышленных солей, оксидов и кислот). М.: Госхимиздат, 1961. С. 111–112.

3. Джесси Рассел. Соли Туттона. Издательство VSD. 2012. 118 с.

4. Даумантас Э.П. Исследование растворимости, гидратации и твердения ангидрита: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Каунас, 1965. 18 с.

5. Мартинайтис М.А. Исследование физико-механических и физико-химических свойств ангидритового цемента на базе кирдонского гипса: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Каунас, 1955. 15 с.

6. Федорчук Ю.М. Разработка способов вовлечения сульфаткальциевых отходов фторородородных производств в круговорот промышленного использования // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2013. № 11-2. С. 151–155.

7. Будников П.П. Гипс, его исследование и применение. М.: Стройиздат, 1950. 374 с.

8. Волженский А.В., Ферронская А.В. Гипсовые вяжущие и изделия (технология, свойства, применение). М.: Стройиздат, 1974. 328 с.

9. Бетехтин А.Г. Минералогия. М.: Государственное издательство геологической литературы, 1950. 956 с.

10. Клименко В.Г., Гасанов С.К., Мамин С.Н. Влияние фазового состава сульфата кальция на образование сингенима в гипсовых системах // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды: Сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 24-25 ноября 2015. Ч.3. С. 124–130.

11. Клименко В.Г., Гасанов С.К., Мамин С.Н. Образование двойных солей в гипсовых и гипсостекольных системах // Materiały XI Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Perspektywiczne opracowania sa nauka I techniki – 2015, Volume 10. Ekologia. Budownictwo I architektura. Chemia I chemiczne technologie. Rolnictwo. Weterynaria: Przemysl. Poland. Nauka I studia. 2015. S. 39–41. (Польша).

12. Клименко В.Г. Коагуляция поверхности гипсовых материалов сингенимом // Современный научный вестник. 2016. Т.7. № 1. С. 84–85.

Информация об авторах

Клименко Василий Григорьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии.

E-mail: Klimentko3497@yandex.ru.

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

Поступила в октябре 2017 г.

© Клименко В.Г., 2017

Klimentko V.G.

THE ROLE OF Na⁺, K⁺, Ca²⁺, NH₄⁺ SULFATES-BASED DOUBLE SALTS IN DERIVATION OF ANHYDRITE BINDERS

Conditions of formation and role of double salts based on Na⁺, K⁺, Ca²⁺, NH₄⁺ sulfates in the processing of materials based on anhydrite binders were investigated.

It was shown that the form of calcium sulfate and external parameters significantly influence formation of double salts. Double salts can act as colmatage agents through forming slightly soluble crystalline hydrates in the pore structure of gypsum. Syngenite is an effective curing activator for insoluble anhydrite. A mechanism of bloom formation on the surface of gypsum construction materials and the methods of elimination thereof were proposed.

Keywords: *double salts, insoluble anhydrite, gypsum, construction gypsum, syngenite, kocktaite, hydroglauberite, glauberite, pore colmatation, XRF, pH.*

Information about the authors

Klimentko Vasily Grigorevich, PhD, Assistant professor.

E-mail: Klimentko3497@yandex.ru

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

Received in October 2017

© Klimentko V.G., 2017

DOI: 10.12737/article_5a27cb876b0ca7.63622611

Ключникова Н.В., канд. техн. наук, доц.,
Гордеев С.А., студент,
Гордиенко М.Д., студент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ПОЛИМЕРНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО ПОЛИИМИДА

4494.55@mail.ru

Получен композиционный материал на основе полиэфиримида Ultem 1000 и синтезированного наполнителя полиметилсиликаната свинца, который синтезировали на основе нитрата свинца и ГКЖ-11. Количество наполнителя в материале в пересчете на количество чистого полимера составляло 0,5, 1 и 1,5 %. Проведены испытания на физико-механические свойства. Доказано сохранение физико-механических и прочностных свойств при создании пленочного материала. Установлено, что полученный композит стоек к радиационному воздействию. УФ воздействие не привело к разрушению полимерной цепи и потери прочности в ряде точек структуры, которое чревато деградацией, растрескиванием и подобным явлениям. Гистограммы полученных материалов до и после исследования на УФ воздействие и криогенную стойкость идентичны, что доказывает неизменность элементного состава и отсутствие остаточных потерь в образцах. Определен широкий термический диапазон эксплуатации полученного материала (от -200 до 200 °С).

Ключевые слова: полиимид, метилсиликонат, композит, структура, температурный диапазон.

Введение. В настоящее время при разработке новых материалов с высокими функциональными свойствами одним из основных технологических подходов является модификация известных простых полимеров путём создания композитов [1–2]. Так, например, введение в полимерную матрицу равномерно распределенных по объёму макромолекулярных волокон или зёрен придает особые свойства композитам. В итоге полученный материал представляет собой молекулярный раствор элементов в гибкой матрице. Предусмотрен так же вариант с созданием многослойного полимерного композиционного материала обладающей слоистой или двухмерной структурой, особенностью которого будет изменение концентрации наполнителя, которая не приведет к потере прочностных и физико-механических свойств [3–4]. Особый интерес в качестве полимерной основы для композитов представляют полиимиды (ПИ) благодаря их высоким механическим и термостойким показателям.

Методология. Вследствие универсального комплекса свойств, а также, сравнительно низкой стоимости, в качестве полимерной матрицы выбран полиимид марки Ultem 1000. В качестве наполнителя использовался метилсиликонат свинца (ПМСС), который был синтезирован на основе нитрата свинца (П) и метилсиликоната натрия.

Гранулированный полимер растворяли в хлороформе, содержание Ultem 1000 в растворе составляло 15 %. После чего, в раствор вводили

синтезированный полиметилсиликонат свинца. Количество наполнителя в материале в пересчете на чистый полимер составляло 0,5, 1 и 1,5 %

Для лучшего совмещения между наполнителем и матрицей ПМСС смешивали с малым количеством хлороформа. Определенное количество полимера и наполнителя смешивали и помещали в ультразвуковую ванну УЗВ – 0,25 и озвучивали в течение 5 минут, после чего добавляли оставшееся количество раствора полиимид и проводили повторное озвучивание с таким же интервалом времени.

Основная часть. При первоначальном получении пленочного материала возникла проблема в связи с тем, что полученные пленки имели дефекты, связанные с разнородностью частиц наполнителя. Было отчетливо видно, что образовывались конгломераты, структура материала получилась не однородной, что могло пагубно сказаться на будущих свойствах материала. Для решения проблемы, связанной с однородностью структуры ПКМ, использовали наполнитель дисперсностью не более 0,04 и 0,05 мм.

Можно заметить (рис. 1), что совмещение между компонентами полимерного композиционного материала прошло успешно, и наполнитель равномерно распределился в структуре матрицы.

Исследование поглощательной способности – (рис. 2) композитом показало, что при увеличении концентрации ПМСС и слоёв полимерной

пленки, радиационно-поглощающая способность полученного полимерно-композиционного материала возрастает.

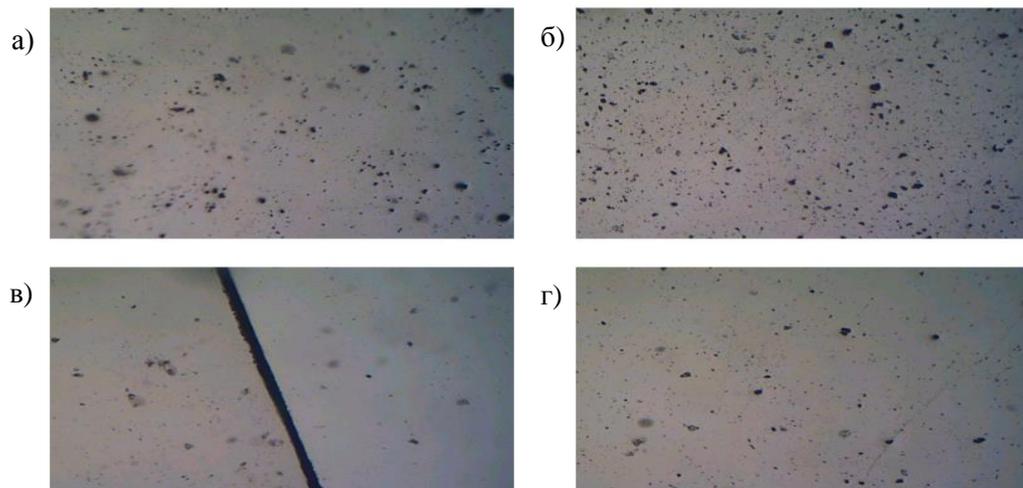


Рис. 1. Структура поверхности полученного композиционного материала на основе Ultem 1000 с различным наполнением ПМСС: а) 0; б) 0,5; в) 1 и г) 1,5 %

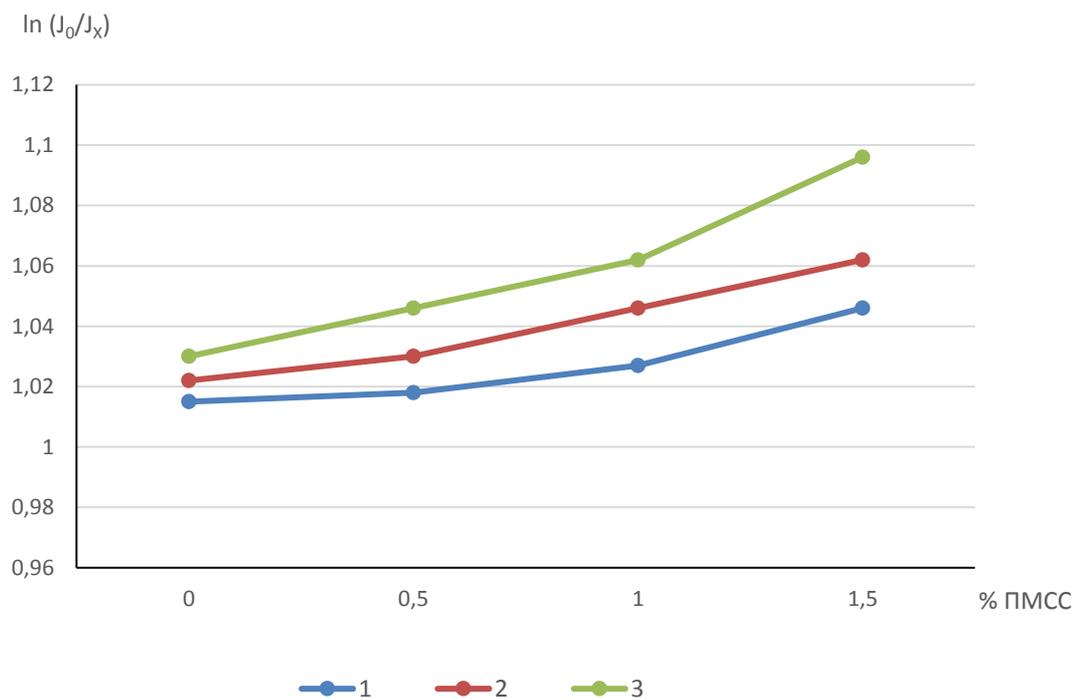


Рис. 2. Зависимость (J_0/J_x) от концентрации ПМСС при различной толщине плёнки: 1–50 мкм; 2–100 мкм; 3–150 мкм; J_0 – интенсивность без поглотителя, J_x – интенсивность с поглотителем

Исследования криогенной стойкости проводили в емкости с жидким азотом при температуре -200 ± 5 °С с количеством повторений 9 циклов. После охлаждения образцов до комнатной температуры проверяли изменение размера или признаки других дефектов, сравнивая с другими аналогичными образцами не подвергшимся криогенному воздействию. Проведённые испытания

позволили сделать вывод, что полученный композит устойчив в диапазоне температур от -200 до 200 °С.

Исследование устойчивости образцов к воздействию ультрафиолетового излучения проводилось с помощью вакуумной настольной установки «VSE-UV.c». Образцы подвергли жесткому УФ воздействию в диапазонах 121–10 нм в

течение 8 часов с количеством повторов 3 цикла.

Гистограммы полученных материалов до и после исследования на УФ воздействие и криогенную стойкость оказались идентичны, что доказывает неизменность элементного состава и отсутствие остаточных потерь в образцах.

Анализ рельефа наполненного композита (рис. 3) показал, что поверхность систем (ПЭИ

Ultem 1000 + 1,5 % ПМТСС) геометрически однородны и являются плоскими, не смотря на наличие наполнителя в пленке. УФ воздействие не привело к разрушению полимерной цепи и потери прочности в ряде точек структуры, которое чревато деградацией, растрескиванием и подобными явлениями.

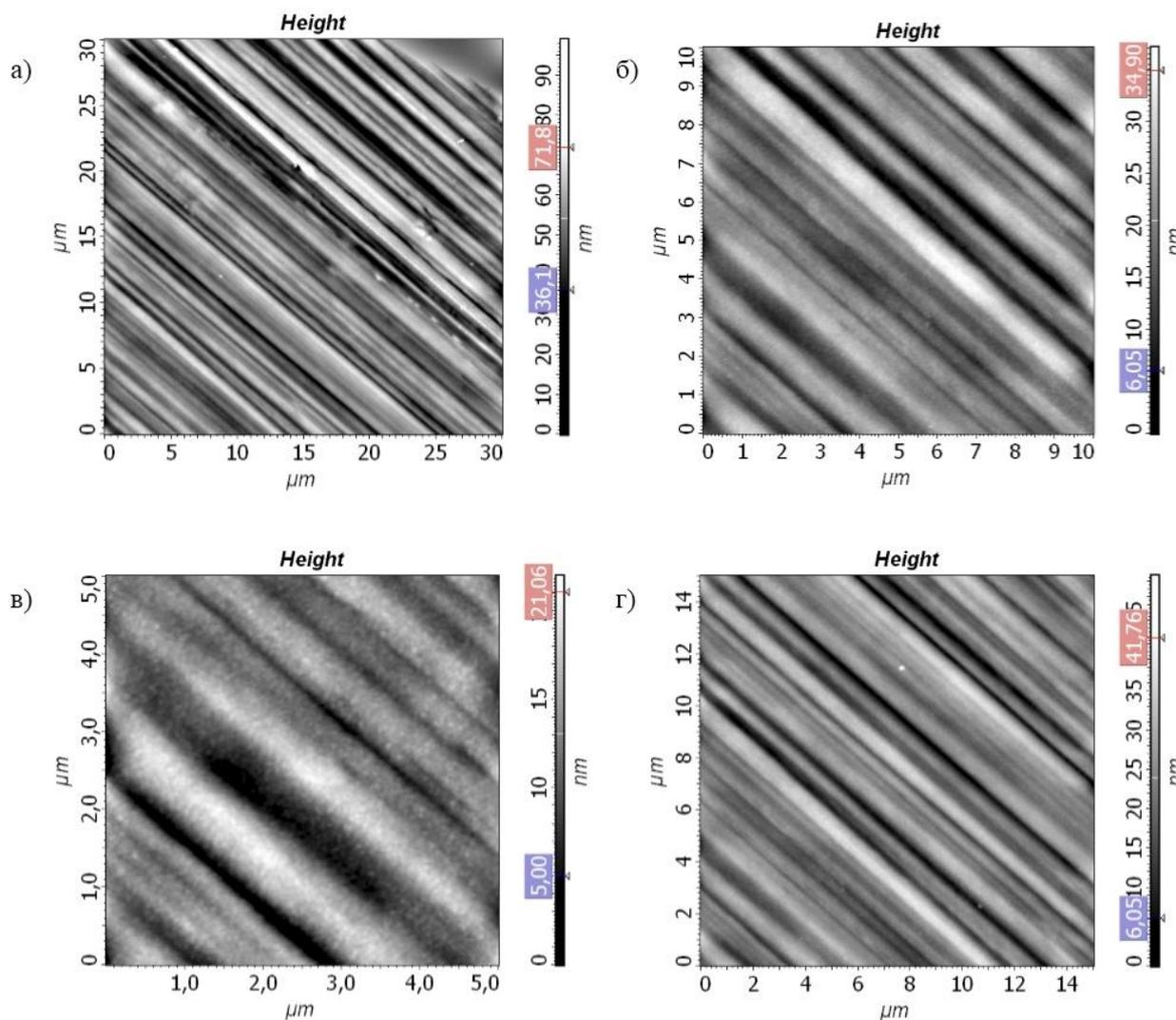


Рис. 3. Поверхность ПЭИ Ultem 1000 (1,5 % ПМСС) до и после воздействия УФ излучения: а), б) – до; в), г) – после воздействия УФ

Выводы. Получен однородный пленочный полимерно-композиционный материал на основе Ultem 1000 и ПМСС. Доказано сохранение физико-механических и прочностных свойств при создании пленочного материала. Установлено, что полученный пленочный композиционный материал обладает высокой стойкостью к ультрафиолетовому воздействию. Определен диапазон эксплуатации полученного материала при температурах от -200 до +200 °С.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ершова О.В., Муллина Э.Р., Чупрова Л.В., Мишурина О.А., Бодьян Л.А. Изучение влияния состава неорганического наполнителя на физико-химические свойства полимерного композиционного материала // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 12–3. С. 487–491
2. Маламатов А.Х., Козлов Г.В., Антипов Е.М., Микитаев М.А. Механизм формирования межфазных слоев в полимерных нанокompозитах // *Перспективные материалы*. 2006. № 5. С. 54–58

3. Михайлин Ю.А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы. СПб.: Профессия, 2006. 624 с.

4. Бакнелл К.Б. Ударопрочные пластики. Пер. с англ. под ред. И.С. Лишанского. Л.: Химия, 1981. 328 с.

Информация об авторах

Ключникова Наталья Валентиновна, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии.

E-mail: 4494.55@vail.ru

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

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

Гордеев Семен Александрович, студент кафедры теоретической и прикладной химии.

E-mail: Lie_to_me_house@mail.ru

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

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

Гордиенко Максим Денисович, студент кафедры теоретической и прикладной химии.

E-mail: Lie_to_me_house@mail.ru

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

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

Поступила в октябре 2017 г.

© Ключникова Н.В., Гордеев С.А., Гордиенко М.Д., 2017

Klyuchnikova N.V., Gordeev S.A., Gordienko M.D.

POLYMER COMPOSITE MATERIAL BASED ON THERMOPLASTIC POLYIMIDE

A composite material based on polyesterimide Ultem 1000 and synthesized filler of lead polymethyl silicate was synthesized on the basis of lead nitrate and GKZh-11. The amount of filler in the material in terms of the amount of pure polymer was 0.5, 1 and 1.5 %. Tests for physical and mechanical properties were carried out. The preservation of physical-mechanical and strength properties in the creation of film material is proved. It is established that the resulting composite is resistant to radiation. UV exposure did not lead to the destruction of the polymer chain and loss of strength in a number of points of the structure, which is fraught with degradation, cracking and similar phenomena. The histograms of the obtained materials before and after the investigation on UV exposure and cryogenic stability are identical, which proves the invariability of the elemental composition and the absence of residual losses in the samples. A wide thermal range of operation of the obtained material was determined (from -200 to 200 °C)

Keywords: *polyimide, methyl silicate, composite, structure, temperature range.*

Information about the authors

Klyuchnikova Natalya Valentinovna, PhD, Assistant professor,

E-mail: 4494.55@vail.ru

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

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

Gordienko Maksim Denisovich, Bachelor student.

E-mail: Lie_to_me_house@mail.ru

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

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

Gordeev Semen Aleksandrovich, Bachelor student.

E-mail: Lie_to_me_house@mail.ru

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

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

Received in October 2017

© Klyuchnikova N.V., Gordeev S.A., Gordienko M.D., 2017

DOI: 10.12737/article_5a27cb880f1206.99778681

¹Бондаренко Д.О., аспирант,
¹Бондаренко Н.И., ассистент,
¹Бессмертный В.С., д-р техн. наук, проф.,
¹Кунавцев Э.Л., магистрант,
²Дюмина П.С., канд. техн. наук, доц.,
³Макаров А.В., канд. техн. наук, доц.

¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

²Белгородский университет кооперации, экономики и права

³Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)

Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»

СИНТЕЗ СИЛИКАТ-ГЛЫБЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛАЗМЕННОГО НАГРЕВА

di_bondarenko@mail.ru

Традиционная технология получения силикат-глыбы является достаточно энергоёмкой и длительной во времени. Использование низкотемпературной плазмы в различных отраслях промышленности на сегодняшний день является перспективным направлением. В работе представлены результаты исследований влияния температуры термообработки таблетированной шихты на её фазовый состав, а также синтеза силикат-глыбы с использованием плазменной струи. Проведённые исследования позволили установить закономерности плазменного синтеза силикат-глыбы с использованием плазменного нагрева.

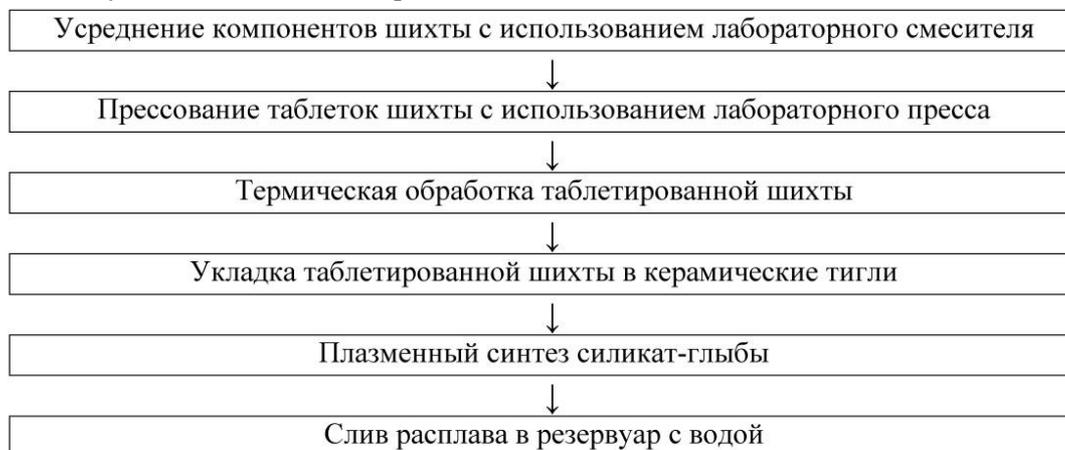
Ключевые слова: синтез, силикат-глыба, плазменная струя, плазменный нагрев, шихта.

Жидкое стекло представляет собой общедоступный ресурс растворимого кремнезема, используемого при синтезе неорганических и кремнийорганических соединений, который не имеет природных аналогов [1–3]. Известны три способа производства жидкого стекла: сухой способ, мокрый способ и способ возгонки [3–4]. Однако современные технологии получения силикат-глыбы являются достаточно энергоёмкими, длительными во времени, требующими значительного количества дробильно-помольного оборудования [5–7]. Использование низкотемпературной плазмы позволило создать высокоэффективные, экологически чистые технологии синтеза минералов, получения защитно-декоративных

покрытий на бетоне, силикатном кирпиче, пеностекле, изделиях из стекла и др. [8–14].

В работе представлены результаты исследований синтеза силикат-глыбы с использованием плазменной струи. Для синтеза силикат-глыбы использовали соду кальцинированную марки Б по ГОСТ 5100–85, поташ первого сорта по ГОСТ 10690–73 и кварцевый песок марки Б-100-1 по ГОСТ 22551–77. В качестве высокотемпературного источника использовали многофункциональный прибор Мультиплаз–2500.

Разработанная технология синтеза силикат-глыбы предусматривает следующие технологические операции:



Ранее проведенными исследованиями [15] доказано, что важным технологическим этапом является стадия таблетирования и последующая

термообработка таблеток шихты. Таблетирование шихты связано с особенностями плазменного факела, истекающего из плазменной горелки со

скоростью 150 м/с. В случае использования порошковой шихты, последняя будет выдуваться плазменной струёй из тигля и расслаиваться.

Количественный химический состав до и после плазменной обработки определяли рентгенофлуоресцентным методом анализа с использованием спектрометра APL 9900 «Thekmoscientific».

Таблетки шихты термообработывали при температурах 400 °С и 500 °С. После термообработки таблетки подвергали рентгенофазовому анализу. Фазовый состав термообработанных шихт определяли на дифрактометре ARLXTRA.

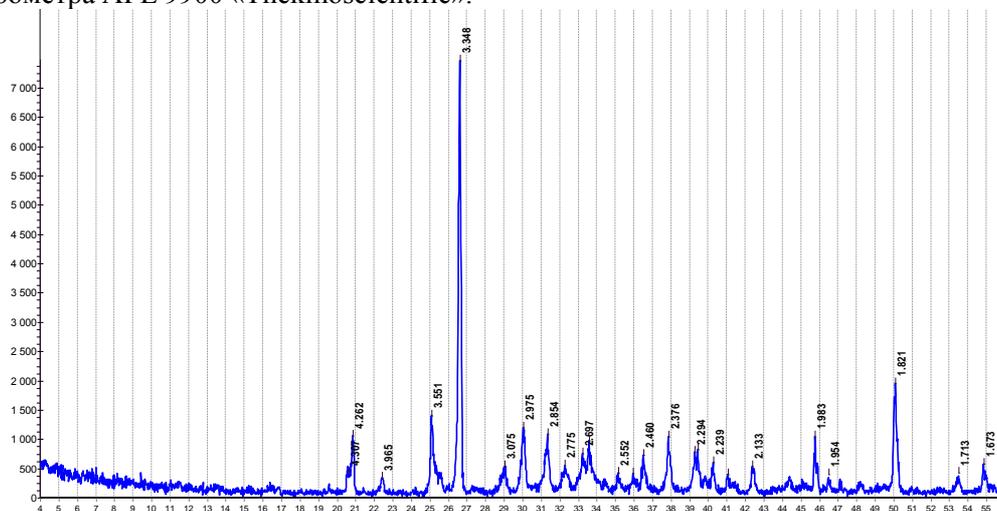


Рис. 1. Порошковая рентгеновская дифрактограмма натриевой шихты при 400 °С

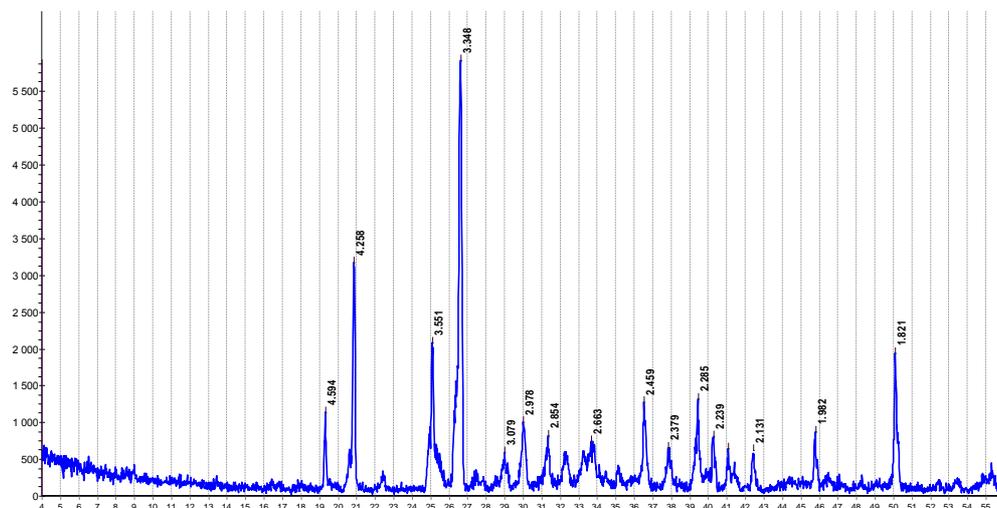


Рис. 2. Порошковая рентгеновская дифрактограмма натриевой шихты при 500 °С

На рисунках 1 и 2 представлены фазовые составы шихт термообработанных при 400 °С и 500 °С с содержанием в пересчёте на силикат-глыбу 26 % Na_2O и 74 % SiO_2 .

С увеличением температуры термообработки с 400 °С до 500 °С помимо пиков кварца и соды увеличивается интенсивность пиков NaHCO_3 , CHNaO_2 . Повышение прочности на сжатие с 0,8 МПа до 1,5 МПа связано с твердофазными реакциями с образованием пространственного каркаса.

На рисунках 3 и 4 представлен фазовый состав термообработанных шихт при температурах

400 °С и 500 °С с содержанием в пересчёте на силикат-глыбу 31 % K_2O и 69 % SiO_2 .

С увеличением температуры термообработки с 400 °С до 500 °С помимо основных пиков SiO_2 и K_2CO_3 увеличивается интенсивность пиков $\text{K}_4\text{H}_2(\text{CO}_3)_3$. Это также способствует образованию пространственного каркаса и увеличению прочности с 0,85 МПа до 1,6 МПа.

После термообработки таблеток шихт проводили синтез силикат-глыбы в керамических тиглях с использованием плазменной струи с температурой 5000 °С.

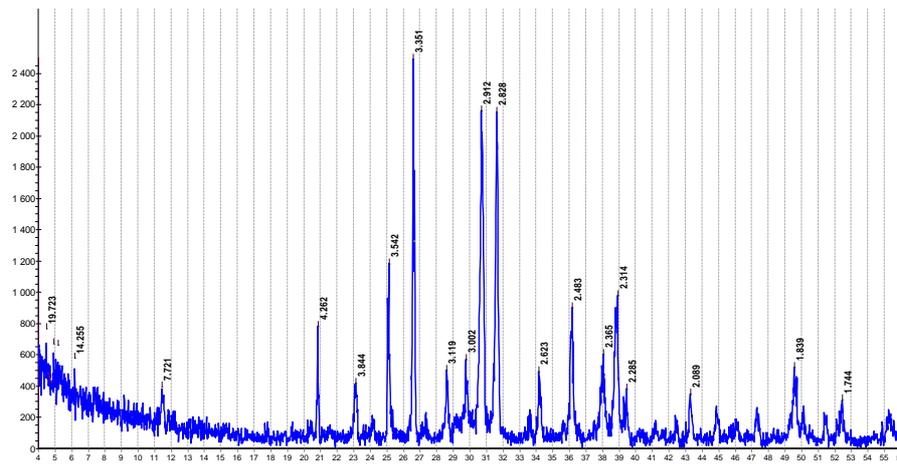


Рис. 3. Порошковая рентгеновская дифрактограмма калиевой шихты при 400 °С

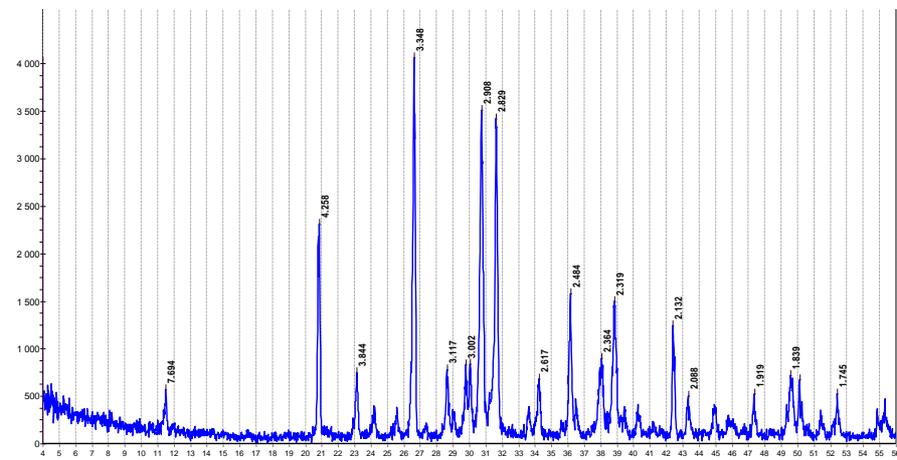


Рис. 4. Порошковая рентгеновская дифрактограмма калиевой шихты при 500 °С

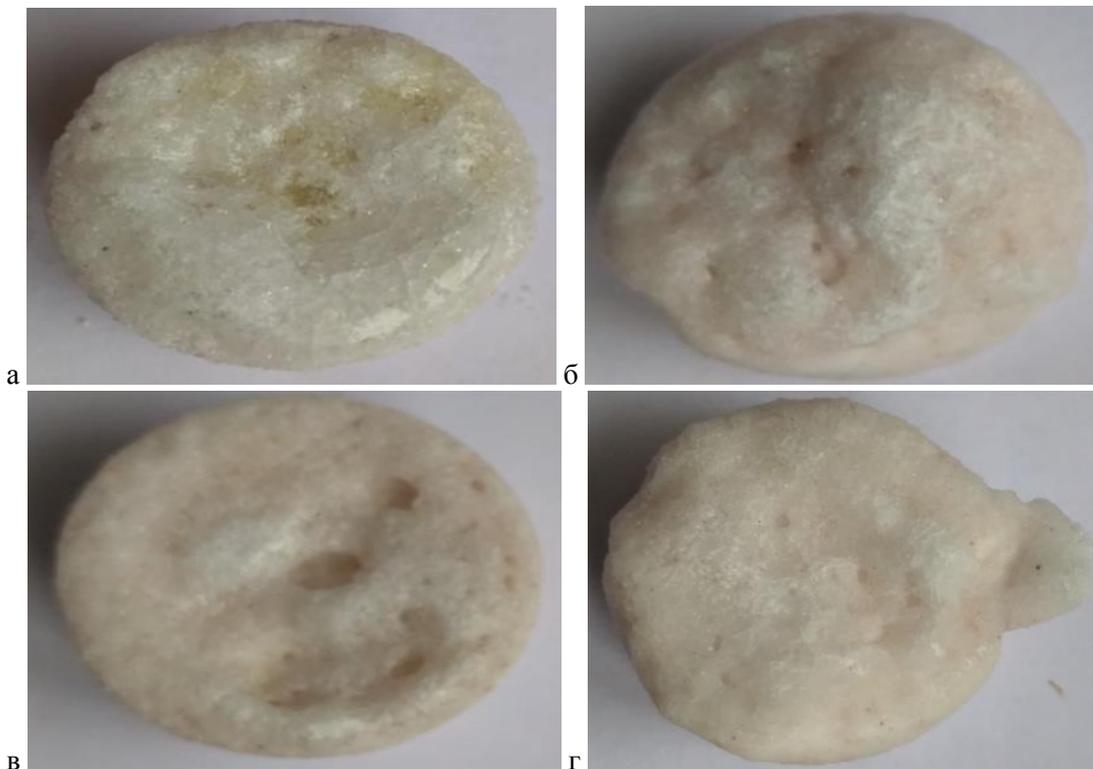


Рис. 5. Силикат-глыба:
 а – с 26 % Na_2O ; б – с 8 % Na_2O и 24 % K_2O ; в – с 19 % Na_2O и 8% K_2O ; г – с 31 % K_2O

Как известно, высокие температуры плазменной струи приводят к диссоциации и испарению оксидов [16]. При высоких температурах происходит инконгруэнтное испарение оксидов. Так, в работе [17] рассчитаны величины суммарного давления паров $\Sigma P(\text{SiO}_2)$ и парциальные давления монооксида кремния $P(\text{SiO})$ и молекулярного кислорода $P(\text{O}_2)$ (атм) над диоксидом кремния.

Результаты исследований представлены в таблице 1, по сравнению с исходным химическим составом при плазменном синтезе силикат-глыбы расплав обогащался оксидом кремния и обеднялся оксидами калия и натрия за счёт процесса испарения.

Таблица 1

Химический состав синтезированной силикат-глыбы до и после плазменного синтеза

№	Na ₂ O, %		K ₂ O, %		SiO ₂ , %	
	до	после	до	после	до	после
1	26,0	2,0	–	–	74,0	75,3
2	8,0	7,5	24,0	23,4	68,0	79,1
3	19,0	18,1	8,0	7,4	73,0	74,5
4	–	–	31,0	29,8	69,0	71,2

Традиционная технология получения силикат-глыбы предусматривает последовательные стадии образования силикатов, растворение тугоплавких компонентов, образование гетерогенного расплава и его гомогенизации. Синтез силикат-глыбы с использованием плазменной струи существенно отличается от данной технологии. На первой стадии происходит одновременное образование силикатов, растворение тугоплавких компонентов с образованием гетерогенного расплава, а на второй – гомогенизация расплава. Это сокращает время синтеза в 2,5–3 раза, уменьшает энергозатраты.

Проведённые исследования позволили установить закономерности плазменного синтеза силикат-глыбы с использованием плазменного нагрева.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корнеев В.И., Данилов В.В. Растворимое и жидкое стекло. СПб.: Стройиздат, 1996. 216 с.
2. Куатбаев К.К., Пужанов Г.Т. Строительные материалы на жидком стекле. Алма-Ата: Изд. Казахстан; 1968. 62 с.
3. Обзор рынка силикат-глыбы и жидкого стекла в СНГ [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://www.infomine.ru/files/catalog/176/file_176.pdf (дата обращения: 11.10.2017).
4. Виноградов Б.Н. Сырьевая база промышленности вяжущих веществ СССР. М.: Изд. Недра, 1971. 486 с.
5. Китайгородский И.И. Технология стекла. М.: Стройиздат, 1961. 564 с.
6. Пат. 2156222 Российская Федерация. МПКС 01В33/32. Способ получения «силикат-глыбы» / Дубинин Н.А., Дигонский С.В., Кравцов Е.Д., Тен В.В.; заявитель и патентообладатель ОАО МНПО «Полиметалл». – №

99104641/03, заявл. 04.03.1999, опубл. 20.09.2000. Бюл. № 26.

7. Пат. 2053970 Российская Федерация. МКИ С 03 С 6/02, С 03 В 1/02. Способ приготовления стекольной шихты / Везенцев А.И.; заявитель и патентообладатель Научно-производственное предприятие «Силиколл». – № 92014433/33, заявл. 23.12.1992; опубл. 10.02.96, Бюл. № 4.

8. Федосов С.В., Акулова М.В., Щепочкина Ю.А. Стекловидное покрытие для бетона // Строительные материалы. 2000. № 8. С. 28.

9. Федосов С.В., Акулова М.В., Щепочкина Ю.А., Подлозный Э.Д., Науменко Н.Н. Плазменное оплавление строительных композитов. М.: Изд. АСВ, Иваново: Изд. ИГАСУ, 2009. 228 с.

10. Пучка О.В., Вайсера С.С., Сергеев С.В. Плазмохимические методы получения покрытий на поверхности пеностекла // Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 3. С. 147–150.

11. Пучка О.В., Минько Н.И., Степанова М.Н. Разработка неорганических декоративно-защитных покрытий для теплоизоляционного пеностекла // Техника и технология силикатов. 2009. Т. 16. № 2. С. 9–10.

12. Бессмертный В.С., Минько Н.И., Дюмина П.С., Соколова О.Н., Бахмутская О.Н., Симачев А.В. Получение лицевого кирпича методом плазменной обработки с использованием сырья техногенных месторождений // Стекло и керамика. 2008. № 1. С. 17–19.

13. Бессмертный В.С., Бондаренко Н.И., Борисов И.Н., Бондаренко Д.О. Получение защитно-декоративных покрытий на стеновых строительных материалах методом плазменного оплавления. Белгород: Изд. БГТУ, 2014. 104 с.

14. Здоренко Н.М., Ильина И.А., Бондаренко Н.И., Гащенко Э.О., Бондаренко Д.О., Изюфатова

Д.И. Защитно-декоративные покрытия для стеновых строительных материалов автоклавного твердения // Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 9. С. 81–82.

15. Бондаренко Д.О., Бондаренко Н.И., Бессмертный В.С., Изофатова Д.И., Дюмина П.С., Волошко Н.И. Энергосберегающая технология получения силикат-глыбы для производства

жидкого стекла // Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 10. С. 111–115.

16. Куликов И.С. Термодинамика оксидов: справочник. М.: Metallurgia, 1984, 324 с.

17. Куликов И.С. Термическая диссоциация соединений. М.: Metallurgia, 1966. 250 с.

Информация об авторах

Бондаренко Диана Олеговна, аспирант кафедры материаловедения и технологии материалов.

E-mail: di_bondarenko@mail.ru

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

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

Бондаренко Надежда Ивановна, ассистент кафедры технологии стекла и керамики.

E-mail: bondarenko-71@mail.ru

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

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

Бессмертный Василий Степанович, доктор технических наук, профессор кафедры технологии стекла и керамики.

E-mail: vbessmertnyi@mail.ru

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

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

Купавцев Эдуард Леонидович, магистрант кафедры технологии стекла и керамики.

E-mail: kupavcev94@mail.ru

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

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

Дюмина Полина Семёновна, кандидат технических наук, доцент кафедры товароведения непродовольственных товаров и таможенной экспертизы.

E-mail: kaf-top@buket.ru

Белгородский университет кооперации, экономики и права.

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

Макаров Алексей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии и оборудования в металлургии и машиностроении им. В.Б. Крахта.

E-mail: makarov.av@mail.ru

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) Национального исследовательского технологического университета «МИСиС».

Россия, 309516, Белгородская область, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, д. 42.

Поступила в октябре 2017 г.

© Бондаренко Д.О., Бондаренко Н.И., Бессмертный В.С., Купавцев Э.Л., Дюмина П.С., Макаров А.В., 2017

Bondarenko D.O., Bondarenko N.I., Bessmertnyi V.S., Kupavtsev E.L., Dyumina P.S., Makarov A.V. SYNTHESIS OF SILICATE-CLOUD USING PLASMA HEATING

The traditional technology of obtaining silicate-clod is quite energy-intensive and long-lasting in time. The use of low-temperature plasma in various industries today is a promising direction. The paper presents the results of studies of the influence of the heat treatment temperature of the pelletized charge on its phase composition, as well as the synthesis of silicate-clod using a plasma jet. The carried out researches allowed to establish regularities of plasma synthesis of silicate-clods with the use of plasma heating.

Keywords: *synthesis, silicate-clod, plasma jet, plasma heating, charge.*

Information about the authors

Bondarenko Diana Olegovna, Postgraduate student.

E-mail: di_bondarenko@mail.ru

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

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

Bondarenko Nadezda Ivanovna, Assistant.

E-mail: bondarenko-71@mail.ru

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

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

Bessmertnyi Vasiliy Stepanovich, PhD, Professor.

E-mail: vbessmertnyi@mail.ru

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

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

Kupavtsev Eduard Leonidovich, Master student.

E-mail: kupavcev94@mail.ru

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

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

Dyumina Polina Semenovna, PhD, Assistant professor.

E-mail: kaf-top@bukep.ru

Belgorod University of Cooperation, Economics & Law.

Russia, 308023, Belgorod, st. Sadovaya, 116a.

Makarov Alexey Vladimirovich, PhD, Assistant professor.

E-mail: makarov.av@mail.ru

Belgorod University of Cooperation, Economics & Law.

Russia, 309516, Belgorod region, Stary Oskol, microdistrict named after Makarenko, 42.

Received in October 2017

© Bondarenko D.O., Bondarenko N.I., Bessmertnyi V.S., Kupavtsev E.L., Dyumina P.S., Makarov A.V., 2017

ОСОБЕННОСТИ МИКРОСТРОЕНИЯ ЗАТВЕРДЕВШЕГО КГВ С МНОГОКОМПОНЕНТНЫМИ МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ

mdrebezgova@mail.ru

В данной статье отмечается, что аморфная фаза SiO_2 в составе нанодисперсный порошок кремнезема и отходов мокрой магнитной сепарации, способствует связыванию $\text{Ca}(\text{OH})_2$, выделяющемуся при гидратации алита, снижению основности твердеющей системы с устранением условий роста высокоосновных гидроалюминатов кальция и этtringита с формированием плотной микроструктуры гипсоцементного камня, исключая саморазрушение структуры за счет кристаллизационного давления, что способствует увеличению эксплуатационных характеристик композита в целом.

Ключевые слова: композиционные гипсовые вяжущие, многокомпонентные минеральные добавки, новообразования, микроструктура.

Основная часть. Особенностью композиционных гипсовых вяжущих (КГВ), выгодно отличающих их от других видов вяжущих, является их способность при затворении водой быстро схватываться и затвердевать. Изготовление и применение композитов на основе КГВ стало возможным благодаря изучению системы портландцемент – гипс – вода, устойчивость которой обеспечивается вводом надлежащего количества активных минеральных добавок, снижающих концентрацию $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в жидкой фазе твердеющей системы и создающей возможность твердения (при определенных условиях) без опасных внутренних напряжений.

В ранее проведенных исследованиях отмечается [1–10], что источником формирования активных минеральных добавок могут служить горные породы осадочного, вулканического, метаморфического генезиса, а также механогенного и пирогенного происхождения. КГВ на их основе, имеющие близкий химический и минеральный состав компонентов, могут различаться по прочности, зависящей от гидравлической активности минеральной добавки и гипсового вяжущего. В работах подчеркивается, что минеральные добавки техногенного происхождения, в результате технологических операций их получения, своим составом и генезисом существенно отличаются от исходных пород природного происхождения, что способствует коренным изменениям в параметрах, влияющих на их формирование как энергонасыщенных, высокоактивных компонентов твердеющих систем.

В связи с вышеизложенным, для изучения особенностей микростроения затвердевших композиционных гипсовых вяжущих использовались следующие материалы: гипсовые вяжущие (ГВ) – β -модификации Г-5БП (Г-5) и α -модификации ГВВС-16 (Г-16), портландцемент ЦЕМ I

42,5Н (ПЦ) и многокомпонентные тонкодисперсные минеральные добавки:

– отходы мокрой магнитной сепарации (ММС), отличающиеся полиминеральным составом с содержанием в них кварца различной степени кристалличности более 70 %. При этом, халцедоновидная разупорядоченная активная разновидность кварца отходов ММС, вступая во взаимодействие с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с образованием малорастворимых гидросиликатов кальция обладает пуццолановой активностью, а устойчивые разновидности динамо-метаморфизованного и контактно-метаморфизованного кварца выполняют роль центров кристаллизации и микронаполнителя матрицы;

– нанодисперсный порошок кремнезема (НДП), с содержанием SiO_2 до 99,72 %, полученный путем выделения из природных гидротермальных источников вулканогенных областей по двухстадийной технологической схеме: мембранное концентрирование, криохимическая вакуум-сублимационная сушка золь кремнезема со средним размером частиц в диапазоне 5–100 нм, удельной поверхностью 100–400 м²/г, средним дзета-потенциалом поверхности наночастиц – 25,0–56,0 мВ, является активной пуццолановой добавкой;

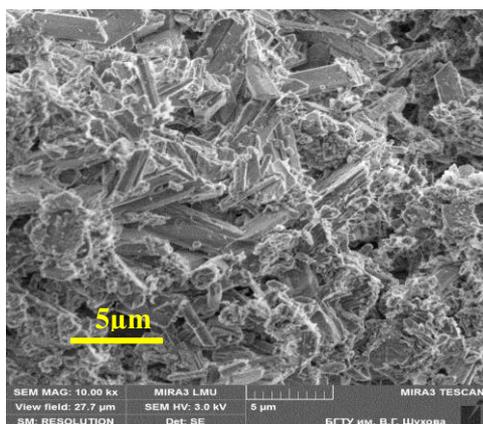
– мел технический дисперсный марки МТД-2, АО «Стройматериалы» г. Белгород, с остатком на сите № 014 не более 0,8 %, содержанием CaCO_3 не менее 96 %, применяли в качестве микронаполнителя.

Рациональный состав КГВ (% по массе): гипсовое вяжущее – 68,05, портландцемент – 15, тонкомолотые отходы ММС – 15, НДП кремнезема – 0,45, мел – 1,5.

Исследуемые многокомпонентные минеральные добавки (отходы ММС, НДП и мел) ак-

сравнению с традиционно применяемым гипсовым вяжущим.

На первой стадии твердения происходит синтез кристаллов двуводного гипса, схватывание и быстрый набор прочности системы.

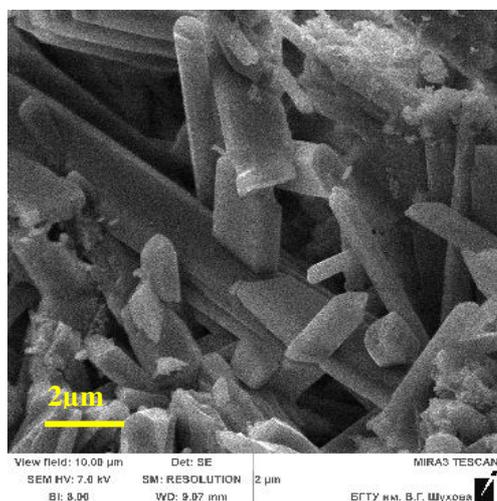


а

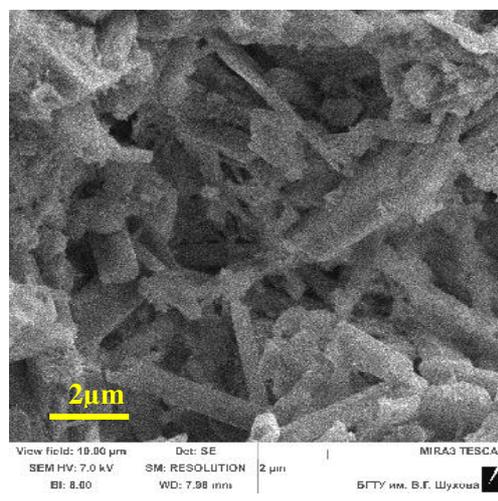
Оксидный состав	Содержание, масс %
CaO	51,25
SO ₃	24,08
SiO ₂	15,44
Fe ₂ O ₃	4,80
MgO	1,76
Al ₂ O ₃	1,28

б

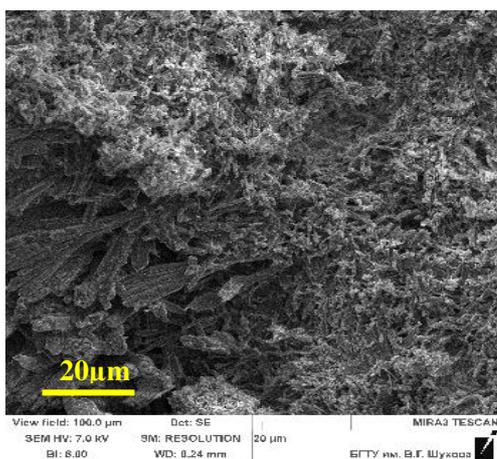
Рис. 2. Микроструктура (а) и результаты рентгеновского микроанализа (б) модифицированной матрицы КГВ



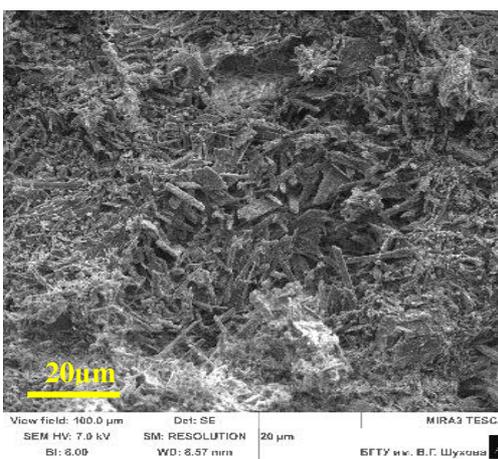
а



б



а



б

Рис. 3. Микроструктура затвердевшего КГВ: а) Г-5 (100 %); б) Г-5(70 %), Г-16 (30 %) в составе гипсового вяжущего

Параллельно, в результате гидратации клинкерных минералов, в ранее созданной структуре

двуводного гипса, в общей гелеобразной массе формируются низкоосновные гидросиликаты

кальция разной морфологии и размеров (длиной от 1 до 20 мкм; шириной менее 0,01 мкм – от 20 до 60 нм), последующая кристаллизация которых способствует уплотнению структуры различных морфогенетических типов нано- и микроразмерных кристаллических образований твердеющей матрицы.

На следующем этапе, в результате взаимодействия выделяющегося портландита при гидратации алита с активными рентгеноаморфными частицами НДП кремнезема и отходов ММС, формируются новообразования второй генерации гидросиликатов кальция, которые обеспечивают конечную прочность и водостойкость материала. Поры зарастают мелкими кристаллами гидросиликатов кальция (рис. 3, б), создающими уплотненную сетчатую оболочку вокруг кристаллов гипса, что приводит к увеличению прочности и водостойкости гипсоцементного камня.

Таким образом, установлено, что аморфная фаза SiO_2 в составе НДП кремнезема и отходов ММС, способствует связыванию $\text{Ca}(\text{OH})_2$, выделяющемуся при гидратации алита, снижению основности твердеющей системы с устранением условий роста высокоосновных гидроалюминатов кальция и этtringита с формированием плотной микроструктуры гипсоцементного камня. Более крупные частицы отходов ММС и мела выполняют роль микронаполнителя, а также выступают в качестве центров кристаллизации для гидроалюминатных новообразований и других подобных соединений, что обеспечивает быстрый набор прочности вяжущего в начальный период твердения. Полиминеральный характер новообразований базовой твердеющей матрицы многокомпонентного КГВ позволяет изменить кинетику их роста, исключая саморазрушение структуры за счет кристаллизационного давления, что способствует увеличению эксплуатационных характеристик композита в целом.

**Работа выполнена в рамках Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесовик В.С. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса горных пород. М.: Изд-во АСВ, 2006. 526 с.
2. Коровяков В.Ф. Перспективы производства и применения в строительстве водостойких гипсовых вяжущих и изделий // Строительные материалы. 2008. № 3. С. 65–67.
3. Бурьянов А.Ф. Модификация структуры и свойств строительных композитов на основе сульфата кальция. М.: Изд-во Де Нова, 2012. 196 с.
4. Коровяков В.Ф., Бурьянов А.Ф. Научно-технические предпосылки эффективного использования гипсовых материалов в строительстве // Жилищное строительство. 2015. № 12. С. 38–40.
5. Муртазаев С.А.Ю., Чернышева Н.В., Аласханов А.Х., Сайдумов М.С. Использование композиционных гипсовых вяжущих на техногенном сырье в производстве стеновых материалов // Труды Грозненского государственного нефтяного технического университета им. академика М.Д. Миллионщикова, Грозный, 2011. № 11. С. 169–176.
6. Lesovik V.S., Tschernyschova N.W., Drebezova M.Y. Нанодисперсное кремнезёмсодержащее сырьё для повышения эффективности быстротвердеющих композиционных вяжущих (Nanodisperse kiesel säure haltige Rohstoffe zur Verbesserung der Effizienz schneller härten der Bindemittel mischungen) // 2. Weimar Gypsum Conference. Weimar, 26–27 März, 2014. P. 259–266.
7. Murtazaiev S.A.Y., Saidumov M.S., Lesovik V.S., Chernysheva N.V., Bataiev D.K.S. Fine-grained cellular concrete creep analysis technique with consideration for carbonation // Modern Applied Science. 2015. T. 9. № 4. С. 233–245.
8. Tschernyschowa N.W., Lessowik W.S., Fischer H.B., Drebesgowa M.J. Gipshaltige kompositbindemittel-zukunft des ökologischen bauens* В сборнике: 19-te INTERNATIONALE BAUSTOFFTAGUNG IBAUSIL (Weimar, 16-18 сентября 2015 г.), Weimar: Institut für Baustoffkunde der Bauhaus-Universität, 2015. С. 699–706.
9. Чернышева Н.В., Лесовик В.С., Дребезгова М.Ю. Водостойкие гипсовые композиционные материалы с применением техногенного сырья. Белгород: Изд. БГТУ, 2015. 321 с.
10. Дребезгова М.Ю., Евсюкова А.С., Чернышева Н.В., Потапов В.В. К вопросу управления процессами структурообразования композиционных гипсовых вяжущих // Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства: Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию заслуженного деятеля науки РФ, члена-корреспондента РААСН, д-ра техн. наук, проф. В. С. Лесовика (Белгород, 15-16 марта 2016 г.), Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. Ч. 1. С. 263–268.
11. Дворкин Л.И., Соломатов В.И., Выровой В.Н., Чудновский С.М. Цементные бетоны с минеральными наполнителями. Киев: Будивэльнык. 1991. 136 с.

Информация об авторах

Дребезгова Мария Юрьевна, инженер.

E-mail: mdrebezgova@mail.ru

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

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

Поступила в июле 2017 г.

© Дребезгова М.Ю., 2017

Drebezgova M.Yu.

**PECULIARITIES OF MICROBUSINESS OF THE FINISHED KGV WITH
MULTICOMPONENT MINERAL ADDITIVES**

In this article it is noted that the amorphous phase of SiO_2 in the composition of the NDP of silica and MSW waste promotes the binding of $\text{Ca}(\text{OH})_2$, which is released upon hydration of the alite, to a decrease in the basicity of the solidifying system, with the elimination of the growth conditions for high-basic calcium and ettringite hydroaluminates with the formation of a dense microstructure of the gypsum cement stone, excluding self-destruction of the structure due to the crystallization pressure, which contributes to an increase in the performance characteristics of the composite as a whole.

Keywords: composite gypsum binders, multicomponent mineral additives, neoplasms. microstructure.

Information about the authors

Drebezgova Maria Yuryevna, engineer.

E-mail: mdrebezgova@mail.ru

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

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

Received in July 2017

© Drebezgova M.Yu., 2017

DOI: 10.12737/article_5a27cb9d8c6fa3.01008426

*Коробанова Е.В., аспирант,
Онищук В.И., канд. техн. наук, доц.,
Дороганов В.А., канд. техн. наук, доц.,
Евтушенко Е.И., д-р техн. наук, проф.*

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГРАНУЛИРОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО КЕРАМИЧЕСКОГО ВЯЖУЩЕГО НА ОСНОВЕ ГЛИНОЗЕМА *

viktor_onishchuk@mail.ru

Искусственные монокристаллы лейкосапфира давно нашли широкое применение в электронной, оптической, военной и других отраслях промышленности. Одно из перспективных направлений применения лейкосапфира – использование в качестве эффективной подложки для производства светодиодной техники и микроэлектроники, значение которых в жизни человека трудно переоценить. Несмотря на достаточную изученность процессов синтеза лейкосапфира, совершенствование технологии этого материала интенсивно ведется по различным направлениям, среди которых важным до сих пор остается проблема подготовки сырья, используемого для синтеза этого уникального материала.

Ключевые слова: *глинозем, способы и проблемы гранулирования, искусственное керамическое вяжущее на основе γ -глинозема, гранулирование окатыванием, термообработка гранул.*

В настоящее время наиболее распространенными промышленными методами выращивания различных монокристаллов являются методы Вернейля и Чохральского, которые реализуются на большинстве предприятий отрасли. Данные методы осуществляются в высокотехнологичных установках при температурах 2050–2100 °С с использованием особо чистого глиноземистого сырья (содержание Al_2O_3 не менее 99,998 %) и сопровождаются большими ресурсо- и энергозатратами. Наиболее существенным недостатком метода Чохральского является значительная химическая неоднородность выращиваемых кристаллов, выражающаяся в монотонном изменении состава последовательных слоев кристалла вдоль направления роста. Метод Вернейля в основном используется для синтеза драгоценных ювелирных и технических камней небольших размеров [1–3].

Высококачественные монокристаллы синтетического сапфира больших размеров и массы (до 120 кг) можно вырастить различными методами, среди которых наиболее предпочтительным является метод Киропулоса, при которых кристаллах выращиваются путем плавного и медленного охлаждения расплава и изменения теплоотвода от кристалла с помощью охлаждаемого штока. Длительность выращивания кристаллов по этому методу может составлять до 1 месяца, но основным достоинством этого способа является возможность получения особо чистых монокристаллов, используемых в микроэлектронике [4–5]. Для этого способа важным условием является необходимость загрузки в

установку строго определенного количества шихты и обеспечение ее высокой химической чистоты.

Сырьём для производства монокристаллов сапфира является шихта, представляющая порошок или микрогранулы особо чистой окиси алюминия α - или γ -модификаций. Следует отметить, что насыпная плотность данных материалов колеблется в интервале 400–1600 кг/м³ [6, 7], а плотность выращенного монокристалла достигает 4000 кг/м³ [8]. В связи с этим, возникает проблема загрузки в рабочую камеру установки по выращиванию лейкосапфира строго определенного количества шихты, которой требуется в несколько раз больше по объему по сравнению с конечным продуктом. Для решения данной задачи используется уплотнение порошков с получением гранул, таблеток или спеченных в брикеты сырьевых материалов.

Техника уплотнения порошков известна человеку давно, и в этой области уже накоплен достаточно большой опыт. Выбор способа уплотнения и оборудования зависит от ряда факторов: компонентного и гранулометрического состава сырьевой смеси, способа увлажнения и количества вводимой жидкости, ее поверхностного натяжения, параметров работы оборудования, а также от требований, предъявляемых к качеству продукта [9–12]. В ряду перечисленных факторов особое место занимает склонность определенных порошков взаимодействовать с жидкостью, в роли которой чаще всего используется вода.

Известно, что увлажнение порошков многих материалов сопровождается сложными физико-

химическими процессами (диспергирование, растворение, кристаллизация, рекристаллизация и др.), приводящими к изменению фазового состава. При контакте воды с частицами химически активных компонентов происходит их частичное или полное растворение, что приводит к уменьшению отношения количества твердой фазы к жидкой за счет перехода в раствор преимущественно тонкодисперсной составляющей твердой фазы. В момент увлажнения гигроскопичные материалы приобретают коагуляционную структуру, прочность которой определяется прочностью жидкостных мостиков [11, 12]. Такое поведение присуще гигроскопичным или растворяющимся в воде материалам. В отличие от таковых, порошкообразный глинозем негигроскопичен, поэтому наиболее эффективным способом гранулирования этого материала можно было бы считать таблетирование – прессование в форме при помощи пуансона брикетов определенных размеров. Однако данный способ неизбежно приведет к загрязнению получаемых гранул металлом формы и пуансона, который будет «нарабатываться» в процессе грануляции вследствие высоких абразивных свойств порошка глинозема.

В практике гранулирования порошков корунда известно решение [13] формования гранул из смеси тонкоизмельченного глинозема с добавками фторида щелочноземельного металла и летучего пластификатора. Есть и другие решения, но все они связаны с введением в порошки либо связующих, либо поверхностно-активных веществ и минерализаторов, что не позволяет обеспечить отсутствие в составе лейкосапфиров различных примесей, резко снижающих их качество. Поэтому главной задачей исследований было исследование возможности получения гранулированного глинозема без применения дополнительных связующих.

В практике производства огнеупоров и специальной технической керамики давно используются искусственные керамические вяжущие (ИКВ), получаемые на основе природного или синтетического сырья [14, 15]. ИКВ обладают высокой седиментационной устойчивостью и склонностью к самостоятельному отверждению (набору прочности) во времени, связанному с удалением из их объема влаги.

Для получения ИКВ использовали γ -модификацию глинозема (γ - Al_2O_3). Эта модификация характеризуется дефектной, «разрыхленной» структурой (рис. 1), которая способствует более эффективному процессу диспергации в жидкой фазе, приводящей к формированию ИКВ.

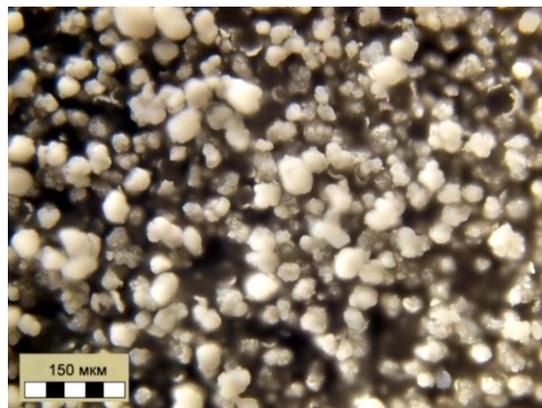


Рис. 1. Микрофотография использованного при проведении исследований порошка γ - Al_2O_3 ,

Известно [14, 15], что большинство свойств ИКВ определяется особенностями их получения, связанными с созданием полидисперсного распределения твердых частиц материала, которое обеспечивает высокую седиментационную устойчивость. Одновременно с этим параметром при формировании структуры стремятся достичь минимально возможных значений размеров частиц, а также определенного количества в ИКВ т.н. коллоидной составляющей – частично гидратированных с поверхности частиц наноразмерного уровня. Этот параметр во многом определяет склонность к стабилизации структуры, быстрому набору вязкости ИКВ и началу процесса отверждения [16]. Именно эти параметры во многом определяют и процесс гранулирования окатыванием пластично-вязких сред, какой является ИКВ на основе глинозема.

Получение заданного полидисперсного распределения частиц, обеспечивающее максимально возможное значение концентрации в ИКВ твердой фазы возможно в случае реализации управляемого процесса помола, т.е. выполнения определенного числа догрузок определенных порций материала при постоянном контроле основных параметров ИКВ – плотности, времени истечения, содержания твердой фазы и влажности. После помола высокоглиноземистые ИКВ, полученные по различным режимам, подвергались стабилизации путем гравитационного перемешивания в течении 2-3 ч с целью усреднения свойств в объеме материала и удаления захваченного в процессе получения воздуха. После стабилизации определялись их основные свойства. В результате нескольких помолов был разработан «быстрый» (160 мин) режим помола, при котором достигнуты приемлемые для грануляции ИКВ значения свойств: плотность – $2,09 \text{ г/см}^3$, время истечения – 65 с, концентрация твердой фазы (C_v) – 0,45, влажность – 25%.

Следует отметить, что приведенные значения свойств ИКВ установлены в результате исследования процесса грануляции на лабораторной установке, включающей следующие конструктивные элементы (рис. 2):

- лабораторный тарельчатый гранулятор с плоским днищем и определенной высотой бортов;
- дозатор ИКВ, представляющий собой емкость конической формы с фильерой в узкой части;

- вибрационный механизм, обеспечивающий равномерное дозирование ИКВ на тарель гранулятора;

- дозатор порошка γ -глинозема на поверхность тарели с вибрационным питателем;
- приемный лоток сформированных гранул.

Для упрочнения свежесформованных гранул производился их обдув холодным воздухом, в последствие производилась конвективная сушка теплым воздухом с температурой 120 °С.

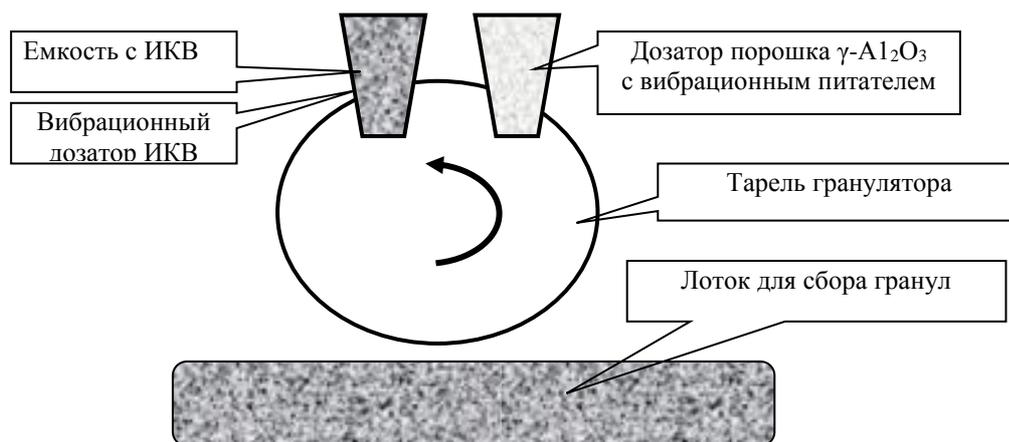


Рис. 2. Принципиальная схема экспериментальной установки

Как видно из принципиальной схемы установки (рис. 2) при вращении тарели на слой порошкообразного γ - Al_2O_3 толщиной 1...3 мм поступало ИКВ с определенным расходом в единицу времени.

Под воздействием удара о слой порошка на поверхности тарели гранулятора, капли ИКВ уплотнялись, при этом часть влаги инжектировалась на поверхность гранулы. Вместе с тем, центробежная сила, возникающая при вращении тарели, заставляла гранулы окатываться по этому слою, что приводило к уплотнению их поверхности.

В ходе экспериментов исследовались различные режимы работы гранулятора, при которых варьировались наиболее значимые для процесса параметры – скорость вращения и угол наклона тарели. В результате было установлено, что формирование гранул с необходимым диаметром эффективно осуществляется в диапазоне значений скорости вращения тарели от 10 до 15 об/мин, при вариациях угла ее наклона к горизонту – 40...50°. При уменьшении угла наклона менее 40° разгрузка сформированных гранул была затруднена – они задерживались бортом, накапливаясь в тарели. При большем 50° угле наклона нарушался равномерный слой порошка γ - Al_2O_3 на поверхности тарели, частицы порошка скатывались с поверхности, накапливаясь

в нижней части, что приводило к нарушению режима окатывания и резкому сокращению выхода качественных гранул. Необходимо отметить, что средний диаметр гранул составил 3 мм, отклонения от среднего размера составило $\pm 0,3$ мм.

Для повышения прочности отформованные гранулы обдувались холодным воздухом, а затем подвергались сушке в сушильном шкафу при температуре 120 °С.

Внешний вид гранул, полученных в лабораторных условиях, представлен на рис. 3.



Рис. 3. Внешний вид гранул, полученных в экспериментальных условиях

Полученная таким образом партия гранул массой 30 кг подвергалась спеканию в индукционной печи в условиях промышленного производства заготовок из лейкосапфира. При проведении эксперимента было отмечено интенсивное

растрескивание значительного количества гранул за счет интенсивного термоудара, что в результате было связано с содержанием в гранулах 1...2 мас.% структурно связанной воды.

Для устранения этого технологически важного недостатка было решено термообработать

гранулы при температурах 1000 °С и 1200 °С. Значение температуры было выбрано на основании сведений [6] о полиморфных превращениях глинозема в процессе термообработки (рис. 4).

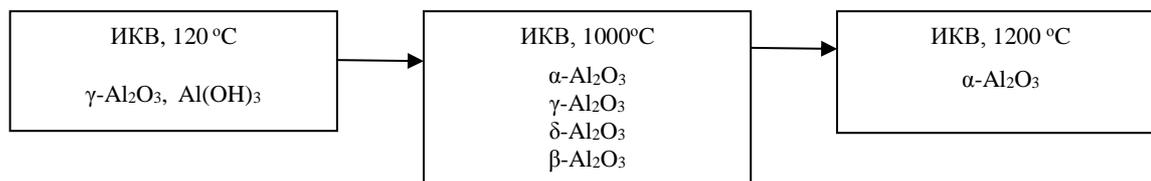


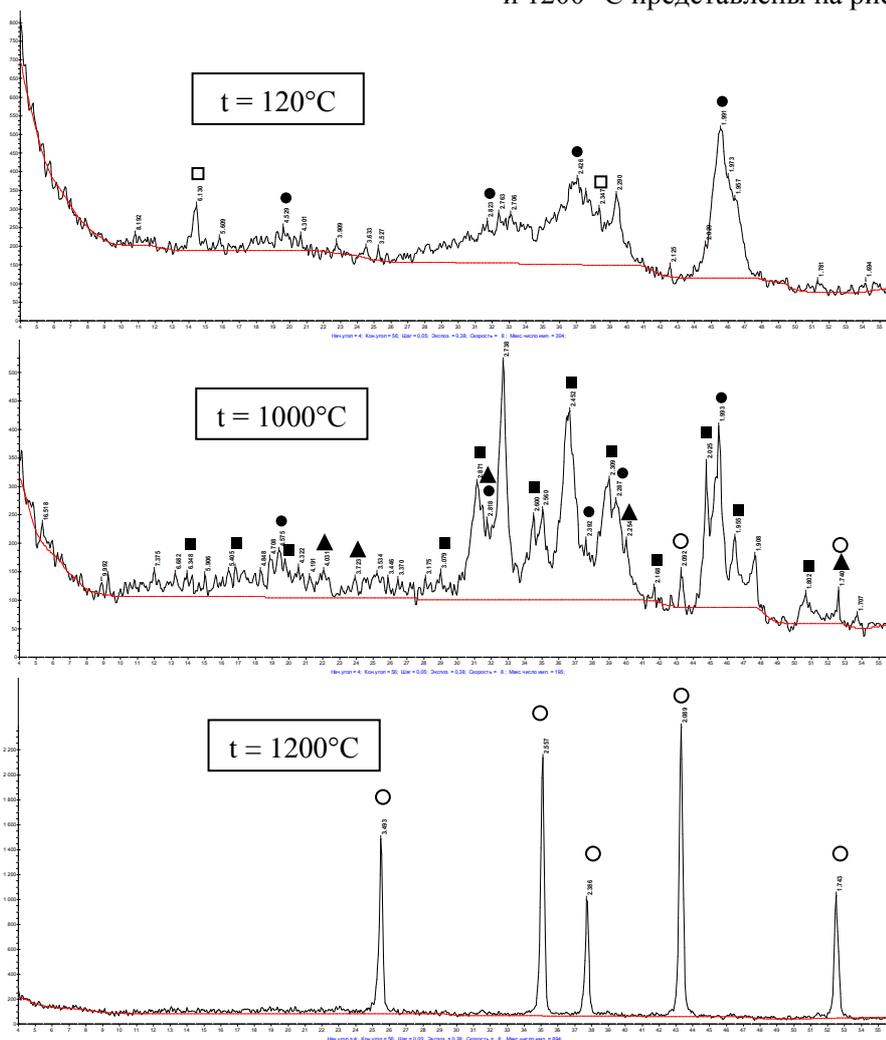
Рис. 4. Упрощенная схема полиморфных превращений Al_2O_3 в процессе нагрева

Термообработку лабораторной партии гранул проводили в муфельной электрической печи сопротивления с карбидкремниевыми электронагревателями при температуре 1200 °С.

Время термообработки изменялось в диапазоне от 0,5 до 2 часов.

Проверка завершения процесса модификации структуры гранул, сопровождающаяся полным переходом $\gamma-Al_2O_3$ в $\alpha-Al_2O_3$, осуществля-

лась посредством рентгенофазового анализа, в результате которого был подтвержден факт протекания полиморфных модификаций, а по виду дифрактограмм (максимальной интенсивности рефлексов) было установлено оптимальное время процесса, необходимого для протекания полиморфных превращений в объеме каждой гранулы. Дифрактограммы гранул ИКВ после сушки при 120 °С и после спекания при 1000 °С и 1200 °С представлены на рис. 5.



■ – $\delta-Al_2O_3$, ● – $\gamma-Al_2O_3$, ○ – $\alpha-Al_2O_3$, ▲ – $\beta-Al_2O_3$, □ – $Al(OH)_3$.

Рис. 5. Дифрактограммы гранул ИКВ после термообработки при различных температурах

Из данных, представленных на рис. 4, следует, что при получении ИКВ на основе порошка γ - Al_2O_3 в ходе мокрого помола происходит частичное образование бемита $\text{Al}(\text{OH})_3$, что подтверждается рентгенограммой образцов высушенных при 120 °С. После термообработки при 1000 °С в материале наблюдается наличие γ -модификации, а также образуются промежуточные минеральные фазы δ - Al_2O_3 и β - Al_2O_3 и начинает формироваться α - Al_2O_3 . При повышении температуры обжига до 1200 °С фазовый состав материала переходит в стабильное состояние, представленное α - Al_2O_3 .

Выполненные экспериментальные и исследования позволяют сделать вывод о возможности производства гранулированного α - Al_2O_3 путем получения ИКВ из порошкообразного глинозема с последующей его грануляцией и двухступенчатой термообработкой. Несомненно, что перспективность описанного процесса получения гранулированного сырья для производства лейкосапфиров необходимо проверять в промышленных условиях при получении булей и определении их качественных характеристик, что позволит выявить необходимость корректировки параметров процесса и определить его оптимальные параметры.

**Работа выполнена в рамках Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вильке К.-Т. Выращивание кристаллов. Л., Недра. 1977. 600 с.
2. Метод Чохральского [электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод_Чохральского (дата обращения 25.10.2017).
3. Метод Вернейля. [электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод_Вернейля (дата обращения 25.10.2017).
4. Малюков С.П., Клуникова Ю.В. Оптимизация производства отечественного сапфира // Современная электроника. 2015. №6. С.24-32.
5. Метод Киропулоса [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sites.google.com/site/nanotechnologyinmaterialy/metod-kiropulosa> (дата обращения 25.10.2017).
6. Оксид алюминия [электронный ресурс]//Режим доступа: <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/181.html> (дата обращения 22.11.2017).
7. Оксид алюминия [электронный ресурс]// Режим доступа: http://www.chemport.ru/data/chemipedia/article_144.html (дата обращения 22.11.2017).
8. Оптический сапфир (лейкосапфир) [электронный ресурс]// Режим доступа: www.elektrosteklo.ru. ООО «Электростекло» - Материал сапфир оптический (лейкосапфир Al_2O_3) (дата обращения 27.11.2017)
9. Классен П.В., Гришаев И.Г. Основы техники гранулирования. М.: Химия, 1982 г. 272 с.
- 10.Классен П.В., Гришаев И.Г., Шомин И.П. Гранулирование. М.: Химия, 1991. 240 с.
- 11.Назаров В.И., Мелконян Р.Г., Калыгин В.Г. Техника уплотнения стекольных шихт. М.: Легпромбытиздат, 1985. 121 с.
- 12.Крашенинникова Н.С., Беломестнова Э.Н., Верещагин В.И. Критерии оценки формуемости стекольных шихт // Стекло и керамика. 1991. № 3. С. 15–17.
- 13.Способ получения гранул корунда. Патент SU 667527. Опубликовано 15.06.1979. Бюллетень М 22. Дата опубликования описания 15.06.79. С 04 В 35/10. Государственный комитет СССР по делам изобретений и открытий. УДК 666.762 (088. 8). Авторы изобретения Э. В. Дегтярева, И. Г. Орлова, И.И. Кабакова, Л.В. Рябко и И.Н. Рудяк. Заявитель Украинский научно-исследовательский институт огнеупоров.
- 14.Пивинский Ю. Е. Реология дисперсных систем, ВКВС и керамобетоны. Элементы нанотехнологий в силикатном материаловедении. Избранные труды: Том 3. СПб.: Политехника, 2012. 682 с.
- 15.Пивинский Ю.Е. Неформованные огнеупоры: Справочное издание в 2-х томах. Т.1. Книга 1. Общие вопросы технологии. 2-е изд. М.: Теплотехник, 2004. 448 с.
- 16.Пивинский Ю.Е., Онищук В.И., Дороганов В.А., Коробанова Е.В., Гливуц А.С., Евтушенко Е.И. Зависимость технологических параметров высококонцентрированных керамических и стекольных вяжущих суспензий сложных составов от химической природы твердой фазы // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 9. С. 175–182.

Информация об авторах

Коробанова Елена Викторовна, аспирант кафедры «Технология стекла и керамики».

E-mail: elvion@mail.ru

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

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

Онищук Виктор Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология стекла и керамики».

E-mail: viktor_onishchuk@mail.ru

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

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

Дороганов Владимир Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология стекла и керамики»

E-mail: dva_vadjik1975@mail.ru

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

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

Евтушенко Евгений Иванович, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Технология стекла и керамики».

E-mail: naukaei@mail.ru

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

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

Поступила в октябре 2017 г.

© Коробанова Е.В., Онищук В.И., Дороганов В.А., Евтушенко Е.И., 2017

Korobanova E.V., Onishchuk V. I., Doroganov V.A., Evtushenko E.I.

THE STUDY OF THE PROCESS OF GRANULATION ARTIFICIAL CERAMIC BINDER BASED ON ALUMINA

Artificial sapphire single-crystals have found wide application in electronic, optical, military and other industries. One of the promising areas of application of sapphire is used as the effective substrate for the production of led technology and microelectronics technology, the importance of which in human life is difficult to overestimate. Despite sufficient knowledge of the processes of synthesis of sapphire, the improvement of technology this material is being developed in various areas, among which important is still the problem of preparation of the raw materials used for the synthesis of this unique material.

Keywords: *alumina, methods and problems of granulation, artificial ceramic binder on the basis of γ -alumina granulation through pelletizing, thermal treatment of the granules.*

Information about the authors

Korobanova Elena Viktorovna, Postgraduate student

E-mail: elvion@mail.ru

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

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

Onishchuk Viktor Ivanovich, PhD, Assistant professor.

E-mail: viktor_onishchuk@mail.ru

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

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

Doroganov Vladimir Anatol'evich, PhD, Assistant professor.

E-mail: dva_vadjik1975@mail.ru

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

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

Evtushenko Evgeniy Ivanovich, PhD, Professor.

E-mail: naukaei@mail.ru

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

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

Received in October 2017

© Korobanova E.V., Onishchuk V.I., Doroganov V.A., Evtushenko E.I., 2017

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.12737/article_5a27cb88ad2a69.60503298

Теличенко В.И., академик РААСН, д-р техн. наук, проф.,
Кайтуков Б.А., канд. техн. наук, доц.,
Скель В.И., канд. техн. наук, доц.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ СМЕСИТЕЛЬНЫХ БАРАБАНОВ ГРАВИТАЦИОННЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ

PRESIDENT@mgsu.ru

В статье рассматривается определение оптимальной скорости движения барабана гравитационного бетоносмесителя по критерию минимизации удельных приведенных затрат на единицу выпускаемой продукции, включающие: эксплуатационные затраты и капитальные вложения; затраты на сырье и материалы в технологическом процессе; затраты на заработную плату рабочих; суммарные затраты на амортизацию и капитальный ремонт; затраты на текущее обслуживание и текущие ремонты; затраты на электроэнергию; затраты на смазочные материалы; затраты на сменную оснастку; капитальные вложения на покупку машины и т.п. Все затраты и вложения анализируются с точки зрения влияния скорости движения барабана на соответствующий показатель. В результате получена функциональная зависимость между всеми составляющими удельных приведенных затрат на единицу выпускаемой продукции и скоростью движения барабана гравитационных бетоносмесителей. На основании анализа известных данных эта зависимость принята параболической (квадратичной). Для примера рассмотрен гравитационный бетоносмеситель емкостью 1000 л.

Ключевые слова: гравитационный бетоносмеситель, интенсификация, производительность, скорость движения барабана, приведенные затраты.

В гравитационных бетоносмесителях качественная однородная смесь получается благодаря многократному подъему компонентов смеси, а затем, под действием силы тяжести, падающих вниз во вращающемся смесительном барабане. Анализ выпускаемых гравитационных бетоносмесителей показал, что время смешивания составляет 60...90 с; полный цикл, включая загрузку, смешивание, выгрузку и возврат барабана в исходное положение, 90...150 с; емкостью загрузки 100...4500 л, а скорости движения смесительных барабанов (на среднем радиусе барабана) находятся в пределах 0,55...3,11 м/с. С увеличением емкости загрузки наблюдается уменьшение скорости движения смесительного барабана.

Особенностью процесса перемешивания грубодисперсных смесей является то обстоятельство, что нагрузки на рабочие органы гравитационных смесителей изменяются с изменением их движения. Это связано с изменением физико-механических свойств смеси. Скорость движения смесительного барабана в этом случае определяет не только кинематические параметры механизма привода, но и существенно влияет на нагрузки на рабочие органы и мощность двига-

теля. На интенсивность перемешивания существенно влияет скорость движения барабана. Но с увеличением скорости движения возрастает мощность двигателя, увеличиваются энергоемкость и масса смесителя вследствие увеличения нагрузок, что приводит к форсированному износу рабочих органов бетоносмесителя. Очевидно, что увеличить скорость движения смесительного барабана рационально до некоторого оптимального значения, но при превышении этой точки качество бетонной смеси снижается.

Решение вопроса в такой постановке является задачей оптимизации скорости движения смесительного барабана [1, 2, 3]. В связи с изложенным, представляется целесообразным решить вопрос об обосновании оптимальных параметров гравитационных бетоносмесителей. Для наглядности решение такой задачи целесообразно показать на наиболее широко применяемом типоразмере бетоносмесителя. В широком смысле, решение такой задачи является темой большого исследования, но в рамках данной работы можно за базу принять, например, гравитационный бетоносмеситель с емкостью загрузки 1500 л, выходом готовой смеси 1000 л. Анализ позволил определить некоторые характеристики

смесителя: число оборотов смесительного барабана в пределах 12...18 об/мин; наибольший диаметр барабана 1,9 м, скорость движения смесительного барабана на среднем радиусе ($R_6 = 0,9$ м) в пределах 1,12–1,68 м/с, мощность двигателя $P_{дв} = 15$ кВт и масса 2900 кг.

В ГОСТе на гравитационные смесители регламентированы: литраж, мощность, масса, но не оговорены скорости движения смесительных барабанов. Исследования с целью определения различных характеристик проводились ранее и в настоящее время [5, 6, 7, 10]. Характеристики смесителей можно получить из регламентируемой мощности двигателя, поскольку существует зависимость, связывающая мощность с размерами смесительного барабана, скоростью движения и свойствами бетонной смеси [10]. Можно предположить, что эти характеристики и размеры будут близки к тем значениям, которые имеют выпускаемые смесители, но являются ли они оптимальными, требуется доказать. Поэтому, представляется актуальным вопрос об определении оптимальной скорости движения смесительного барабана с учетом всего комплекса факторов, определяющих затраты на выпуск качественного бетона и достижения наибольшего экономического эффекта, базируясь на экономико-математическом методе исследования [5].

В качестве критерия определения оптимальных скоростей движения принимаем критерии минимизации удельных приведенных затрат на единицу выпускаемой продукции, включающие эксплуатационные затраты на единицу выпускаемой продукции, руб/м³:

$$Z_y = \frac{(S + E_H C)}{P_T}, \quad (1)$$

где S – текущие годовые затраты, которые связаны с эксплуатацией гравитационных бетоносмесителей, руб/год; E_H – нормативный коэффициент эффективности; C – капитальные вложения, руб/год; P_T – годовая эксплуатационная производительность, м³/год.

Текущие годовые затраты определяются по зависимости:

$$S = S_M + S_{зп} + S_{ам.кр} + S_{то.р} + S_э + S_{см} + S_{со}, \quad (2)$$

где S_M – затраты на сырье и материалы; $S_{зп}$ – затраты на заработную плату; $S_{ам.кр}$ – суммарные затраты на амортизацию и капитальный ремонт; $S_{то.р}$ – затраты на текущее обслуживание (ТО) и текущий ремонт; $S_э$ – затраты на электроэнергию; $S_{см}$ – затраты на смазочные материалы; $S_{со}$ – затраты на сметную оснастку.

Задача сводится к определению функциональных зависимостей статей затрат от средней скорости движения (v_{cp}) смесительного барабана бетоносмесителя. Наиболее системные исследования режимов работы смесителей изложены в работах [4, 5–7]. При определении затрат на материалы важно знать затраты, которые идут на 1 м³ бетона. Стоимость материалов определяется суммой затрат на заполнители: цемент, воду и добавки [5, 8]. Прочность бетона изменяется с изменением скорости перемешивания, что позволяет в некотором диапазоне скоростей несколько снизить расход цемента, не снижая прочности бетона. Затраты на другие компоненты бетонной смеси будут неизменными. В зависимости от условий приготовления и состава бетонной смеси, изменение прочности бетона в интервале 1...1,5 МПа эквивалентно изменению расхода цемента на 1...1,3 %.

На рис.1 представлена зависимость расхода цемента на 1 м³ тяжелых бетонов с учетом изменения прочности бетона в интервале 1...1,5 МПа. Характер кривой (рис.1) показывает, что она описывается уравнением вида:

$$y = ax^2 - bx + c. \quad (3)$$

Методом наименьших квадратов при известной цене 1 т цемента определяются коэффициенты a , b и c уравнения (3).

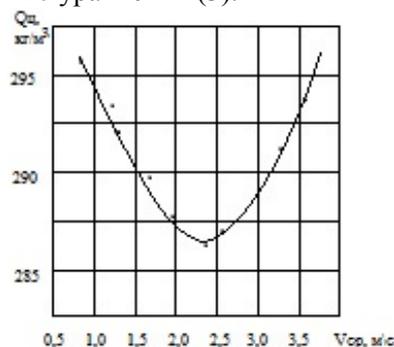


Рис.1. Зависимость расхода цемента на 1 м³ тяжелых бетонов в зависимости от средней скорости движения смесительного барабана

Зависимость расхода цемента $Q_ц = k(v_{cp})$ с учетом этих коэффициентов можно представить в виде, кг/м³:

$$Q_ц = 2,8v_{cp}^2 - 12,5v_{cp} + 289, \quad (4)$$

Изменение удельных затрат на материалы в зависимости от скорости движения барабана при условии, что цена 1т цемента будет известна, руб/м³, [8]:

$$S_M = (34,5v_{cp}^2 - 154,2v_{cp} + 3222) \cdot 10^{-3}. \quad (5)$$

Техническая производительность для циклических гравитационных смесителей определяется зависимостью [9]:

$$\Pi_T = V_B \cdot i, \quad (6)$$

где V_B – объем готового замеса, m^3 ; i – число замесов в час;

$$i = \frac{3600}{T_{Ц}}, \quad (7)$$

где $T_{Ц}$ – время одного цикла, с, равно

$$T_{Ц} = t_3 + t_{п} + t_B, \quad (8)$$

где t_3 – время загрузки смесителя, с, $t_3 = 15 \dots 20$; t_B – время разгрузки смесителя, с, $t_B = 12 \dots 80$; $t_{п}$ – время перемешивания, с, $t_{п} = 40 \dots 120$.

По данным различных исследований, время разгрузки без больших погрешностей можно принять $t_B = 0.5 t_{п}$, тогда время цикла бетоносмесителя определяется по формуле:

$$T_{Ц} = 15 + 1,5t_{п}. \quad (9)$$

Используя значения величин времени перемешивания $t_{п}$ в зависимости от скорости v_{cp} , можно определить время цикла и число замесов в час при работе на различных скоростях движения барабана. Установили, что время цикла обратно пропорционально скорости, с:

$$T_{Ц} = \frac{a}{v_{cp}}, \quad (10)$$

где a – параметрический коэффициент, в м, равен 138.

Тогда техническая производительность циклического бетоносмесителя, $m^3/ч$:

$$\Pi_T = V_B i = \frac{3600 V_B v_{cp}}{138} = 26 V_B v_{cp}. \quad (11)$$

Часовая эксплуатационная производительность будет, $m^3/ч$:

$$\Pi_{Э} = \Pi_T K_{ТИ}, \quad (12)$$

где Π_T определяется по (11); $K_{ТИ}$ – коэффициент перехода, $K_{ТИ} = 0,5$.

Окончательно часовая эксплуатационная производительность гравитационного бетоносмесителя будет равна, $m^3/ч$:

$$\Pi_{Э} = 13 V_B v_{cp}, \quad (13)$$

Годовая эксплуатационная производительность бетоносмесителя будет, $m^3/год$:

$$\Pi_T = \Pi_{Э} T_{Г} K_{И}, \quad (14)$$

где $T_{Г}$ – годовой фонд времени, $T_{Г} = 2567$ ч; $K_{И}$ – коэффициент использования внутрисменного времени, $K_{И} = 0,75$.

Подставив в формулу (14) значения $T_{Г}$, $K_{ТИ}$ и $K_{И}$ получаем, $m^3/год$:

$$\Pi_T = 25 \cdot 10^3 V_B v_{cp}, \quad (15)$$

где V_B – объем готового замеса, m^3 ; v_{cp} – окружная скорость движения барабана, м/с.

Следующей составляющей удельных приведенных затрат являются затраты на заработную плату производственных рабочих. Эти затраты изменяются в зависимости от возможностей заводов, схемы компоновки оборудования и других факторов [4, 5]. Для бетонных заводов средней мощности, оснащенных бетоносмесителями гравитационного действия, работающих при скорости движения $v_{cp} = 1,15 \dots 1,7$ м/с, удельные приведенные затраты на зарплату рабочих, при $S = 75$ руб/ m^3 , будет:

$$S'_{зп} = K_{пер} S, \quad (16)$$

где $K_{пер}$ – коэффициент перехода от тарифного фонда зарплаты к фонду, который учитывает начисления, $K_{пер} = 1,2$, тогда по формуле (16), $S'_{зп} = 1,2 \cdot 70 = 90$. Удельные приведенные затраты определяются как отношение суммы зарплаты, расходуемой в единицу времени $Z_{зп}$ к производительности $\Pi_{Э}$:

$$S_{зп} = \frac{Z_{зп}}{\Pi_{Э}}, \quad (17)$$

Учитывая динамику изменение удельных затрат на зарплату в функции скорости:

$$S_{зп} = \frac{u}{v_{cp}}, \quad (18)$$

где u – постоянный коэффициент, руб/(с· m^2). С учетом, что $S'_{зп} = 90 \frac{\text{руб}}{m^3}$, для $v_{cp} = 1,425 \frac{m}{c}$, определяем $u = S'_{зп} v_{cp} = 90 \cdot 1,425 = 128,2 \frac{\text{руб}}{c \cdot m^2}$.

Изменение удельных приведенных затрат на зарплату в зависимости от скорости будет, руб/ m^3 :

$$S_{зп} = \frac{128,2}{v_{cp}}. \quad (19)$$

Энергия, затрачиваемая на вращение смесительного барабана, определяется отношением мощности двигателя $P_{ДВ}$ к производительности $\Pi_{Э}$, тогда:

$$\Theta = \frac{P_{ДВ}}{\Pi_{Э}}. \quad (20)$$

Мощность, затрачиваемая на подъем смеси и преодоление сопротивлений от трения в опорных механизмах смесительного барабана, определяется, кВт, [9]:

$$P_{ДВ} = \frac{P_1 + P_2}{\eta}, \quad (21)$$

где P_1 – мощность, расходуемая на подъем смеси, кВт; P_2 – мощность, расходуемая на преодоление силы трения, кВт; η – КПД трансмиссии, $\eta = 0,75 \dots 0,85$.

Мощность, затрачиваемая на подъем смеси, определяется по зависимости, кВт:

$$P_1 = K_C \Sigma F v_{cp} \cdot 10^{-3}, \quad (22)$$

где K_C – коэффициент сопротивления движению барабану, Па; ΣF – суммарная активная площадь лопастей, участвующих в подъеме смеси, м²; v_{cp} – окружная скорость, м/с.

Для смесительного барабана с центральной цапфой P_2 определяется, кВт:

$$P_2 = 0,1P_1 = 0,12K_C \Sigma F v_{cp} \cdot 10^{-3}. \quad (23)$$

По формуле (21) определяем мощность двигателя, кВт:

$$P_{дв} = 1,1K_C \Sigma F v_{cp} \cdot 10^{-3}. \quad (24)$$

Тогда энергия, затрачиваемая на подъем смеси и преодоление силы трения, будет, кВт·ч/м³:

$$\Theta = \frac{K_C \Sigma F}{0,1 \cdot 10^3 V_B}. \quad (25)$$

Принимаем отношение суммарной активной площади лопастей к объему готового замеса, $\frac{\Sigma F}{V_B} = 4,3$, [6], тогда:

$$\Theta = \frac{3}{10^3} K_C. \quad (26)$$

Энергоемкость перемешивания смеси численно равна произведению некоторого коэффициента на K_C , Па.

Для тяжелых бетонных смесей коэффициент сопротивления движению барабана имеет вид, Па, [5, 11]:

$$K_C = (3,86v_{cp}^2 - 1,41v_{cp} + 22,4) \cdot 10^{-3}. \quad (27)$$

Подставляя (27) в формулу (26), получаем зависимость для определения энергии, затрачиваемой на перемешивание смеси, кВт·ч/м³:

$$\Theta = 11,6v_{cp}^2 - 4,23v_{cp} + 67,2, \quad (28)$$

При известной цене электроэнергии, $\Pi_э$, руб/тыс. кВт·ч, удельные приведенные затраты на электроэнергию в функции скорости движения барабана будут, руб/м³:

$$S_э = (11v_{cp}^2 \Pi_э - 4,23v_{cp} \Pi_э + 67,2 \Pi_э) \cdot 10^{-3}. \quad (29)$$

Для определения удельных приведенных капитальных вложений в зависимости от скорости движения примем капитальные вложения S на

технику равными балансовой стоимости машины $\Pi_б$, руб:

$$S = \Pi_б = K_б \Pi_ц, \quad (30)$$

где $K_б$ – коэффициент перехода от оптовой цены к балансовой, $K_б = 1,14$; $\Pi_ц$ – птовая цена смесителя, руб.

Представительным коррелятом цены принимается масса бетоносмесителя:

$$\Pi_ц = \beta G_б, \quad (31)$$

где β – коэффициент корреляции, руб/кг, $\beta = 0,65$; $G_б$ – масса, кг.

Зависимость изменения массы смесителя и мощности двигателя $P_{дв}$, [1]:

$$G_б = (115 \dots 121) P_{дв}. \quad (32)$$

Тогда, с учетом формулы (24) для определения $P_{дв}$, получим зависимость:

$$G_б = 132K_C \Sigma F v_{cp} \cdot 10^{-3}. \quad (33)$$

Оптовая цена бетоносмесителя определяется по формуле (31), руб:

$$\Pi_ц = 74,8K_C \Sigma F v_{cp} \cdot 10^{-3}. \quad (34)$$

Тогда капитальные вложения будут (30), руб:

$$S = 74,8K_C \Sigma F v_{cp} \cdot 10^{-3}. \quad (35)$$

Удельные приведенные капитальные затраты:

$$S_K = \frac{E_{п.с}}{\Pi_T} = \frac{0,15 \cdot 74,8K_C \Sigma F v_{cp} \cdot 10^{-3}}{25 \cdot 10^3 V_B v_{cp}}. \quad (36)$$

С учетом, что $\frac{\Sigma F}{V_B} = 0,3$, и значение K_C , по-

лучим зависимость для определения удельных приведенных капитальных затрат, руб/м³:

$$S_K = (0,54v_{cp}^2 - 0,2v_{cp} + 3,14) \cdot 10^{-3}. \quad (37)$$

Удельные приведенные затраты на реновацию и капитальный ремонт бетоносмесителя определяются:

$$Z_{ар} = K_{ар} \Pi_б, \quad (38)$$

где $Z_{ар}$ – амортизационные отчисления; $K_{ар}$ – норма, $K_{ар} = 0,12$; $\Pi_б$ – балансовая стоимость бетоносмесителя.

$$Z_{кр} = K_{кр} \Pi_б, \quad (39)$$

где $Z_{кр}$ – затраты на капремонт; $K_{кр}$ – норма, $K_{кр} = 0,133$.

Суммарные удельные затраты на реновацию и капремонт:

$$S_{ам.кр} = \frac{(Z_{ар} + Z_{кр})}{\Pi_T} = \frac{0,253 \Pi_б}{\Pi_T}. \quad (40)$$

С учетом Π_T и $\Pi_б$ затраты определяются по формуле, руб/м³:

$$S_{\text{ам.кр}} = (0,88v_{\text{cp}}^2 - 0,36v_{\text{cp}} + 5,71) \cdot 10^{-3}. \quad (41)$$

Удельные приведенные затраты на ТО и текущие работы:

$$Z_p = \frac{C_p T_{\Gamma}}{T_p}, \quad (42)$$

где C_p – стоимость текущих ремонтов и ТО; T_{Γ} – годовой фонд времени, $T_{\Gamma} = 2567$ ч; T_p – периодичность текущих ремонтов, $T_p = 1000 \dots 2000$ ч.

Межремонтный цикл определяется, ч:

$$T_{\text{рц}} = \frac{q}{G \cdot v_{\text{cp}}}, \quad (43)$$

где q – коэффициент пропорциональности; $G = K_C \Sigma F$ – нагрузка на лопасти барабана.

Приняв $\Sigma F = 0,3 \text{ м}^2$ и $T_{\text{рц}} = 1200$ ч, определяем q :

$$q = T_{\text{рц}} (22,4 + 3,86v_{\text{cp}}^2 - 1,41v_{\text{cp}}) \cdot 10^{-3} \Sigma F v_{\text{cp}}. \quad (44)$$

$$q \cong 16,2 \cdot 10^6.$$

Тогда межремонтный цикл определяется:

$$T_{\text{рц}} = \frac{16,2 \cdot 10^6}{K_C \Sigma F v_{\text{cp}}}. \quad (45)$$

Удельные приведенные затраты на ТО и технические ремонты, руб/м³:

$$S_{\text{ТО.Р}} = \frac{Z_p}{\Pi_T} = \frac{C_p T_{\Gamma} K_C \Sigma F v_{\text{cp}}}{25 \cdot 16,2 \cdot 10^6 V_{\Gamma} v_{\text{cp}}}. \quad (46)$$

Приняв в (46) $\frac{\Sigma F}{V_{\Gamma}} = 0,3$, получаем затраты,

руб/м³:

$$S_{\text{ТО.Р}} = (2,31v_{\text{cp}}^2 - 0,71v_{\text{cp}} + 14,2) \cdot 10^{-3}. \quad (47)$$

Удельные приведенные затраты на смазочные и другие материалы определяются:

$$S_{\text{СМ}} = \alpha \mathcal{E}, \quad (48)$$

где α – стоимость смазочных материалов по 1 кВт·ч, $\alpha = 15,2$ руб/кВт·ч; \mathcal{E} – энергия, определяется по формуле (28), тогда:

$$S_{\text{СМ}} = 15,2(11,6v_{\text{cp}}^2 - 4,23v_{\text{cp}} + 67,2). \quad (49)$$

Удельные затраты на сменную оснастку принимаются в пределах 3...5 % от суммы остальных затрат, $K_{\text{осн}} = 1,04$.

С целью определения функциональной зависимости приведенных затрат от скорости движения смесительного барабана, необходимо суммировать все составляющие по формуле (2), а именно: затраты на материалы – формула (5), по заработной плате – (19), на электроэнергию – (29), на реновацию и капитальный ремонт – (40), на ТО и технический ремонт – (46), на смазочные

материалы – (49), на оснастку с учетом капитальных вложений – (37) и производительности. Подставив все перечисленные удельные приведенные затраты в формулу (1), получим, руб/м³:

$$Z_y = (160,35v_{\text{cp}}^2 - 606,6v_{\text{cp}} + 460 + \frac{128,2}{v_{\text{cp}}}) \cdot 10^{-3}. \quad (50)$$

Для определения оптимальной скорости движения смесительного барабана гравитационного бетоносмесителя, при которой удельные затраты будут минимальны, требуется взять от функции (50) первую производную и приравнять к нулю:

$$Z'_y = 0. \quad (51)$$

Решение уравнения (51) в функции скорости движения смесительного барабана гравитационного бетоносмесителя с емкостью готовой смеси 1000 л, дает значение $v_{\text{cp}} = 1,48 \approx 1,5$ м/с.

Для гравитационного смесителя такая скорость ($v_{\text{cp}} = 1,5$ м/с) движения смесительного барабана соответствует средней скорости с числом оборотов барабана, $n_{\text{cp}} = 15,71 \approx 16$ об/мин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Густов Ю.И., Кайтуков Б.А., Григорьева М.Н. Повышение эффективности работы роторного бетоносмесителя принудительного действия // Механизация строительства. 2016. №11. С. 26–29.
2. Богомолов А.А. О сущности прогресса смешивания и его критериях // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2005. №9. С. 301.
3. Богданов В.С., Шарапов Р.Р., Фадин Ю.М., Семикопенко И.А., Несмеянов Н.П., Герасименко В.Б. Основы расчета машин и оборудования предприятий строительных материалов и изделий. Учебник. Старый Оскол. 2012 г.
4. Теличенко В.И., Кайтуков Б.А., Скуль В.И. К вопросу производительности роторных бетоносмесителей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. №2. 2017. С. 178–183.
5. Теличенко В.И., Кайтуков Б.А., Скуль В.И. Определение оптимальных скоростей движения лопастей роторных бетоносмесителей. №3. 2017. С. 80–84.
6. Воронов В.И. Исследование циклических бетоносмесителей и прогнозирование их перспективных параметров. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд.техн.наук. М. 1975 г.
7. Определение потребляемой мощности гравитационных бетоносмесителей // Строительные и дорожные машины. 1975 г. №12.
8. Теличенко В.И., Прокопенко В.С., Шарапов Р.Р., Бойчук Н.П. Моделирование осаждения цемента в технологической системе замкнутого цикла с рециркуляцией //

Механизация строительства. 2016. №14. С. 5–8.

9. Пуляев С.М., Степанов М.А., Кайтуков Б.А. Механическое оборудование и технологические комплексы. Учебное пособие МГСУ. 2015. С.480.

10. Сапелин Н.А., Бурьянов А.Ф. Зависимости прочности бетонов на основе

неорганических вяжущих от средней плотности // Строительные материалы. 2001. №6. С.36-38.

11. Sharapov R.R., Shrubchenko I.V., Agarkov A.M. Determination of the optimal parameters of the equipment to obtain fine powders. International // Journal of Applied Engineering Research. 2015. T. 10. № 12. С. 31341–31348.

Информация об авторах

Теличенко Валерий Иванович, доктор технических наук, профессор, президент МГСУ

E-mail: PRESIDENT@mgsu.ru

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

Кайтуков Батраз Амурханович, кандидат технических наук, доцент кафедры механизации строительства

E-mail: KaitukovBA@mgsu.ru

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

Скель Владимир Израилевич, кандидат технических наук, доцент кафедры механизации строительства

E-mail: SkelVI@mgsu.ru

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

Поступила в сентябре 2017 г.

© Теличенко В.И., Кайтуков Б.А., Скель В.И., 2017

Telichenko V.I., Kaitukov B.A., Skel V.I.

**THE DETERMINATION OF OPTIMAL SPEEDS OF THE MIXING DRUMS
OF THE GRAVITATIONAL MIXER**

The article discusses the determination of the optimal speed of the drum of gravity concrete mixer according to the criterion of minimizing the specific costs per unit of products, including: operational expenses and capital investments; the cost of raw materials in the technological process; cost of wages of employees; total costs of depreciation and overhaul costs routine maintenance and minor repairs; energy costs; the cost of lubricants; the cost of replacement tooling; capital investments for the purchase of machines, etc. All costs and investments are analyzed from the point of view of influence of speed of movement of the drum on the corresponding figure. The result is a functional dependence between all components of the specific reduced costs per produced unit products and the speed of the drum gravity mixers. Based on the analysis of known data, this dependence is accepted parabolic (quadratic). For example, consider a gravity mixer with capacity of 1000 L.

Keywords: *gravity concrete mixer, intensification, productivity, speed of drum movement, given the costs.*

Information about the authors

Telichenko Valery Ivanovich, PhD, Professor.

E-mail: PRESIDENT@mgsu.ru

Moscow State University of Civil Engineering.
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26.

Kaitukov Batraz Amurkhanovich, PhD, Assistant professor.

E-mail: KaitukovBA@mgsu.ru

Moscow State University of Civil Engineering.
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26.

Skel Vladimir Izrailevich, PhD, Assistant professor.

E-mail: SkelVI@mgsu.ru

Moscow State University of Civil Engineering.
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26.

Received in September 2017

© Telichenko V.I., Kaitukov B.A., Skel V.I., 2017

¹Гавриленко А.В., канд. техн. наук, асс.,
¹Богданов В.С., д-р техн. наук, проф.,
¹Лозовая С.Ю., д-р техн. наук, проф.,
¹Федин Ю.М., канд. техн. наук, проф.,
¹Кулаков Л.С., магистрант,
¹Гавшин А.П., студент,

²Тюфанова Ю.В., специалист по оборудованию

¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

²ООО «Объединенные кондитеры»

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПНЕВМОКАМЕРНОГО НАСОСА*

andrej.402@mail.ru

Производительность пневмокамерного насоса зависит от таких факторов, как время разгрузки, давление в камере насоса, высота расположения разгрузочной трубы от днища камеры, диаметр разгрузочной трубы, угол раскрытия конфузора, высота расположения аэрационного устройства от днища камеры, количество сопел аэрационного устройства и другие, но основными являются такие как давление в камере насоса – P , высота расположения разгрузочной трубы от днища камеры – h_{rt} , высота расположения аэрационного устройства от днища камеры – h_a . В статье рассмотрено влияние основных факторов на время разгрузки камеры насоса, выбраны диапазоны их варьирования. Получены уравнения регрессии времени разгрузки камеры насоса и производительности насоса при фиксированных значениях давления в камере насоса, высоты расположения разгрузочной трубы от днища камеры, высоты расположения аэрационного устройства от днища камеры.

Ключевые слова: сжатый воздух, пневмокамерный насос, сыпучий материал, мультисопловое аэрационное устройство, псевдооживление, производительность насоса, время разгрузки камеры.

В ходе реализации и обработки результатов экспериментов получено уравнение регрессии $G_y(\tau_r) = f(P_{изб}; h_{rt}; h_a)$, которое показывает изменение времени выгрузки порции материала (цемента) 50 кг и секундной производительности в зависимости от основных факторов.

$$\tau_r = 7,5 - 3,3x_1 + 3,7x_2 + 0,8x_3 + 0,8x_1x_3 + 0,3x_2x_3 + 1,2x_1^2 + 5,6x_2^2 + 1,6x_3^2. \quad (1)$$

Анализируя уравнения регрессии (1) определим значимость факторов (рис. 1): избыточное давление $P_{изб} = 42\%$; высота расположения разгрузочной трубы от днища камеры $h_{rt} = 47\%$; высота расположения аэрационного устройства от днища камеры $h_a = 11\%$.

Наибольшее влияние на величину времени разгрузки оказывает фактор (высота расположения разгрузочной трубы от днища камеры $h_{rt} = 47\%$), а наименьшее значение фактор x_3 (высота расположения аэрационного устройства от днища камеры $h_a = 10\%$), которое почти в 5 раз меньше [1–4].

Уравнение регрессии времени разгрузки τ_r порции материала в кодированном виде имеет вид

Влияние фактора x_1 (избыточное давление $P_{изб} = 42\%$) примерно равно влиянию фактора x_2 , и примерно в 4 раза больше влияния фактора x_3 . Отрицательный знак при факторе x_1 показывает, что с его увеличением значение времени разгрузки уменьшается. Положительный знак при коэффициентах факторов x_2 и x_3 показывает на то, что при их повышении время разгрузки увеличивается. Значение коэффициента при члене уравнения совместного влияния x_1x_2 указывает на то, что было полностью охвачено факторное пространство данных членов.

Уравнение регрессии в декодированном виде имеет вид

$$\tau_r = 177,5 - 102P - 1,3h_{rt} - 2,7h_a + 0,4Ph_a + 0,002h_{rt}h_a + 1,2P^2 + 5,6h_{rt}^2 + 1,6h_a^2. \quad (2)$$

С помощью программного пакета получена поверхность, на которой любая точка показывает, при каких значениях факторов можно получить минимальное время разгрузки $\tau_r = 6$ с, а именно при сочетании значений избыточного

давления, высот расположения разгрузочной трубы от днища камеры и аэрационного устройства в интервалах 1,2–1,5 атм., 34–59 мм и 40–59 мм соответственно. Геометрические пара-

метры регулируются конструктивно, т.к. это заложено при конструировании и изготовлении лабораторной установки, а избыточное давление влияет на расход воздуха, а следовательно на энергозатраты процесса транспортирования, то можно предположить, что целесообразно использовать значения факторов в точке А (рис. 2), выбирая минимальное значение давления: $P_{изб} = 1,2$ атм., $h_{rt} \approx 55$ мм, $h_a \approx 55$ мм, но это не означает, что при названных параметрах получим макси-

мальную производительность. Анализируя результаты экспериментов при $P_{изб} = 1,5$ атм., $h_{rt} \approx 55$ мм, $h_a \approx 55$ мм время разгрузки $\tau_r = 6$ с, производительность равна $G_y = 8,3$ кг/с, но непонятно какая производительность при давлении $P_{изб} = 1,2$ атм. Поэтому необходимо рассмотреть влияние основных факторов на секундную производительность, как одного из основных технико-экономических показателей работы любого устройства.

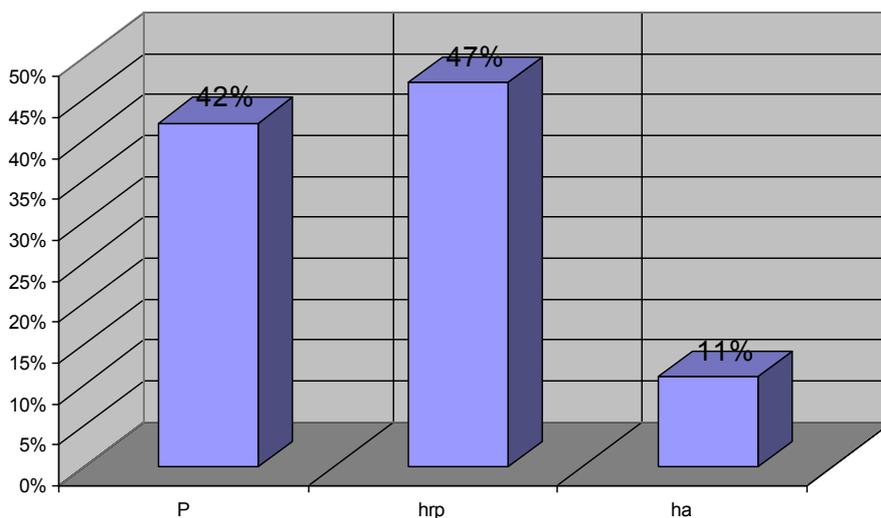


Рис. 1. Значимость основных факторов при времени разгрузки

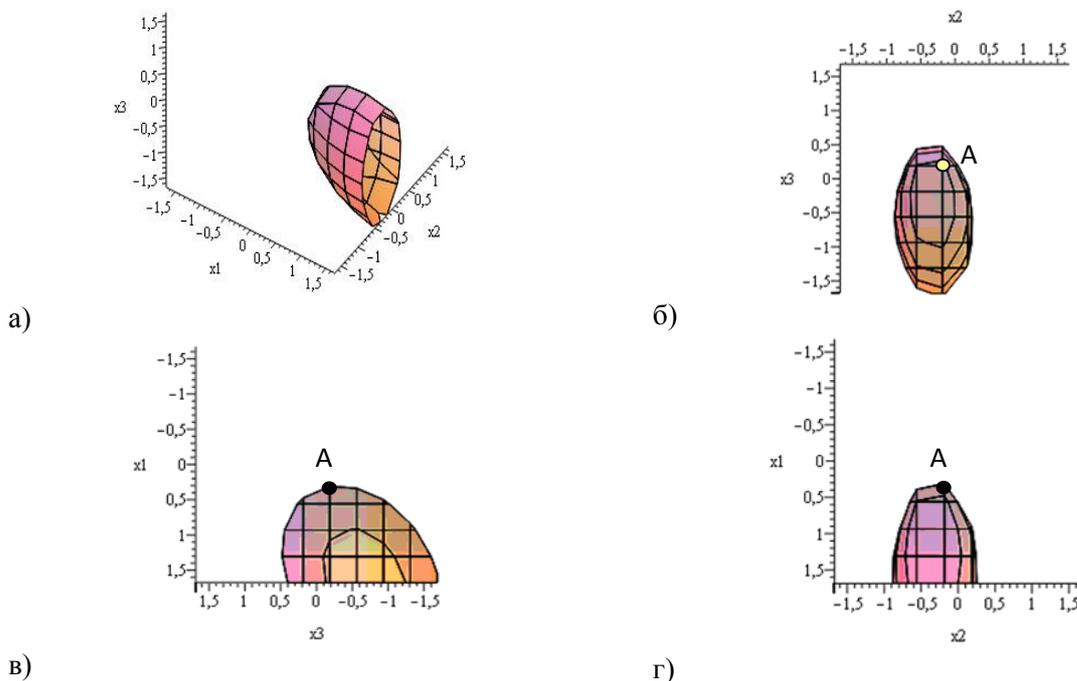


Рис. 2. Графические структуры, отображающие минимальную фиксированную величину времени разгрузки $\tau_r = 6$ с от основных факторов:

а) 3х мерное изображение, б) проекция на ось x_1 , в) проекция на ось x_2 , г) проекция на ось x_3

Уравнение регрессии секундной производительности G_y в кодированном виде имеет вид

$$G_y = 6,6 + 1,4x_1 - 0,8x_2 - 0,4x_3 - 0,56x_1x_2 - 0,4x_1x_3 + 0,2x_2x_3 + 0,34x_1^2 - 1,6x_2^2 - 0,8x_3^2. \quad (3)$$

Анализируя уравнения регрессии (3), определим значимость факторов (рис. 3). Наибольшее влияние на величину производительности оказывает фактор x_1 (избыточное давление $P_{изб} = 54\%$), а знак «+» показывает на то, что при его увеличе-

нии увеличивается функция отклика. Отрицательный знак при коэффициентах факторов x_2 и x_3 показывает на то, что при их повышении производительность уменьшится. Значимость факторов x_2 и x_3 равны 31% и 15%, что меньше влияния фактора x_1 в 1,7 и 3,6 раз соответственно.

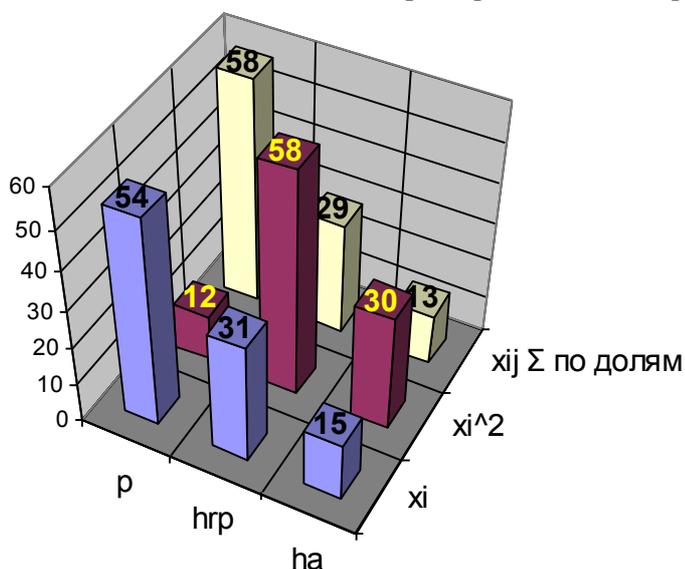


Рис. 3. Значимость основных факторов для секундной производительности:

■ x_i - $x_1 (P_{изб}) = 54\%$; $x_2 (h_{rr}) = 31\%$; $x_3 (h_a) = 15\%$;

■ x_i^2 - $x_1 (P_{изб}) = 12\%$; $x_2 (h_{rr}) = 58\%$; $x_3 (h_a) = 30\%$;

□ $x_{ij} \Sigma$ по долям - $x_1 (P_{изб}) = 58\%$; $x_2 (h_{rr}) = 29\%$; $x_3 (h_a) = 13\%$

Так как значимость фактора x_3 относительно мала, то для упрощения анализа влияния факторов на производительность принимаем значение высоты расположения аэрационного устройства

от днища камеры равным $h_a = 55$ мм значению основного (нулевого) уровня варьирования.

Уравнение регрессии в декодированном виде имеет вид

$$G_y = -65,8 + 3P + 0,5h_{rr} + 1,2h_a - 0,12Ph_{rr} - 0,21Ph_a + 0,001 h_{rr}h_a + 7,71P^2 - 0,004h_{rr}^2 - 0,01h_a^2. \quad (4)$$

Используя аналитический пакет Maple 13, были построены трехмерные фигуры, показыва-

ющие зависимость производительности от изменения основных факторов при фиксированных значениях $G_y = 8,3; 7,3; 6,3$ кг/с (рис. 4).

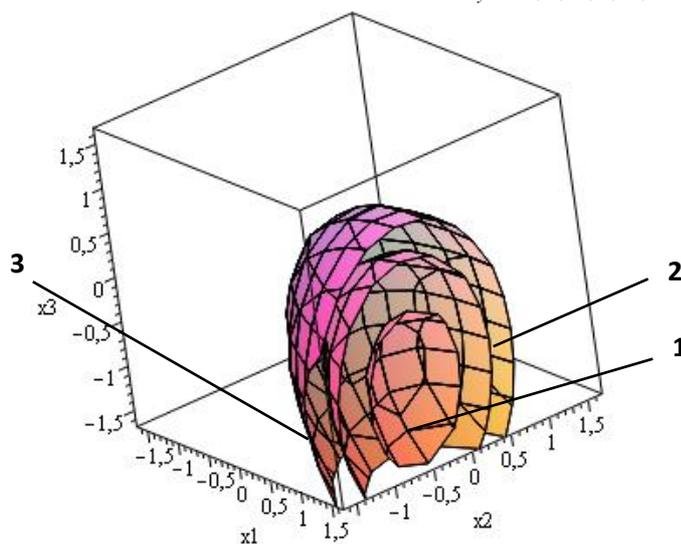


Рис. 4. Графические структуры, отображающие фиксированные величины производительности в зависимости от основных факторов:

1 - $G_y = 8,3$ кг/с; 2 - $G_y = 7,3$ кг/с; 3 - $G_y = 6,3$ кг/с

На рис. 5 отображена поверхность, на которой любая точка показывает, при каких значениях факторов можно получить максимальную секундную производительность $G_y = 8,3$ кг/с, а именно при сочетании значений избыточного

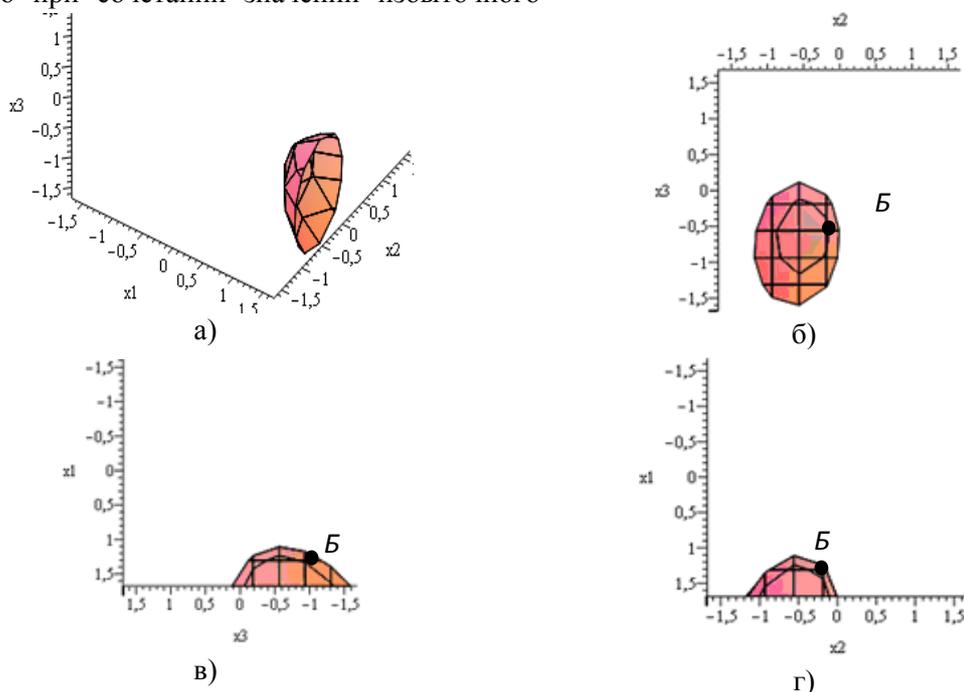


Рис. 5. Графические структуры, отображающие максимальную фиксированную величину производительности $G_y = 8,3$ кг/с от основных факторов:

а) 3х мерное изображение, б) проекция на ось x_1 , в) проекция на ось x_2 , г) проекция на ось x_3

Геометрические параметры регулируются конструктивно, т.к. это заложено при конструировании и изготовлении лабораторной установки, а избыточное давление влияет на расход воздуха, а, следовательно, на энергозатраты процесса транспортирования, то можно предположить, целесообразно использовать значения факторов в точке *Б* (рис. 5), выбирая минимальное значение давления: $P_{изб} = 1,36$ атм., $h_{рт} \approx 45$ мм, $h_a \approx 50$ мм.

Определено, что значимость основных факторов, влияющих на функции отклика распределяется следующим образом: времени разгрузки τ_r – избыточное давление 42 %; высота расположения разгрузочной трубы от днища камеры 47%; высота расположения аэрационного устройства от днища камеры 10 %; секундной производительности G_y (кг/с) – $P_{изб} = 54$ %; $h_{рт} = 31$ %; $h_a = 15$ %; расхода воздуха Q_y (м³/т) – $P_{изб} = 51$ %; $h_{рт} = 41$ %; $h_a = 8$ %.

Установлено, что минимальное время разгрузки $\tau_r = 6$ с при минимальном значении давления: $P_{изб} = 1,5$ атм. и расстояниях от дна камеры насоса до разгрузочной трубы $h_{рт} \approx 55$ мм и аэрационного устройства $h_a \approx 55$ мм.

Установлено, что зависимости G_y от изменения избыточного давления и высоты расположения аэрационного устройства от днища камеры

давления, высот расположения разгрузочной трубы от днища камеры и аэрационного устройства в интервалах 1,36–1,5 атм., 28–55 мм и 40–58 мм соответственно.

на всем диапазоне их варьирования при фиксированных значениях высоты расположения аэрационного устройства от днища камеры показал, что они не линейны и носят возрастающий характер. При высоте разгрузочной трубы от днища камеры $h_{рт} = 20$ –34 мм, и для значений высоты аэрационного устройства от днища камеры $h_a = 40$ мм и $h_a = 46$ –55 мм при минимальном $P_{изб} = 0,8$ атм. производительность равна $G_y = 5,4$ кг/с и $G_y = 7,2$ кг/с, соответственно. Также при максимальном значении избыточного давления 1,5 атм. производительность максимальна $G_y = 8,4$ кг/с при $h_{рт} = 34$ мм, $h_a = 46$ мм, а при $h_{рт} = 55$ мм, $h_a = 55$ мм, $P_{изб} = 0,8$ атм. $G_y = 7,5$ кг/с. При увеличении давления почти в 2 раза производительность увеличится примерно в 1,2 раза и 1,1 раз, соответственно.

**Работа выполнена в рамках Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богданов В.С., Лозовая С.Ю., Фадин Ю.М., Гавриленко А.В., Кулаков Л.С., Гавшин А.П. Исследование мультисоплового аэрационного устройства в пневмокамерном насосе // Вестник БГТУ. 2017. № 8. С. 145–148.
2. Богданов В.С., Фадин Ю.М., Шаптала

В.В., Гавриленко А.В., Характеристики потоков цементно-воздушной смеси при пневмотранспортировании цемента // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 2. С. 110–112.

3. Гавриленко А.В., Определение потерь давления в установке пневматического транспорта материалов // Вестник ИрГТУ. 2015. №4. С.

23–26.

4. Bogdanov V.S., Fadin Yu.M., Lozovaya S.Yu., Gavrilenko A.V. Research of influence of the main parameters on the capability of the pneumatic chamber pump with multijet aeration unit // International Journal of Pharmacy & Technology. 2016. T. 8. №. 4. С. 24669–24680.

Информация об авторах

Гавриленко Андрей Владимирович, кандидат технических наук, ассистент кафедры механического оборудования.

E-mail: andrej.402@mail.ru

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

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

Богданов Василий Степанович, доктор технических наук, профессор кафедры механического оборудования.

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

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

Лозовая Светлана Юрьевна, доктор технических наук, профессор кафедры механического оборудования.

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

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

Фадин Юрий Михайлович, кандидат технических наук, профессор кафедры механического оборудования.

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

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

Кулаков Леонид Сергеевич, магистрант кафедры механического оборудования.

E-mail: leo.kulakov@mail.ru

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

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

Гавшин Алексей Петрович, студент кафедры механического оборудования.

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

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

Тюфанова Юлия Викторовна, специалист по оборудованию.

ООО «Объединенные кондитеры».

Россия, 308006, Белгород, ул. Волчанская, д. 167

Поступила в сентябре 2017 г.

© Гавриленко А.В., Богданов В.С., Лозовая С.Ю., Фадин Ю.М., Кулаков Л.С., Гавшин А.П., Тюфанова Ю.В., 2017

**Gavrilenko A.V., Bogdanov V.S., Lozovaja S.Y., Fadin Y.M., Kulakov L.S.,
Gavshin A.P., Tyufanova Y.V.
INVESTIGATION OF THE IMPACT ON MAIN FACTORS ON PERFORMANCE
OF AIR-CAMERA PUMP**

The capacity of the air chamber pump depends on such factors as the discharge time, the pressure in the pump chamber, the height of the unloading pipe from the bottom of the chamber, the diameter of the discharge pipe, the opening angle of the confuser, the height of the aeration device from the bottom of the chamber, the number of nozzles of the aeration device and others, such as the pressure in the pump chamber - P , the height of the discharge pipe from the bottom of the chamber - h_r , the height of the arrangement of the aeration device from the bottom of the chamber - h_a . The influence of the main factors on the discharge time of the pump chamber is considered in the article, the ranges of their variation are chosen. Regression equations for the discharge time of the pump chamber and pump capacity are obtained for fixed values of pressure in the pump chamber, the height of the discharge pipe from the bottom of the chamber, and the height of the arrangement of the aeration device from the bottom of the chamber.

Keywords: *compressed air, pneumatic chamber pump, granular material, melissophobia aeration device, the fluidization, pump capacity, time of unloading the camera.*

Information about the authors

Gavrilenko Andrey Vladimirovich, PhD, Assistant.

E-mail: Andrej.402@mail.ru.

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

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

Bogdanov Vasiliy Stepanovich, PhD, Professor.

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

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

Lozovaya Svetlana Yurevna, PhD, Professor.

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

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

Fadin Yuriy Mihaylovich, PhD, Professor.

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

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

Kulakov Leonid Sergeevich, Bachelor student.

E-mail: leo.kulakov@mail.ru.

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

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

Gavshin Aleksey Petrovich, Bachelor student.

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

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

Tyufanova Yuliya Viktorovna, equipment specialist.

ООО «United confectioners».

Russia, 308006, Belgorod, st. Volchanskaya, 167.

Received in September 2017

© Gavrilenko A.V., Bogdanov V.S., Lozovaya S.Y., Fadin Y.M., Kulakov L.S., Gavshin A.P., Tyufanova Y.V., 2017

DOI: 10.12737/article_5a27cb8a256fd2.85726888

Логачев И.Н., д-р техн. наук, проф.,
Семикопенко И.А., канд. техн. наук, доц.,
Смирнов Д.В., аспирант
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДВИЖЕНИЯ КРУПНЫХ ЧАСТИЦ ИЗМЕЛЬЧЕННОГО МАТЕРИАЛА В КРИВОЛИНЕЙНОМ ПАТРУБКЕ ВОЗВРАТА ДЕЗИНТЕГРАТОРА*

semikopenco.i@yandex.ru

В данной статье дан анализ результатов численного исследования дифференциальных уравнений динамики движения крупных частиц в вертикальных тороидальных каналах патрубков возврата при одномерном течении воздуха. Представлена схема траектории движения крупных частиц измельченного материала в криволинейном патрубке возврата при вертикальном реверсе их воздушным потоком. Установлено, что крупные частицы при восходящем движении имеют заметное радиальное перемещение к наружной стенке канала.

Ключевые слова: дезинтегратор, поток, стенка, частица.

Дезинтеграторы являются одним из эффективных видов оборудования для помола и активации мягких и средней прочности материалов [1].

На рис. 1 представлена схема камеры помола дезинтегратора с патрубком возврата 9 измельченного материала. Дезинтегратор работает следующим образом. Исходный материал из загрузочного бункера 1 через внутреннюю трубу вертикального загрузочного устройства 3 под действием силы тяжести и центробежной силы направляется в нижнюю часть ударных элементов 12. Затем материал измельчается посредством ударных элементов 5. Предварительно измельченный материал поступает в патрубок возврата 9. Мелкие частицы направляются в патрубок 2 готового продукта, расположенный за регулируемой поворотной заслонкой 8.

Крупные частицы направляются во внешнюю трубу 11 вертикального загрузочного устройства 3. Посредством поворотной заслонки 8 можно регулировать граничный размер частиц материала, направляемого на дополнительное измельчение. Конструкция дезинтегратора предусматривает подачу крупной фракции материала посредством винтовой направляющей 10 во внешнюю трубу 11 вертикального загрузочного устройства 3 в верхнюю часть ударных элементов 12 камеры помола.

Рассмотрим перемещение крупной ($d_e > 100$ мкм) частицы материала в патрубке возврата 9 под действием двух основных сил: силы тяжести, Н:

$$\vec{P}_m = m\vec{g}, \quad (1)$$

и аэродинамической силы, Н:

$$\vec{F}_a = k_{пр} \cdot (\vec{u} - \vec{v}), \quad (2)$$

где m – масса частицы, кг; \vec{g} – вектор ускорения силы тяжести, м/с²; \vec{u} – вектор скорости воздушного потока во внутренней полости патрубке возврата, м/с; \vec{v} – вектор скорости частицы, м/с; $k_{пр}$ – коэффициент пропорциональности, равный для крупных частиц ($d_e > 100$ мкм) [2]:

$$k_{пр} = C_0 \frac{\pi d_e^2}{2} \cdot \frac{\rho}{2} |\vec{u} - \vec{v}|, \quad (3)$$

где C_0 – коэффициент лобового сопротивления частицы; $|\vec{u} - \vec{v}|$ – абсолютная величина скорости воздуха относительно скорости частицы, м/с; d_e – эквивалентный диаметр частицы, м; ρ – плотность воздуха, кг/м³.

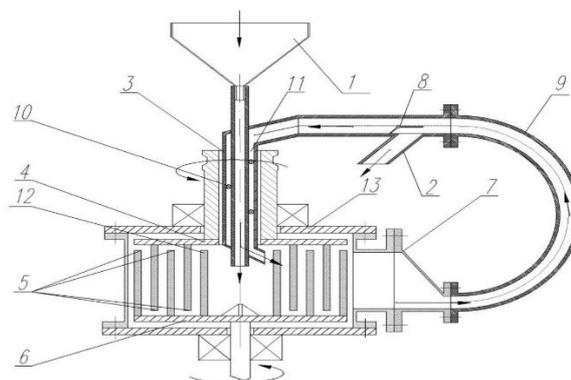


Рис. 1. Схема камеры помола дезинтегратора с криволинейным патрубком возврата крупных частиц материала.

1 – загрузочный бункер; 2 – патрубок готового продукта; 3 – вертикальное загрузочное устройство; 4 – верхний ротор; 5 – ударные элементы; 6 – нижний ротор; 7 – переходной фланец; 8 – регулируемая поворотная заслонка; 9 – патрубок возврата; 10 – винтовая направляющая; 11 – внешняя труба; 12 – ударные элементы первого ряда; 13 – корпус

Таким образом, уравнение динамики частицы в векторной форме запишем в виде

$$m \frac{d\vec{\vartheta}}{dt} = \vec{F}_a + \vec{P}_m. \quad (4)$$

где

$$K_2 = \frac{c_0 \pi d_r^2}{4} \cdot \frac{\rho}{2} \left[\left(\frac{u_0 y(t)}{r} + \vartheta_x(t) \right)^2 + \left(\frac{u_0 x(t)}{r} - \vartheta_y(t) \right)^2 \right]^{0,5}, \quad (6)$$

где d_r – граничный размер частицы; u_0 – абсолютная величина вектора скорости воздуха, м/с, а система дифференциальных уравнений движения частиц выглядит следующим образом [3, 4]:

$$des: D(\vartheta_x)(t) = -K \left(\frac{u_0 y(t)}{r} + \vartheta_x(t) \right); \quad (7)$$

$$D(\vartheta_y)(t) = -g - K \left(\vartheta_y(t) - \frac{u_0 x(t)}{r} \right); \quad (8)$$

$$D(x)(t) = \vartheta_x(t), D(y)(t) = \vartheta_y(t). \quad (9)$$

Отличается движение крупных частиц тем, что в силу инерционности (прежде всего из-за большой массы) искривленность их траектории не столь значительна, при этом неизбежны столкновения со стенками патрубка возврата, особенно при малых размерах поперечного сечения этого патрубка. Заметим, что при существующей в нашем случае объемной концентрации ($\beta < 0,01$) измельченных дисперсных материалов влиянием стесненности можно пренебречь [2] и принять поправочный коэффициент на величину лобового сопротивления частиц:

$$E_\beta = (1 - \beta)^2 \rightarrow 1, \quad (10)$$

т.е. коэффициент $C_0 = 1,8$ (для крупных частиц) как и скорость витания u_s в нашем случае определяется для одиночной частицы.

При выполнении численного интегрирования по расчетной процедуре скорость витания принята:

для мелких частиц:

$$u_s = \frac{g d_r^2 \gamma^*}{18 \nu \rho}, \quad (11)$$

$$\begin{cases} x(0) = x_{S_1}; y(0) = -y_{S_1}; \\ \vartheta_{x_{S_1}}(0) = \vartheta_{x_{S_1}}(0) = \vartheta_{S_1} \cdot \sin \gamma; \vartheta_{y_{S_1}}(0) = \vartheta_{y_{S_1}}(0) = \vartheta_{S_1} \cdot \cos \gamma. \end{cases} \quad (19)$$

Аналогично и для траектории движения частицы от точки $S_2 (x_{S_2}, y_{S_2})$ до точки S_3 , находящейся в верхнем секторе (для случая рис. 3).

Для крупных частиц аэродинамическая сила пропорциональна квадрату относительной скорости воздуха и скорости крупной частицы (по закону Ньютона).

Поэтому для данных частиц

$$K = \frac{K_2}{m}, \quad (5)$$

для крупных частиц:

$$u_s = \sqrt{\frac{4 d_r \cdot \gamma^* \cdot g}{3 \cdot C_0 \cdot \rho}}. \quad (12)$$

Предположим, что столкновение частицы измельченного материала с внутренними стенками патрубка возврата происходит по законам упругого удара шарообразного тела, т.е. полагаем равенство углов и скоростей падения и отскока частицы:

$$\alpha' = \alpha'' \equiv \alpha; \quad (13)$$

$$\vartheta'_{S_1} = \vartheta''_{S_1} \equiv \vartheta_{S_1}, \quad (14)$$

где одним штрихом обозначены угол падения и скорость частицы перед столкновением в точке S_1 и двумя штрихами угол и скорость в момент отскока от этой точки.

Запишем очевидные соотношения углов для точки встречи S_1 с внутренней стенкой патрубка возврата в нижнем секторе (рис. 2):

$$\beta = \arctg \left(\frac{\vartheta_{x_{S_1}}}{\vartheta_{y_{S_1}}} \right); \quad (15)$$

$$\varphi = \arctg \frac{|y_{S_1}|}{x_{S_1}}; \quad (16)$$

$$\alpha = \beta - \varphi; \quad (17)$$

$$\gamma = \beta - 2\alpha = 2\varphi - \beta \quad (18)$$

и очевидные начальные условия траектории движения частицы от точки S_1 до точки S_2 :

Начальные условия для полета частицы на интервале $S_3 S_4$ несколько изменяются. Координаты точки S_3 для рассмотренного примера очевидны: $x(0) = x_{S_3} = 0,44749; y(0) = y_{S_3} = 0,042302$.

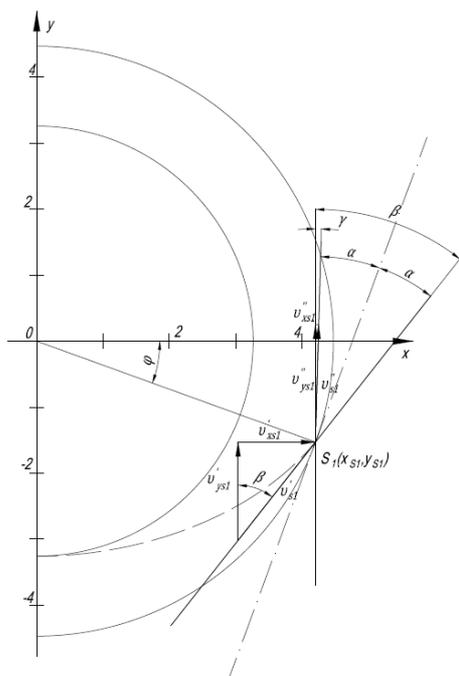


Рис. 2. Схема первого столкновения крупной частицы с наружной стенкой патрубка возврата в вертикальной плоскости

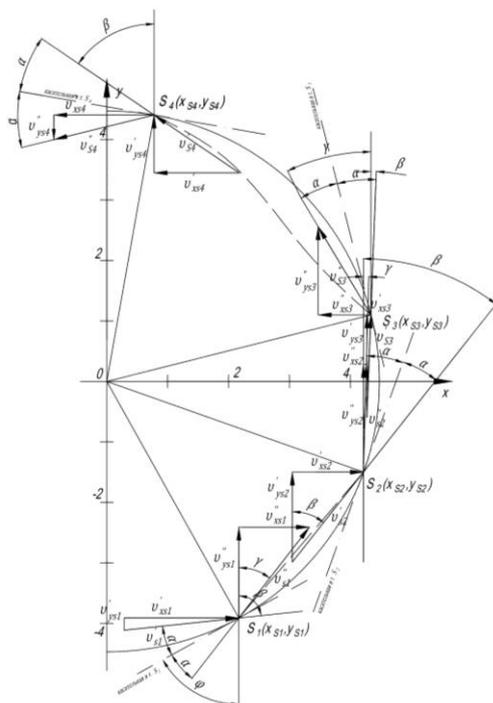


Рис. 3. Схема многократного столкновения крупной частицы с внутренними стенками патрубка возврата в вертикальной плоскости

Что касается соотношения углов и скоростей в точке S_3 (находящейся в верхнем секторе), то они изменяются:

$$\beta_{S_3} = \arctg \frac{v_{xS_3}}{v_{yS_3}} = \arctg \frac{1,7797}{12,566} = 0,14069; \quad (20)$$

$$\varphi_{S_3} = \arctg \frac{y_{S_3}}{x_{S_3}} = \arctg \frac{0,042302}{0,44749} = 0,094252, \quad (21)$$

при этом точка S_3 лежит практически на внутренней поверхности криволинейной стенки патрубка возврата крупных частиц ($d_e = 100$ мкм; $\rho_m = 2200$ кг/м³) радиусом

$$r = \sqrt{x_{S_3}^2 + y_{S_3}^2} = \sqrt{0,44749^2 + 0,042302^2} = 0,44949 \approx 0,45 \text{ м}. \quad (22)$$

Углы α_{S_3} и γ_{S_3} очевидно равны:

$$\alpha_{S_3} = \varphi_{S_3} + \beta_{S_3}; \quad (23)$$

$$\gamma_{S_3} = \alpha_{S_3} + \varphi_{S_3} = 2\varphi_{S_3} + \beta_{S_3} = 2 \cdot 0,094252 + 0,14069 = 0,32519, \quad (24)$$

т.е. соотношения (23) и (24) для углов существенно изменяются.

Для проекций скорости (при $\vartheta_{S_3} = 12,691$):

$$v''_{xS_3} = -\vartheta_{S_3} \cdot \sin \gamma_{S_3} = -12,691 \cdot \sin(0,32519) = -4,1027;$$

$$v''_{yS_3} = \vartheta_{S_3} \cdot \cos \gamma_{S_3} = 12,691 \cdot \cos(0,32519) = 12,0259.$$

Таким образом, можно сделать вывод, что количество столкновений крупных частиц увеличивается, достигая по всей высоте патрубка возврата 4-6 столкновений (рис. 3), а при вертикальном вылете с оси Ox (при $x = R_2$) число столкновений сокращается вдвое.

Как видно из рис. 3, максимальное удаление крупных частиц от внутренней полости внешней стенки патрубка возврата 9 между смежными столкновениями как правило уменьшается, траектории движения крупных частиц приближаются к внутренней полости внешней стенки патрубка возврата 9 за счёт центробежных сил, соответственно длина хорды дуг траекторий уменьшается. Зона наибольшего приближения траектории крупных частиц наблюдается в верхней части патрубка возврата 9, где и должен быть установлена регулируемая поворотная заслонка 8, разделяющая мелкие частицы от крупных, которые направляются для повторного измельчения в камеру помола дезинтегратора.

**Работа выполнена в рамках Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хинт И.А. Основы производства силикатных изделий. М.: Стройиздат, 1962. 636 с.

2. Логачев И.Н., Логачев К.И. Аэродинамические основы аспирации. СПб.: Химиздат, 2005. 658 с.

3. Логачев И.Н., Логачев К.И., Минко В.А. Обеспыливающая вентиляция. Белгород, БГТУ им. В.Г. Шухова, 2010. 564 с.

4. Ключков Н.В., Блиничев В.Н., Бобков С.П., Пискунов А.В. Методика расчета воздуха в центробежно-ударной мельнице // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. 1982. №2. С. 230–232.

Информация об авторах

Логачев Иван Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Семикопенко Игорь Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры механического оборудования.

E-mail: semickopencko.i@yandex.ru

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

Смирнов Дмитрий Владимирович, аспирант, кафедры механического оборудования.

E-mail: DmSm1989@yandex.ru

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

Поступила в сентябре 2017 г.

© Логачев И.Н., Семикопенко И.А., Смирнов Д.В., 2017

Logachev I. N., Semikopenko I.A., Smirnov D.V.

**REGULARITIES OF MOVEMENT OF LARGE PARTICLES OF MILLED MATERIAL
IN THE CURVILINEUM RETURN PIPES IN THE DISINTEGRATOR**

In this paper, we analyze the results of a numerical research of the differential equations of the dynamics of motion of large particles in vertical toroidal channels of the return pipes for a one-dimensional flow of air. The scheme of the trajectory of motion of large particles of crushed material in a curved return branch with a vertical reverse by their air flow is presented. Established that large particles with an ascending motion have a noticeable radial displacement to the outer wall of the channel

Keywords: *disintegrator, flow, wall, particle.*

Information about the authors

Logachev Ivan Nikolaevich, PhD, Professor.

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

Semikopenko Igor Aleksandrovich, PhD, Assistant professor.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46. E-mail: semickopencko.i@yandex.ru

Smirnov Dmitry Vladimirovich, Research assistant.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46. E-mail: DmSm1989@yandex.ru

Received in September 2017

© Logachev I.N., Semikopenko I.A., Smirnov D.V., 2017

¹Чепуров М.С., д-р техн. наук, проф.,
¹Дудукало Д.В., аспирант,
²Горбачёв И.А., соискатель

¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

²Дятьковский филиал государственного автономного профессионального образовательного учреждения «Брянский техникум энергомашиностроения и радиоэлектроники»

ДИНАМИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА МЕХАТРОННОГО ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МОДУЛЯ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ*

denis.dudukalo@yandex.ru

В статье рассмотрен вопрос выявления зависимостей, влияющих на точность позиционирования режущей кромки инструмента мехатронного модуля с механизмом перемещения рабочего органа при обработке заготовок типа тел вращения. В ходе проведения исследований авторами была получена математическая модель в виде системы уравнений, описывающая динамические характеристики подвижной инструментальной части мехатронного модуля, являющейся рабочим органом.

Ключевые слова: токарная обработка, резец, мехатронный модуль, функциональная зависимость, траектория инструмента, перемещение инструмента.

Введение. Основными задачами при механической обработке являются, сокращение времени получения, детали достигая наибольшего качества при наименьших затратах [1]. Для сокращения времени получения деталей применяются дополнительная оснастка и инструментальные модули. Поведение данных систем недостаточно изучены, чтобы ответить на вопрос о целесообразности применения данного оборудования на конкретной операции или переходе. Одним из факторов влияющим на качество получаемых деталей является позиционирование исполнительного органа относительно поверхности обработки [2, 3].

Повысить точность позиционирования инструмента можно путем предварительного анализа входных параметров, которые влияют на по-

зиционирование, а также определения кинематической погрешности ходового винта, зазоров и упругих деформаций механической системы. Для определения кинематической погрешности ШВП можно использовать математическое моделирование, установив функциональную связь между подводимым к винту крутящим моментом и линейным перемещением гайки [4, 5].

Схема обработки представлена на рис. 1. Адаптивный инструментальный модуль [6], состоит из корпуса 1, в котором установлен электродвигатель 2, соединенный через шариковинтовую передачу сподвижным стаканом 3 имеющий возможность перемещения вдоль оси модуля, в подвижном стакане в инструментальном блоке 4 закреплен режущий инструмент резец 5, который обрабатывает заготовку 6 [7, 8].

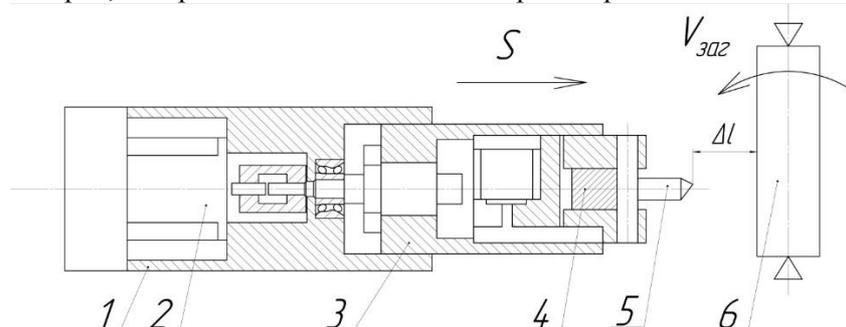


Рис. 1. Схема обработки

Методика. Условия работы модуля требуют от электродвигателя обеспечения соответствующего формирования переходных режимов, направленного на достижение либо максимального быстродействия, либо минимальных потерь,

либо ограничения динамических нагрузок возникающих в кинематической цепи [9, 10]. Управление переходными процессами может создать максимальное быстродействие при соответствующих ограничениях. Состояние двигателя и всей системы электропривода в целом определяют три

переменные: рис. 2 (а) скорость двигателя $\Omega(t)$: разгон, установившееся движение, торможение,

рис. 2 (б) ток $I(t)$: пусковой ток и максимальный ток, рис. 2 (в) положение вала $\varphi(t)$.

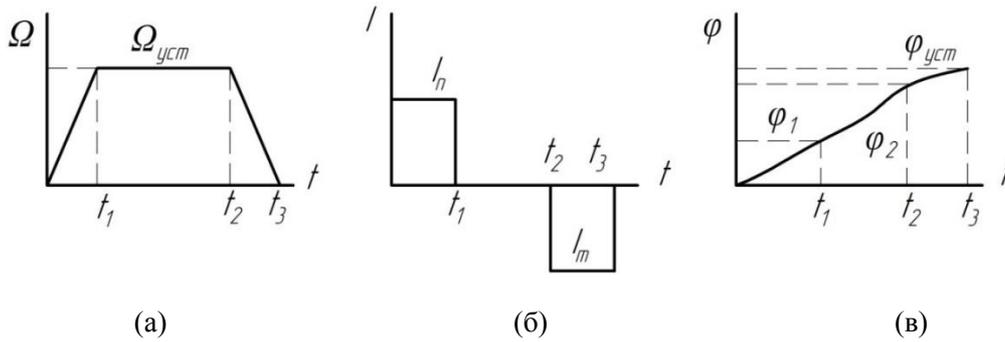


Рис. 2. Графики состояния двигателя привода модуля

Двухмассовая упругая система [11, 12] представляет собой механическую систему, состоящую из двух масс с моментами инерции J_1 и J_2 . К каждой массе прикладывается извне момент M_1 и M_2 , массы соединены валом, обладающим

упругими свойствами c , массы вращаются со скоростями ω_1 и ω_2 .

Запишем уравнения состояния двухмассовой упругой механической системы, рис. 3

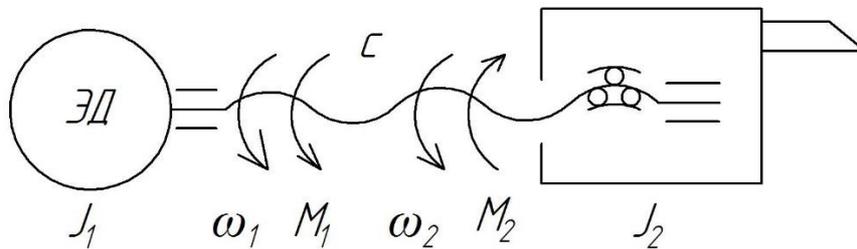


Рис. 3. Структурная схема адаптивного инструментального модуля

Система дифференциальных уравнений, описывающих систему, имеет вид:

$$\begin{cases} M_y = c\Delta\varphi = c(\varphi_1 - \varphi_2) = c \int_0^t (\omega_1 - \omega_2) dt \\ M_1 - M_y = J_1 \frac{d\omega_1}{dt} \\ M_y - M_2 = J_2 \frac{d\omega_2}{dt} \end{cases} \quad (1)$$

где $\Delta\varphi$ – разность углов положения первой φ_1 и второй φ_2 масс.

Полученные уравнения движения позволяют проанализировать динамические особенности механической части электропривода как объекта управления, пользуясь методами теории ав-

томатического управления [13]. Основой для анализа являются структурные схемы, вид которых определяется принятой расчётной схемой механической части [14].

Определим нагрузки M_{c1} и M_{c2} . Момент M_{c1} представляет собой момент потерь на валу двигателя, он составляет 5 % от номинального момента. Рассчитаем номинальный момент [15].

$$M_{в.ном} = \frac{P}{\omega_{ном}} = \frac{15 \cdot 10^3}{314} = 47,7 \text{ Н} \cdot \text{м}, \text{ где} \quad (2)$$

$$\omega_{ном} = \frac{\pi \cdot n_{ном}}{30} = \frac{3,14 \cdot 3000}{30} = 314, \text{ рад/с} \quad (3)$$

Момент механических потерь двигателя:

$$M_{c1} = \Delta M = 0,05 \cdot M_{в.ном} = 0,05 \cdot 47,7 = 2,4 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4)$$

Основную долю M_{c2} составляет нагрузка пропорциональная квадрату скорости $n=2$. Характеристика M_{c2} с учетом потерь ΔM имеет вид:

$$\begin{aligned} M_{c2} &= \Delta M_{в} + (M_{в.ном} - \Delta M_{в}) \cdot \left(\frac{\omega_2}{\omega_{ном}}\right)^2 = 2,4 + (47,7 - 2,4) \cdot \left(\frac{\omega_2}{314}\right)^2 = 7,5 + (47,7 - 7,5) \cdot \left(\frac{\omega_2}{314}\right)^2 = \\ &= 7,5 + 0,0004 \cdot \omega_2^2, \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned} \quad (5)$$

Подставив полученные значения в систему (1), получим уравнения движения рассматриваемого электропривода.

$$M - 3210(\varphi_1 - \varphi_2) - 7,5 = 0,41p\omega_1, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (6)$$

$$3210(\varphi_1 - \varphi_2) - 7,5 - 0,0004 \cdot \omega_2^2 = 0,32p\omega_2, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (7)$$

Основная часть. Уравнения движения электропривода в данном случае нелинейны в связи с

нелинейной зависимостью момента M_{c2} от скорости ω_2 . Структурная схема, соответствующая этим уравнениям, представлена на рис. 4

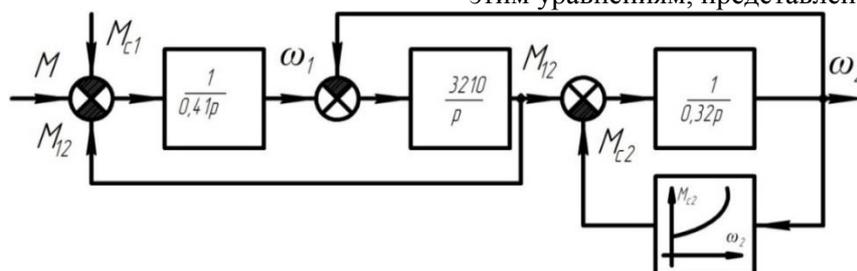


Рис. 4. Структурная схема управления модулем

Положив связь между массами абсолютно жесткой, определим момент инерции привода:

$$J_{\Sigma} = J_1 + J_2 = 0,41 + 0,32 = 0,73 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (8)$$

Статический момент нагрузки:

$$M_c = M_{c1} + M_{c2} = 2,4 + 7,5 + 0,0004 \cdot \omega_2^2, \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (9)$$

где

$$\omega = \omega_1 = \omega_2$$

Определим обобщенные параметры:

$$\gamma = \frac{(J_1 + J_2)}{J_1} = \frac{(0,41 + 0,32)}{0,41} = 1,78 \quad (10)$$

$$\Omega_{12} = \sqrt{\frac{c_{12}(J_1 + J_2)}{J_1 J_2}} = \sqrt{\frac{3210(0,41 + 0,32)}{0,41 \cdot 0,32}} = 133,6 \text{ рад/с} \quad (11)$$

$$\Omega_{02} = \frac{\Omega_{12}}{\sqrt{\gamma}} = \frac{133,6}{\sqrt{1,78}} = 99 \text{ рад/с} \quad (12)$$

Если нет условий для механического резонанса, т.е. отсутствуют возмущения, изменяющиеся с частотой близкой к $\Omega_{12} = 133,6 \text{ рад/с}$, то учитывать упругости не следует [7, 1]. Механическая характеристика построена в программе scilab 5.5.2 и представлена на рис. 5.

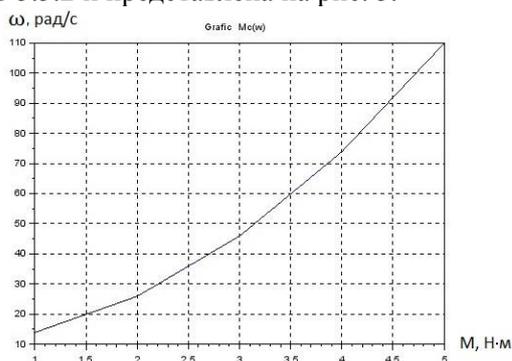


Рис. 5. Механическая характеристика привода адаптивного инструментального модуля $M_c(\omega)$

Для определения положения резца составим уравнения движения и проверим систему на граничные условия по переменным (например, ско-

рость двигателя не должна быть больше максимально возможной скорости двигателя), а также адекватность торможения при текущей скорости.

$$\begin{cases} l_x = \frac{ax^2}{2} + V_0x, \text{ при } x = \frac{V_{max} - V_0}{a} \\ l_y = \frac{-ay^2}{2} + (V_0 + ax), \text{ при } y = \frac{V_{max}}{a} \\ \Delta l = l_x + l_y \end{cases} \quad (13)$$

где a – ускорение; x – время набора скорости; y – время торможения с данной скорости; V_0 – начальное условие скорости; V_{max} – начальное условие скорости, максимальная скорость.

Решаем систему и строим график зависимости в программе scilab 5.5.2. Линейная скорость перемещения имеет зависимость от скорости двигателя.

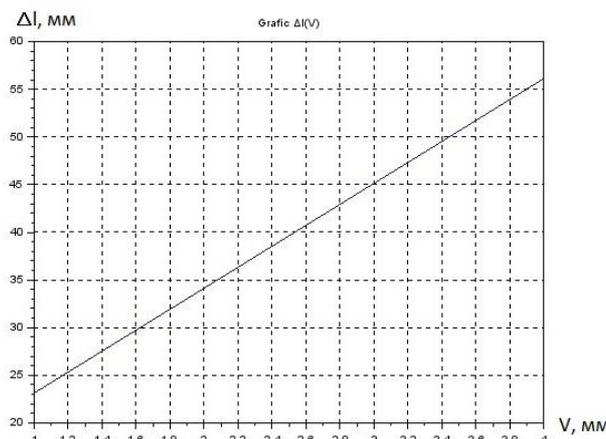


Рис. 6. График зависимости перемещения резца Δl от скорости V

Выводы. Таким образом, построена модель в виде системы уравнений описывающая динамические характеристики подвижной инструментальной части мехатронного модуля позволяющая позиционировать положение режущей

кромки инструмента, а, следовательно, и профиль получаемой поверхности, в зависимости от скорости перемещения, что позволяет прогнозировать положение режущей кромки инструмента, при получении сложной поверхности изделия. Полученная модель является основой построения схемы управления перемещением рабочего органа мехатронного инструментального модуля.

**Работа выполнена в рамках Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чепчуров М.С., Табекина Н.А. Снижение временных затрат при получении изделий на прутковых автоматах с устройством сортировки // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. № 6 (113). С. 64–72.
2. Макаров И.М., Лохин В.М. Интеллектуальные робототехнические системы: тенденции развития и проблемы разработки // Мехатроника, автоматизация и управление. 2004. №10. С. 7–18
3. Малкин И.Г. Теория устойчивости движения. М.: Наука, 1966. 564 с.
4. Jacobsen B. Choosing between acme screws and ball screws // Design News. 1995. Т. 50. № 1. С. 88.
5. Толков А.В., Шинаков И.В., Жданов А.В. Сравнение технических характеристик силовых винтовых механизмов // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 2. С. 196–199.
6. Cherpchurov M.S., Tabekina N.A., Tyurin A.V. Application of mechatronic modules for process equipment updating // International Journal of Pharmacy and Technology. 2016. Т. 8. № 4. С. 22619–22631.
7. Дуров Д.С. Вероятностная модель системы динамического мониторинга механической обработки детали // Фундаментальные и прикладные проблемы современной техники. Ростов – на – Дону, 2000. Вып. 4. С. 66–75.
8. Лодочников Э.А., Юферов Ф.М. Микроэлектродвигатели для систем автоматики. Технический справочник М.: Энергия, 1969. 272 с.
9. Егоров О.Д., Подураев Ю.В. Конструирование мехатронных модулей. М.: Издательство «СТАНКИН», 2004. 360 с
10. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение. М.: Машиностроение, 2006. 256 с.
11. Ивоботенко Б.А., Рубцов В.П., Садовский Л.А., Цаценкин В.К., Чиликин М.Г. Дискретный электропривод с шаговыми двигателями. М.: Энергия, 1971. 624 с.
12. Максаров В.В., Ольт Ю. Теория и практика моделирования и управления в области прогнозирования динамических свойств технологических систем // Металлообработка. 2012. № 2. С. 7–13.
13. Чепчуров М.С., Тюрин А.В. Управление технологической системой на базе токарного автомата, содержащей адаптивный инструментальный модуль // Информационные системы и технологии 2014. №5. С. 81–87.
14. Лебедев В.Б. Структурный анализ систем управления: учебное пособие для вузов. Пенза: Издательство ПензГУ, 2000. 100 с.
15. Егоров О.Д. Интегрированные мехатронные модули. М.: Издательство «СТАНКИН», 2011. 172 с.

Информация об авторах

Чепчуров Михаил Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры технология машиностроения.

E-mail: avtpost@mail.ru.

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

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

Дудукало Денис Васильевич, аспирант кафедры технология машиностроения.

E-mail: denis.dudukalo@yandex.ru.

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

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

Горбачёв Игорь Александрович, соискатель, преподаватель спецдисциплин.

E-mail: giasom@mail.ru

Брянский техникум энергомашиностроения и радиоэлектроники.

Россия, 241022, Брянск, ул. Академика Королева, д.7.

Поступила в сентябре 2017 г.

© Чепчуров М.С., Дудукало Д.В., Горбачев И.А., 2017

Chepchurov M.S., Dudukalo D.V., Gorbachev I.A.

DYNAMIC CALCULATIONS AT THE DETERMINATION OF THE MOVING OF THE CUTTING TOOL OF THE MECHATRON TOOLS TOUCH TREATMENT MODULE

In the article the question of revealing the dependences of the mechatronic module affecting the accuracy of positioning of the cutting edge of the tool with the mechanism of moving the working element in processing blanks such as bodies of rotation. During the research, the authors obtained a mathematical model in the form of a system of equations describing the dynamic characteristics of the mobile instrumental part of the mechatronic module, which is the working body.

Keywords: turning, cutter, mechatronic module, functional dependence, tool path, tool movement.

Information about the authors

Chepchurov Mikhail Sergeevich, PhD, Professor.

E-mail: avtpost@mail.ru.

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

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

Dudukalo Denis Vasilevich, Postgraduate student.

E-mail: denis.dudukalo@yandex.ru.

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

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

Gorbachev Igor Aleksandrovich, Applicant.

E-mail: giacom@mail.ru

Bryansk Technical College of Power Engineering and Radioelectronics.

Russia, 241022, Bryansk, st. Akademika Koroleva, 7.

Received in September 2017

© Chepchurov M.S., Dudukalo D.V., Gorbachev I.A., 2017

Уральский В.И., канд. техн. наук, доц.,
Синица Е.В., канд. техн. наук, доц.,
Уральский А.В., канд. техн. наук, доц.,
Сажнева Е.А., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ*

Alexx_1984.10@mail.ru

Одним из способов обеспечения высокого качества тонкодисперсного порошка является организация замкнутого цикла измельчения. В то же время возникает необходимость повышения эффективности помольного оборудования, в том числе за счет совершенствования конструкции рабочих органов агрегатов.

В статье представлены научно-технические разработки по совершенствованию конструкции помольных камер центробежного измельчителя.

Ключевые слова: технологический модуль, измельчение, замкнутый цикл, диффузор, конфузор.

Одним из способов повышения эффективности помольных агрегатов вибрационно-центробежного типа является организация процесса измельчения по замкнутому циклу [1].

Разработанная схема замкнутого цикла измельчения с применением центробежного помольного агрегата (рис.1) позволяет обеспечить требуемое качество готового продукта исключить недостатки, присущие многокамерным мельницам замкнутого цикла измельчения [2–4].

Технологический модуль замкнутого цикла измельчения содержит центробежный помольный агрегат с тремя камерами помола и центробежный воздушно-проходной сепаратор с двумя зонами разделения.

Особенность представленной конструкции технологического модуля заключается в том, что материал проходит три стадии помола с различными режимами работы в одной мельнице с тремя камерами помола. При этом после каждой камеры помола проходит классификация в центробежном воздушно-проходном сепараторе. Это дает большую гарантию одинаковой дисперсности материала, что достигается за счет обеспечения непрерывного вывода готового продукта на различных стадиях процесса и возврата недоизмельченного материала на дальнейшее измельчение до состояния готового продукта.

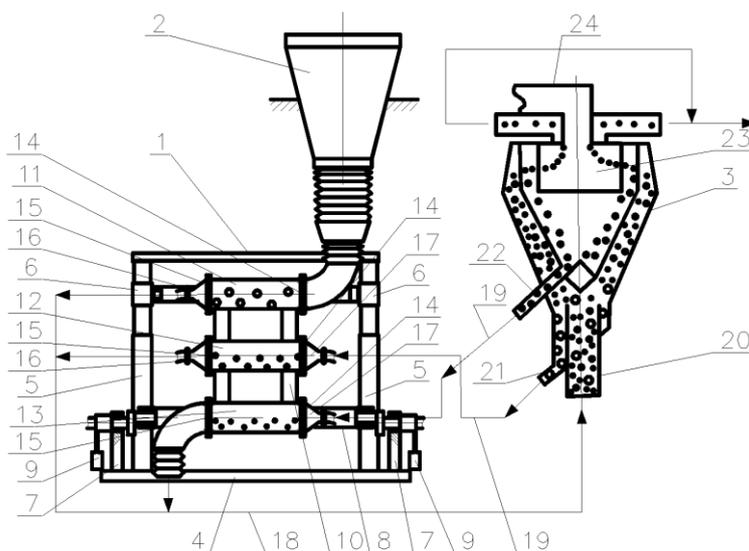


Рис. 1. Технологический модуль замкнутого цикла измельчения с центробежным помольным агрегатом:
1 – центробежный помольный агрегат; 2 – бункер; 3 – центробежный воздушно-проходной сепаратор;
4 – станина; 5 – вертикальная стойка; 6 – ползун; 7 – опора вала; 8 – эксцентриковый вал; 9 – противовес;
10 – рама; 11, 12, 13 – помольные камеры; 14 – ограничительная решетка; 15 – классификационная решетка;
16 – конфузор; 17 – диффузор; 18, 19 – газоходы; 20 – загрузочный патрубок; 21, 22 – разгрузочные патрубки;
23 – радиальные лопасти; 24 – выходной патрубок

Разработанный технологический модуль, конструкция которого позволяет выводить из всех рабочих камер агрегата частицы материала с характеристиками, соответствующими готовому продукту, предотвращает его переизмельчение, а, следовательно, обеспечивает требуемое качество готового продукта и снижение энергозатрат на измельчение, тем самым повышает эффективность помола.

Кроме этого, для уменьшения энергозатрат, связанных с обеспечением движения газоматериального потока в помольных камерах агрегата, необходимо установить рациональные конструктивные параметры входных и выходных патрубков помольных камер, позволяющие уменьшить сопротивление движению потока и, в то же время, создающие завихрения в камерах, необходимые для перемешивания материала.

Конструктивно входные патрубки камер выполнены в виде расширяющихся усеченных конусов – диффузоров, выходные патрубки – в виде сужающихся усеченных конусов – конфузоров [5]. Применяя диффузоры и конфузоры с различными параметрами можно изменять скорость газоматериального потока, тем самым изменяя эффективность помола.

Для исследования влияния конструктивных параметров патрубков использовался программный продукт SolidWorks в модуле FlowSimulation, который позволяет сделать расчет потоков газа(воздуха) в камерах помола. Для расчета была выбрана модель камеры помола в реальных размерах (рис. 2), содержащая цилиндрический корпус 1, ограничительные решетки 2, патрубки входа 3 и выхода 4 газоматериального потока. Для расчетов применялись патрубки входа 3 и выхода 4 соответственно с диффузорами и конфузорами конусностью $\alpha=20^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ и 90° .

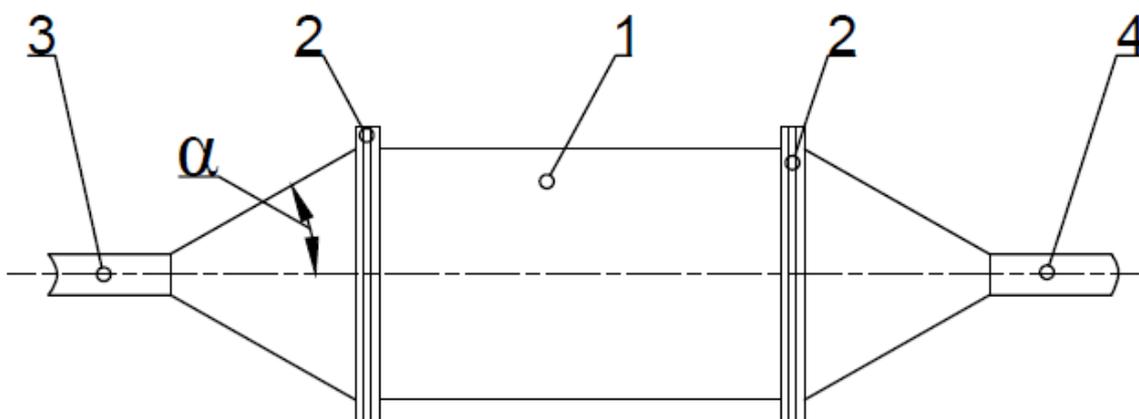


Рис. 2. Схема камеры помола

Результатами расчётов являются изменение скорости потоков воздуха на входе и выходе камеры помола, представленные в таблице и на графиках (рис. 3). Для моделирования более реальной картины движения потока были добавлены мелющие тела в хаотическом порядке, как при помоле в верхней камере центробежного помольного агрегата.

Таблица 1

Потери скоростей % при различных параметрах патрубков

Диффузор, °	Конфузор, °			
	20	30	45	90
20	7	14	13	49
30	5	12	14	60
45	9	15	18	31
90	22	25	31	60

Программный продукт SolidWorksFlowSimulation позволяет теоретически ознакомиться с процессами, происходящими в камере помола в статическом состоянии, при продувании ее потоком воздуха. Кроме этого, возможно определение изменения скоростей по всей длине камеры, а также минимальных потерь скоростей и установление рациональных значений углов диффузора и конфузора.

В результате проведенных расчетов определена минимальная потеря скоростей в камерах при значениях углов в диффузоре и конфузоре $\alpha = 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ и 90° .

Потеря скорости обуславливается множественными завихрениями при прохождении диффузора и сопротивлением при прохождении конфузора. На рис. 4,5,6,7 можно визуальнo сравнить результаты, полученные в SolidWorksFlowSimulation.

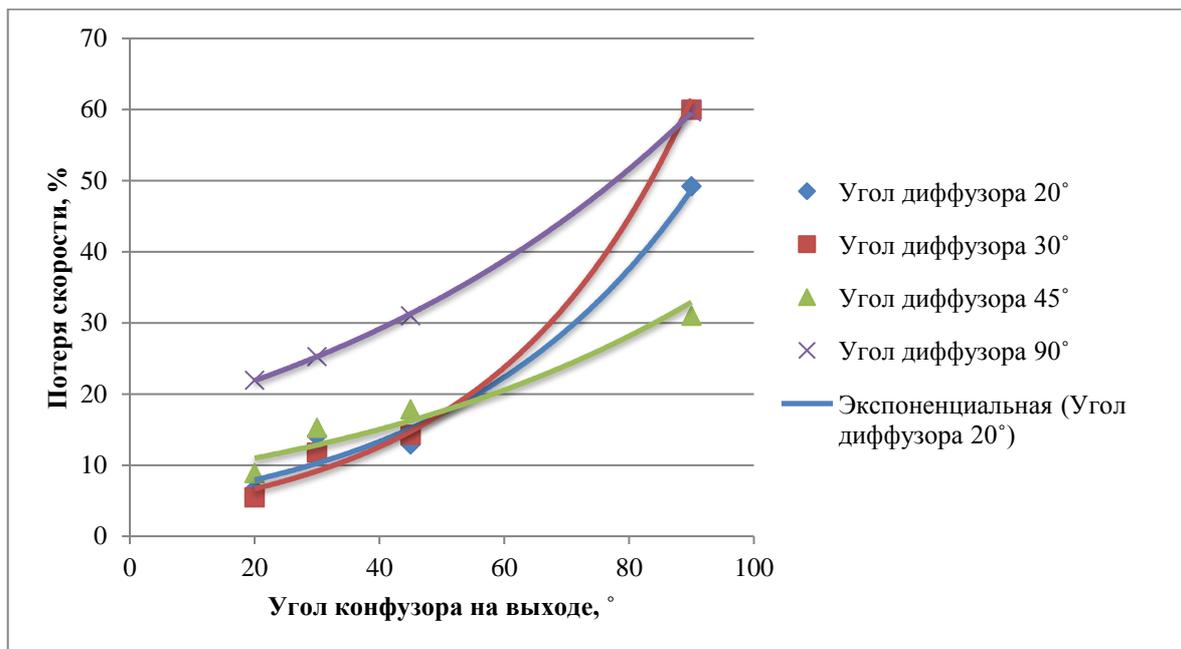


Рис. 3. Экспоненциальная зависимость потерь скоростей в зависимости от величин углов диффузора и конфузора

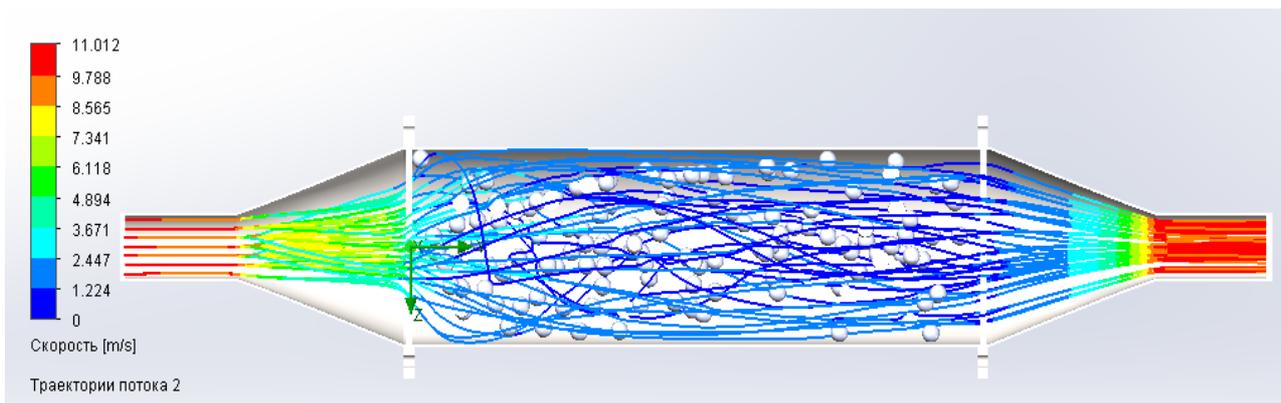


Рис. 4. Визуальное представление траекторий потока при диффузоре и конфузоре с углами 20° (цветовая гамма- изменение скорости)

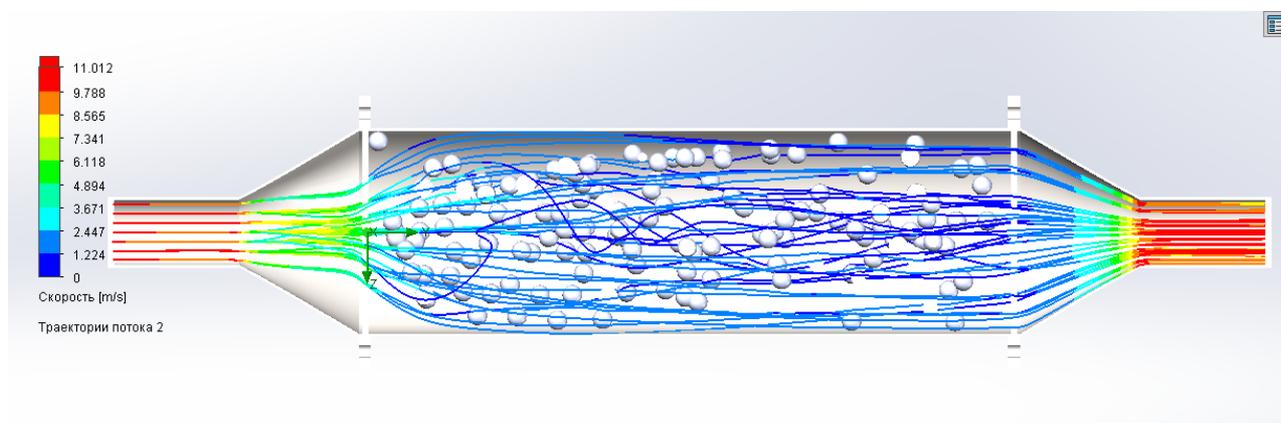


Рис. 5. Визуальное представление траекторий потока при диффузоре и конфузоре с углами 30° (цветовая гамма- изменение скорости)

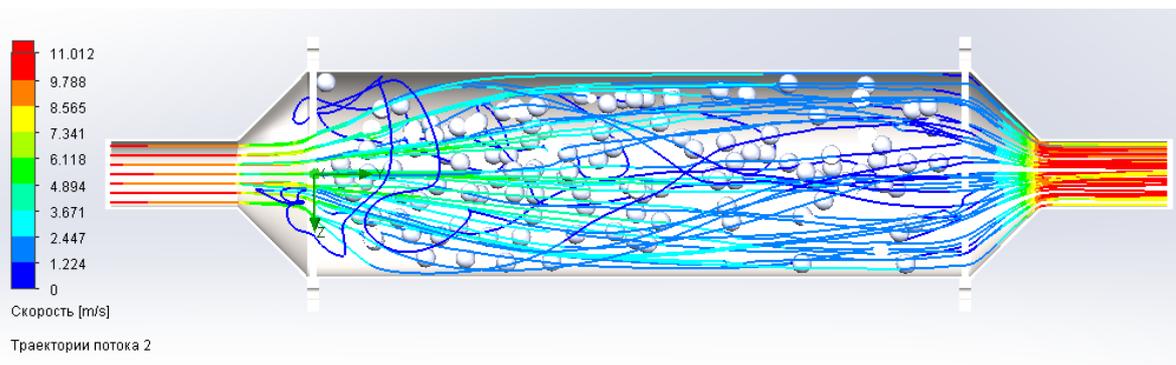


Рис. 6. Визуальное представление траекторий потока при диффузоре и конфузоре с углами 45° (цветовая гамма- изменение скорости)

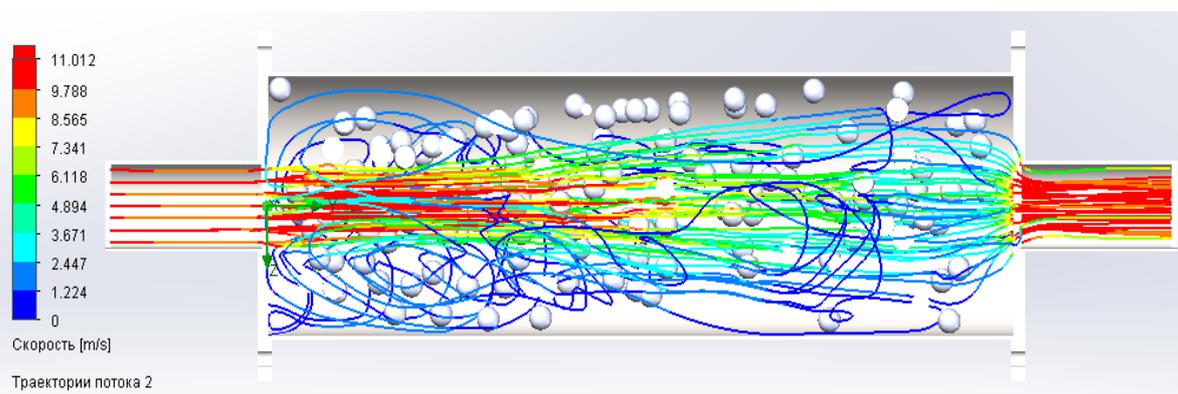


Рис. 7. Визуальное представление расчета траекторий потока при диффузоре и конфузоре с углами 90° (цветовая гамма- изменение скорости)

Из рис. 4 видно, как газ (воздух) входит в камеру помола через диффузор конусностью 20° , проходит сквозь ограничительную решетку, после которой начинаются незначительные завихрения. Так же проходит через мелющие тела, сквозь ограничительную решетку и плавно проходит через конфузор на выход.

На рис. 7 видно, что после прохождения воздуха через диффузор конусностью 90° наблюдается потеря скорости и обратное течение, появляется множество завихрений.

В данном случае завихрения играют значительную роль при классификации материала. При уменьшении скорости поток захватывает самые мелкие частицы. А при закручивании потока крупные частицы откидываются к стенке с помощью центробежных сил и домалываются дальше. Это дополнительная нагрузка на измельчаемый материал позволяет повысить эффективность измельчения.

Проведенные расчеты и позволяют существенно упростить определение конструктивных параметров помольных камер, обеспечивающих необходимый режим измельчения материала в центробежном агрегате по замкнутому циклу измельчения.

**Работа выполнена в рамках Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дешко Ю.И., Креймер М.Б., Крытхин Г.С. Измельчение материалов в цементной промышленности. М.: Стройиздат, 1966. 275с.
2. Заявка 2017118016 Российская Федерация, Технологический модуль и способ замкнутого цикла измельчения / Уральский В.И., Севостьянов В.С., Сеница Е.В., Уральский А.В., Сажнева Е.А., Фарафонов А.А., заявитель ФГБОУ БГТУ им. В.Г. Шухова; приоритет 23.05.2017.
3. Пат. 2277973 Российская Федерация, В 02С 17/08. Помольно-смесительный агрегат / Гридчин А.М., Севостьянов В.С., Лесовик В.С., Уральский В.И., Сеница Е.В.; заявитель и патентообладатель ООО «ТК РЕЦИКЛ»; опубл. 20.06.06, Бюл. №17.
4. Уральский В.И., Сеница Е.В., Уральский А.В., Сажнева Е.А. Технологический модуль замкнутого цикла измельчения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №10. С. 144–148.
5. Идельчик И.Е., Штейнберга М.О. Справочник по гидравлическим сопротивлениям // Машиностроение. 1992. №3. 672 с.

Информация об авторах

Уральский Владимир Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологических комплексов, машин и механизмов.

E-mail: wiural@mail.ru.

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

Синица Елена Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологических комплексов, машин и механизмов.

E-mail: evsinica@mail.ru.

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

Уральский Алексей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологических комплексов, машин и механизмов.

E-mail: Alexx_1984.10@mail.ru.

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

Сажнева Екатерина Александровна, аспирант кафедры технологических комплексов, машин и механизмов.

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

Поступила в сентябре 2017 г.

© Уральский В.И., Синица Е.В., Уральский А.В., Сажнева Е.А., 2017

Uralskiy V.I., Sinitza E.V., Uralskiy A.V., Sazhneva E.A.

IMPROVEMENT OF EFFICIENCY OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR A CLOSED CIRCULATION CYCLE

One way to ensure the high quality of fine powder is to organize a closed grinding cycle. At the same time, there is a need to increase the efficiency of grinding equipment, including by improving the design of the working parts of the units.

The article presents scientific and technical developments on the improvement of the design of grinding chambers of a centrifugal shredder.

Keywords: *technological module, grinding, closed cycle, diffuser, confuser.*

Information about the authors

Uralskiy Vladimir Ivanovich, PhD., Assistant professor.

E-mail: wiural@mail.ru.

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

Sinitza Elena Vladimirovna, PhD., Assistant professor.

E-mail: evsinica@mail.ru.

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

Uralskiy Alexey Vladimirovich, PhD., Assistant professor.

E-mail: Alexx_1984.10@mail.ru.

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

Sazhneva Ekaterina Aleksandrovna, Postgraduate student.

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

Received in September 2017

© Uralskiy V.I., Sinitza E.V., Uralskiy A.V., Sazhneva E.A., 2017

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

DOI: 10.12737/article_5a27cb8d226d85.82154993

Ломакин В.В., канд. техн. наук, доц.,
Асадуллаев Р.Г., канд. техн. наук,
Зайцева Т.В., канд. техн. наук, доц.,
Путивцева Н.П., канд. техн. наук,
Белоконь Ю.Ю., аспирант

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

ФОРМАЛЬНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ЯЗЫКА УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ*

lomakin@bsu.edu.ru

Авторами предложены новые инструментальные средства решения задачи построения формального описания специализированного языка управления данными и его реализации с применением макропроцессора. В работе на основе выявленных требований к реализуемому макропроцессору предложена структура универсального транслятора, ориентированного на обработку данных и знаний при решении широкого круга управленческих задач поддержки принятия решений. Рассмотрены возможности описания свойств языков программирования с помощью основных классов контекстно-свободных и контекстно-зависимых грамматик с учетом их характеристик, достоинств и недостатков. Проведенный анализ современных средств формального описания языков позволил синтезировать структуру описания специализированного инструментального языка, при этом контекстно-зависимые и неформально описываемые свойства языка предложено реализовать алгоритмически. Представлена структура формально-алгоритмического представления инструментального языка. Рассмотрены два практически значимых случая процесса разбора входной цепочки символов и генерирования текста на базовом языке.

Ключевые слова: специализированные языки управления данными, формальное описание языков, формальные грамматики, сеть конечных автоматов.

Введение. Под управлением данными в настоящее время понимают широкий круг процессов, связанных с их созданием, модификацией и удалением, а также организацией хранения и поиска информации на всех этапах жизненного цикла информационных систем [1, 2]. Для реализации унифицированных процедур управления данными при решении широкого круга задач используются различные программно-лингвистические средства [3–5]. При этом важное значение имеет обеспечение возможности описания семантики решаемых задач обработки данных в терминах, существенных для рассматриваемой предметной области, с помощью специализированных языков управления данными. В этом случае необходимо решить вопросы построения формальных средств, которые, с одной стороны, достаточно компактно опишут процедуры определения самого специализированного языка управления данными, а с другой – позволят описать процесс перехода от описания задач на языке, приближенном к естественному, к представлению процедур управления данными на тра-

диционно используемых языках, для которых существуют надежные трансляторы. Примером такого языка может служить язык запросов *SQL*, применяемый, в том числе, в качестве встраиваемых конструкций в программах на языках высокого уровня, например, *PASCAL*, *C* и пр. [6, 7]. Все это приводит к необходимости получения структуры, состава и алгоритма описания специализированного языка управления данными совместно с процедурой получением транслятора с данного языка.

Основная часть. Для решения задачи построения формального описания специализированного языка (СЯ) необходимо выбрать подход, который обеспечивал бы совместное описание СЯ и процесса его перевода в базовый язык, в качестве которого выбирается наиболее подходящий с точки зрения специфики решаемых задач и надежности транслятора язык. Этим требованиям в полной мере удовлетворяет известный и достаточно давно применяемый подход, основанный на использовании макропроцессора, а также инструментальных языков, реализованных с его помощью (*DLIMP*) [8].

Данный подход позволяет разработать универсальный транслятор-обработчик знаний, не зависящий как от языка на входе, так и от базового языка. На рис. 1 представлена упрощенная структура универсального транслятора, отличительной особенностью которого является универсальность и ориентация на обработку данных и знаний для решения широкого круга управленческих задач поддержки принятия решений на различных уровнях управления предприятием. Генератор кода описывает правила развертывания конструкций исходного языка в конструкции на базовом. В файлах описания предметной области содержится информация, которая относительно часто меняется, и изменение которой осуществляется без вмешательства в текст транслятора или библиотеки, например, к такой информации можно отнести параметры рассматриваемого процесса или характеристики оборудования. Таблицы могут содержать информацию о

лексемах и их описании, а также диапазонах значений переменных, такого рода информацию желательно изменять вне текста транслятора.

Определим требования к макропроцессору, вытекающие из специфики задач, связанных с обработкой данных на разных уровнях управления:

- независимость от входного и базового языков;
- доступность осуществления модификации выполняемых функций в зависимости от макробιβотеки;
- облегчение проектирования за счет рационального построения структуры системы макропроцессор-макробιβотека (СММ);
- мобильность, связанная с возможностью работы СММ в разных операционных средах;
- возможность повышения эффективности работы СММ на этапе эксплуатации;
- встраиваемость в другие программные продукты.

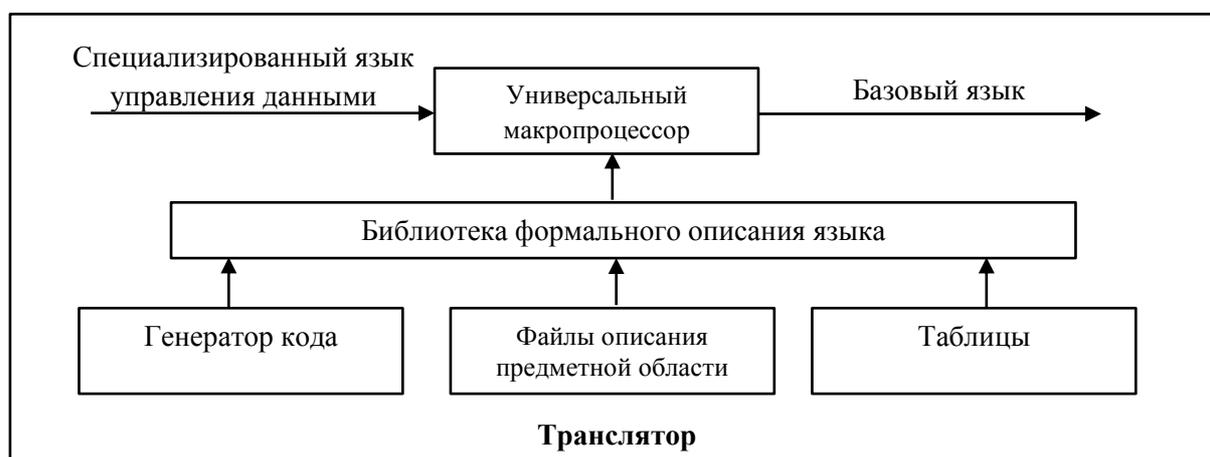


Рис. 1. Упрощенная структура универсального транслятора

В целом, возможность гибкой настройки и ориентированность на интеллектуальную поддержку принятия решений позволяют описывать на основе представленной методики информационные свойства и алгоритмы обработки объектов. Это обеспечивается универсальным характером предлагаемых программно-лингвистических средств, как инструмента реализации управления данными.

Построим формализованное представление объектов предметной области с точки зрения решаемых нами задач управления данными. С целью организации унифицированных процедур хранения и обработки данных рассмотрим методы формализации символьной информации, которая поступает на вход любой информационно-управляющей системы и затем интерпретируется ею как данные или знания [9, 10]. В зависимости от уровня управления используется многообразие современных инструментальных сред,

характеризующихся направленностью на решение задач определенных предметных областей. Использование подобных средств позволяет провести формализацию решаемой задачи в терминах данной предметной области, а также получить рациональное решение поставленной задачи.

При использовании инструментальных языков возникает вопрос о разработке транслятора выбранного языка. В процессе построения транслятора возникают ситуации, когда необходима модификация инструментального языка и соответствующая адаптация библиотеки его описания. Практика показывает, что программные средства, разработанные для решения определенного круга задач, не всегда позволяют достаточно полно охватить конкретную предметную область. Трансляторы, построенные без возможности модификации структуры входного и базового языков и представляющие собой жесткую

структуру, не способны удовлетворять современным требованиям практического использования, так постоянно возникает необходимость модификации и доработки.

Для написания транслятора с языка необходимы специальные знания. Учитывая, что программисты, работающие с программным обеспечением, предназначенным для реализации задач управления и обработки данных, такими знаниями не обладают, появляется необходимость в разработке универсальных средств реализации специализированных языков управления для различных уровней иерархии управления данными. К разрабатываемой среде предъявляют высокий уровень требований, что, в свою очередь, приводит к необходимости использовать формальные методы анализа способов описания различных классов языков.

Синтаксис языков описывают с помощью формальных грамматик, которые фактически представляют собой математическую модель грамматики, описанную в рамках какой-то синтаксической теории. Для описания специализированных языков в основном применяются контекстно-свободные (КС) грамматики с некоторыми расширениями [11].

Целью разработки формальных грамматик является использование полученного языка для описания структуры и определения основных функций системы автоматизированного проектирования трансляторов. В рамках достижения этой цели рассмотрим возможности описания свойств языков программирования с помощью основных классов КС-грамматик.

Локальные и простые свойства языков описываются с использованием регулярных грамматик. Такие грамматики предполагают определение регулярных выражений и эквивалентны конечным автоматам. Главное достоинство регулярных грамматик – простота реализации, но при этом они могут описать лишь класс регулярных языков. В качестве аппарата распознавания регулярного языка используется конечный автомат.

LL(1)-грамматики относятся к детерминированным КС-грамматикам и позволяют получить детерминированный синтаксический анализатор, работающий по принципу нисходящего разбора. Преимущества LL(1)-анализа состоят в его естественности, данный метод является наглядным и удобным для создания основы для последующей компиляции языка программирования. Кроме того, его легко реализовать и убедиться в корректности его работы. Написанный код не только выполняет собственно синтаксический анализ, но может и проводить проверку соответствия типов и других проверок, а также реализовывать

действия на этапе синтеза, такие как распределение памяти и генерация кода при включении в его содержание соответствующих функций.

В то же время можно определить и некоторые недостатки LL(1)-метода разбора, такие как неэффективность вызовов функций и необходимость преобразования грамматики, не обладая при этом информацией о том, существует ли подходящее преобразование. Проблема заключается не только в нахождении преобразования, но и в проверке корректности его применения. Таким образом, имеются веские причины использовать при преобразовании надежные инструментальные средства, а не зависеть от ручного подхода. Кроме того, при реализации преобразования могут получаться достаточно большие программы синтаксического анализа, и существует тенденция к появлению в теле одной функции операций, относящихся к разным фазам процесса компиляции.

LR(1)-грамматики предлагают более универсальный с точки зрения описания синтаксиса языка метод разбора, который позволяет значительно снизить неудобства, связанные с преобразованием грамматик. LR(1)-грамматики включают в себя дополнительные возможности по описанию синтаксических свойств конкретных языков. В качестве аппарата распознавания КС-языка используется эквивалентный конечному автомату МП-автомат, который включает в себя магазинную память.

Кроме описанных КС-грамматик существуют классы контекстно-зависимых грамматик, у которых левые и правые части всех производимых выражений могут быть окружены терминальными и нетерминальными символами [11]. Их основное назначение – теоретическое описание свойств языков и возможностей реализации распознавателей. Но в описаниях синтаксиса реальных языков программирования или спецификаций они не используются.

Все классы грамматик представляют собой иерархию, в которой более простые грамматики характеризуются простотой описания и реализации, но при этом имеют ограничения касательно множества языков, описываемых с их помощью. Таким образом, возникает необходимость в использовании всей иерархии грамматик, начиная с регулярного класса, для реализации рационального и полного формального описания конкретного языка.

Те свойства языка, которые в практических случаях описываются формально в виде грамматик, называют синтаксическими. Причем на практике формальное описание свойств языка применяется только при осуществлении компактной записи таких свойств. Во всех остальных

случаях для описания свойств языка, которые не описаны формально, используют неформальные методы, соответственно при реализации трансляторов с языков возникает необходимость в описании неформальных свойств языков в виде алгоритмов.

Главной задачей при описании синтаксиса языка является решение задачи реализации транслятора рассматриваемого языка, при этом проблемы заикливания анализатора или соблюдение строгости описания формальных свойств не имеют существенного значения, здесь важно только получение результата.

На практике постоянно требуется разработка новых программных продуктов из-за невозможности использования реализованных программ для построения трансляторов других языков, затруднений при встраивании таких программ в новые операционные среды [12, 13].

Так как возможно описание более широкого класса инструментальных языков при построении универсальной среды для реализации трансляторов, программ обработки и преобразования данных, то, учитывая, прежде всего, основную цель реализации трансляторов, появляется необходимость исследования вопросов формального описания инструментальных языков на основе предложенных ранее подходов для выработки структуры и главных функций лингвистической части разрабатываемых средств реализации трансляторов.

Структура описания синтаксических свойств языка основана на анализе методов формального описания специализированных языков и охватывает известные методы регулярного и КС-разбора [9]. Представленный анализ методов формального описания специализированных языков позволил определить структуру описания синтаксических свойств языка, как структуру, имеющую модульный характер в соответствии с используемыми методами регулярного и КС-разбора. Также, в связи с необходимостью описания контекстно-зависимых свойств языка и неформально описываемых свойств, предлагается использовать дополнительный аппарат, реализуемый алгоритмически.

Неформально определяемые свойства языка будем описывать в виде сети автоматов, где $S \rightarrow b\alpha$ – правила вывода, O – правила грамматики, отвечающие начальному состоянию, A, B, C, \dots – правила грамматики, описывающие одноименные состояния A, B, C, \dots

Опишем сеть автоматов формально следующим образом

$$Na = (S_1, \dots, S_n; P_1, \dots, P_e; q_1, \dots, q_m), \quad (1)$$

где S_i – автоматы ($i=1..n$), q_j – состояния сети автомата ($j=1..m$), P_l – предикаты, описывающие переход к состояниям q_j ($l=1..e$).

Пример фрагмента сети автоматов представлен на рис. 2.

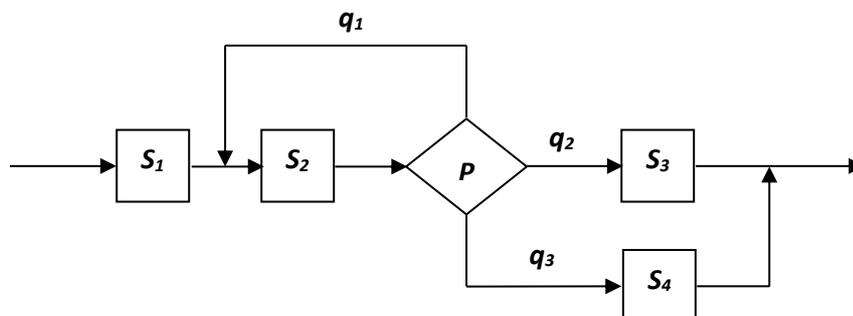


Рис. 2. Фрагмент сети автоматов

Окончание работы сети автоматов фиксируется в двух ситуациях:

- отсутствуют входные воздействия;
- не определены автоматы в конечном состоянии сети.

При этом переход сети автоматов в состояние q_j будет соответствовать контексту, а табличные данные, представленные в виде (T_k, A_k) (T_k – идентификационный признак объекта k , A_k – атрибуты объекта k), служат основанием для принятия решения о переходе.

Практическая разработка транслятора подразумевает выполнение нужных действий по мере необходимости их выполнения, и совершенно не требует соблюдения жесткой классификации этапов разбора [14]. При возникновении необходимости в разделении этапов разбора текста на лексический и синтаксический анализ программист продумывает рациональное распределение решаемых задач на данных этапах разбора.

Построение более эффективного компилятора возможно только при рациональном построении сети автоматов [15]. При этом эффективность реализации компилятора несущественна на

этапе его проектирования и отладки, а приобретает значение лишь на этапе эксплуатации. Преобразуем сеть автоматов в формально-алгоритмическое представление инструментального языка (рис. 3) в соответствии с предложенной ранее структурой описания языка следующим образом:

- правила регулярных грамматик определяют начальное состояние автомата O ;
- при построении неконечных состояний q_j используется иерархический принцип от $LL(1)$ до $LR(1)$ грамматик;
- при отсутствии входной информации, а также, когда невозможно продолжить работу в случае ошибки, осуществляется переход в конечное состояние.

- неконечное состояние e соответствует обнаруженной в процессе работы ошибке, при этом можно задать процедуру обработки.

В результате получим формально-алгоритмическое описание специализированного инструментального языка управления данными (рис. 3).

Алгоритмическая часть полученной сети автоматов отвечает за семантическую обработку исходного текста. Основная часть работ по проектированию компиляторов посвящена теоретическому описанию процесса разбора исходной цепочки символов, а вопросы генерации кода рассмотрены сжато.

В полученном формально-алгоритмическом представлении инструментального языка генерация текста на базовом языке, осуществляется при выполнении специальных действия в процессе разбора входной цепочки символов. В данном случае нет жесткой привязки процесса преобразования текста к процессу разбора входного текста, т.е. все необходимые действия можно выполнить после полного анализа цепочки текста.

На основе структуры предлагаемого программного обеспечения (рис. 1) и формально-алгоритмического представления можно определить следующие требования к выбору базового языка, состоящие в соблюдении:

- соответствия структуры компилятора инструментальному языку; – в этом случае совместив процесс разбора исходного текста с процессом генерации кода, можно упростить последний.

- соответствия типов данных, – при наличии соответствия типов данных можно осуществлять обработку контекстно-зависимых свойств существующим компилятором базового языка;

- соответствия операций, – в этом случае отпадает необходимость обработки и преобразования операций исходного и базового языка;

- надежности компилятора базового языка (кроме случая языка машинных команд).

Анализ процесса разбора входной цепочки символов и генерация текста на базовом языке приводит к необходимости рассмотрения двух практически значимых случаев.

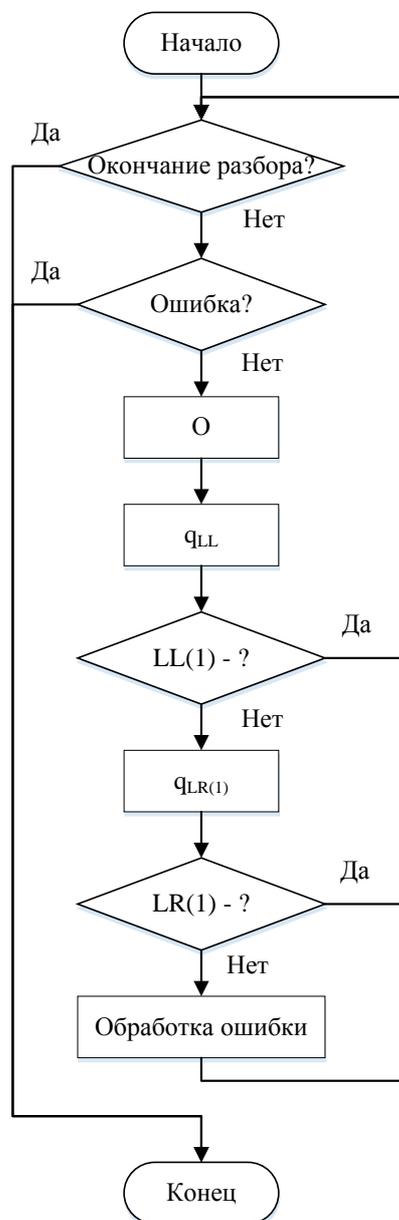


Рис. 3. Структура формально-алгоритмического представления инструментального языка

В первом случае процесс разбора охватывает вопросы принадлежности базовых конструкций к исходному языку и правильности употребления операций. Здесь не требуется сложных алгоритмов обработки при генерации текста, особенно в том случае, если языки имеют схожую структуру. Существенная роль в процессе анализа программы и диагностики ошибок отводится существующему компилятору базового языка. Структура сети автоматов упрощается и охватывает

только состояния O и $q_{LL(1)}$. При этом необходимо уделить внимание правильному заданию соответствия строк базового языка строкам входного посредством таблиц.

Во втором случае при осуществлении процесса разбора входной цепочки символов используются все возможные методы. Здесь можно определить все свойства специализированного языка и возможные ошибки в процессе разбора. При этом, несмотря на усложнение структуры сети автоматов и алгоритмов генерации текста, сеть автоматов может полностью описать процесс компиляции. На компилятор базового языка в этом случае возлагаются лишь технические функции преобразования текста в машинный код и дополнительный контроль правильности программы, т.к. все проверки выполнены на предыдущем этапе.

Для практической реализации транслятора можно на начальном этапе использовать вариант реализации для описанного первого случая. При возникновении необходимости обеспечения независимости от транслятора базового языка, можно перейти ко второму варианту, постепенно усложняя структуру сети.

С целью практической реализации сети автоматов необходимо осуществить преобразование предложенного формально-алгоритмического представления специализированного языка управления данными в лингвистические конструкции макробιβотеки и реализовать программное обеспечение макропроцессора.

Выводы. Для формального описания и реализации специализированного языка управления данными предложено использование подхода, основанного на применении макропроцессора. Определены требования к реализуемому макропроцессору и предложена структура универсального транслятора. На основе анализа современных средств формального описания языков синтезирована структура описания языка, при этом неформальные свойства языка предложено описывать в виде сети автоматов. Получено формально-алгоритмическое описание специализированного инструментального языка управления данными, определены требования к выбору базового языка с точки зрения рациональной практической реализации. Рассмотрены практически значимые случаи, исходя из решения вопроса проектирования и разработки транслятора специализированного языка. Предложенные в статье формально-логические решения могут рассматриваться в качестве основы для построения и реализации программно-лингвистических средств управления данными.

**Выполнено в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства «Разработка методологии и инструментальных средств создания прикладных приложений, поддержки жизненного цикла информационно-технологического обеспечения и принятия решений для эффективного осуществления административно-управленческих процессов в рамках установленных полномочий», шифр «2017-218-09-187»; постановление Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010г. №218.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 10032-2007: Этапная модель управления данными
2. Кузовкин А.В., Цыганов А.А., Щукин Б.А. Управление данными: учебник для студ. высших учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 256 с.
3. Зайцев И.М., Зайцева Т.В., Лифиренко М.В., Ломакин В.В., Путивцева Н.П. Многокритериальный выбор корпоративной системы с применением инструментальных средств повышения степени согласованности матриц парных сравнений // Информационные системы и технологии. 2017. № 6 (104). С. 85–93.
4. Фаулер М. Языковой инструментарий: новая жизнь языков предметной области. URL: <http://www.maxkir.com/sd/languageWorkbenches.html> (дата обращения 21.02.2017)
5. Михелев В.М., Петров Д.В., Батищев Д.С., Кузнецов К.В., Ерошенко Я.Б. Методы и средства программирования для интернет. Технологии программирования на стороне web-сервера: учебно-практическое пособие для бакалавров, обучающихся по направлению подготовки 010200.62 "Математика и компьютерные науки". Белгород: ИД Белгород, 2016. 260 с.
6. Грофф Дж., Вайнберг П. SQL: полное руководство. К.: Издательская группа ВHV, 2000. 608 с.
7. Горев А., Макашарипов С., Владимиров Ю. MicrosoftSQLServer6.5 для профессионалов. СПб.: Изд. Питер, 1998. 464 с.
8. Браун П. Макропроцессоры и мобильность программного обеспечения. М.: Изд-во Мир, 1977. 256 с.
9. Льюис Ф., Розенкранц Д., Стирнз Р. Теоретические основы проектирования компиляторов. М.: Изд-во Мир, 1979. 654 с.
10. Nemerle. Programming language for "special forces" of developers. [Электронный ресурс] URL : <http://nemerle.org/About> (дата обращения 21.09.2017)

11. Хантер Р. Проектирование и конструирование компиляторов. М.: Изд. Финансы и статистика, 1984. 232 с.

12. Lomakin V.V., Afonin A.N. Formal and software language means for specialized language implementation // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10. № 24. С. 45239–45246.

13. Рязанов Ю.Д. Способ преобразования кс-грамматики в LL(1)-грамматику // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2014. № 2. С. 113–116.

14. Муромцев В.В., Ломакин В.В., Цоцорина Н.В. Разработка специализированного языка для удаленного программирования микроконтроллеров // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. 2011. Т. 19. № 13-1 (108). С. 180–185.

15. Муромцев В.В., Ломакин В.В., Мишунин В.В. Подход к улучшению алгоритмов грамматического сжатия // Информационные системы и технологии. 2011. № 6 (68). С. 5–9.

Информация об авторах

Ломакин Владимир Васильевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной информатики и информационных технологий.

E-mail: lomakin@bsu.edu.ru.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д. 85.

Асадуллаев Рустам Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий.

E-mail: asadullaev@bsu.edu.ru.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д. 85.

Зайцева Татьяна Валентиновна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий.

E-mail: zaitseva@bsu.edu.ru.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д. 85.

Путивцева Наталья Павловна, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий.

E-mail: putivzeva@bsu.edu.ru.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д. 85.

Белоконь Юлия Юрьевна, аспирант кафедры прикладной информатики и информационных технологий.

E-mail: voitova@bsu.edu.ru.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д. 85.

Поступила в октябре 2017 г.

© Ломакин В.В., Асадуллаев Р.Г., Зайцева Т.В., Путивцева Н.П., Белоконь Ю.Ю., 2017

Lomakin V.V., Asadullaev R.G., Zaitseva T.V., Putivzeva N.P., Belokon Y.Y. FORMAL-ALGORITHMIC REPRESENTATION OF THE SPECIALIZED LANGUAGE OF DATA CONTROL

The authors proposed new tools for solving the problem of constructing a formal description of a specialized data control language and its implementation with the use of a macroprocessor. In the paper structure of a universal translator which is oriented to the processing of data and knowledge in the process of solving a wide range of management tasks for decision making support on the basis of the identified requirements for the implemented macroprocessor is proposed. The possibilities of the description of the properties of programming languages with the help of the main classes of context-free and context-dependent grammars and considering their characteristics, merits and demerits are considered. The analysis of modern tools of formal description of languages made it possible to synthesize the structure of the description of a specialized instrumental language, while it was proposed to implement context-dependent and informally described properties

of the language algorithmically. The structure of the formal-algorithmic representation of the instrumental language is presented. Two practically significant cases of parsing the input string of symbols and text generation in the base language are considered.

Keywords: *specialized languages for data control, formal description of languages, formal grammars, finite state machine network.*

Information about the authors

Lomakin Vladimir Vasil'yevich, PhD, Head of Department.

E-mail: lomakin@bsu.edu.ru.

Belgorod State National Research University,
Russia, 308015, Belgorod, st. Pobedy, 85.

Asadullaev Rustam Gennad'yevich, PhD, Assistant professor.

E-mail: asadullaev@bsu.edu.ru.

Belgorod State National Research University,
Russia, 308015, Belgorod, st. Pobedy, 85.

Zaitseva Tatiana Valentinovna, PhD, Assistant professor.

E-mail: zaitseva@bsu.edu.ru.

Belgorod State National Research University,
Russia, 308015, Belgorod, st. Pobedy, 85.

Putivzeva Natalia Pavlovna, PhD, Assistant professor.

E-mail: putivzeva@bsu.edu.ru.

Belgorod State National Research University,
Russia, 308015, Belgorod, st. Pobedy, 85.

Belokon Yuliya Yurevna, Research assistant.

E-mail: voitova@bsu.edu.ru.

Belgorod State National Research University,
Russia, 308015, Belgorod, st. Pobedy, 85.

Received in October 2017

© Lomakin V.V., Asadullaev R.G., Zaitseva T.V., Putivzeva N.P., Belokon Y.Y., 2017

Ханин С.И., д-р техн. наук, проф.,
 Старченко Д.Н., канд. техн. наук, доц.,
 Мордовская О.С., канд. техн. наук, доц.,
 Харин Н.П., инж.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОЧНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ КЛАССИФИЦИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦ*

dh@intbel.ru

Конструктивное совершенствование классифицирующих устройств позволяет повысить производительность шаровых мельниц, снизить удельные энергозатраты на процесс помола материала. Актуальной является разработка методики расчета, позволяющей установить величину и направления приложения нагрузок на конструкцию устройства. В статье приводится описание математической модели процесса пространственного движения мелющих тел, их взаимодействия с бронифутеровкой, друг другом в конусообразной и цилиндрической камерах мельницы. Рассматривается, основанная на математической модели, методика расчета нагрузок на классифицирующие устройства от действия мелющих тел. Приведены результаты расчета действующих на цилиндрическое классифицирующее устройство промышленной мельницы нагрузок, напряжений и деформаций в его конструкции, полученные с использованием систем автоматизированного проектирования.

Ключевые слова: шаровая мельница, классифицирующее устройство, мелющее тело, математическая модель процесса, методика, нагрузка, деформация.

Введение. Шаровые мельницы распространены в различных отраслях промышленности для грубого и тонкого помола различных материалов. Эти мельницы имеют относительную простоту конструкции и эксплуатации. Их универсальность позволяет использование в условиях сухого и мокрого способа измельчения как однокомпонентных, так и многокомпонентных шихт и шламов, обеспечивая достаточно высокую однородность распределения частиц в измельченном продукте по их крупности и составу. Нерациональность процессов движения шароматериальной загрузки, выделения из ее среды кондиционных частиц материала приводит к невысокой эффективности процесса помола, следствием чего является снижение производительности и повышение удельного расхода электроэнергии. Это ограничивает преимущества шаровых мельниц перед аналогичными помольными агрегатами [1–5]. Эволюционное совершенствование шаровых мельниц осуществляется на протяжении всей истории их существования. Одним из направлений их модернизации является изменение конструкций внутримельничных устройств, позволяющих осуществлять процесс выделения из шароматериальной загрузки частиц материала, достигших определенной крупности, и подавать на последующее доизмельчение или направлять в готовый продукт [6]. Это значительно снижает нерациональное переизмельчение мелких

частиц и их демпфирующее воздействие на мелющие тела при разрушении крупных, что повышает эффективность процесса помола.

Внутримельничные устройства при вращении корпуса мельницы испытывают достаточно высокие динамические нагрузки со стороны мелющих тел, меняющиеся как по величине, так и по направлению. В результате взаимодействия с шароматериальной загрузкой происходит их износ, что снижает прочностные параметры. Установление точных значений этих параметров позволяет, с использованием современных программных продуктов, разработать конструкцию устройства с возможностью длительной его эксплуатации при достаточно стабильных технологических характеристиках помольного агрегата.

Решению этой проблемы посвящено достаточно много работ. Рассматриваемые в них методики носят преимущественно индивидуальный характер, предполагают использование достаточно серьезных допущений при определении места, направления и величин приложения действующих на внутримельничные устройства нагрузок.

Так, в работе [7] предлагается методика расчета сил, действующих на элементы цилиндрического классифицирующего устройства, основывающаяся на графоаналитическом методе [8].

$$F_k^i = L \frac{\gamma_{\text{шм}} \omega^2}{3g} (\rho_{0_k}^3 - \rho_{1_k}^3) \Delta v_k, \quad (1)$$

где L – длина k -го сектора классифицирующего устройства, м; i – номер сектора контура загрузки ($i = 1, 2, 3$), $\gamma_{им}$ – объемный вес шароматериальной загрузки, Н/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; ρ_{0k} и ρ_{1k} – радиусы, ограничивающие контур мелющей загрузки, м; $\Delta\nu_k$ – угловой сектор, рад.

Автором в основу методики взято движение отдельного мелющего тела, не учитываются его размеры, вращение, проскальзывание по футеровке корпуса мельницы, перемещение в рядом находящиеся слои мелющих тел. Параметры движения рассматриваемого мелющего тела распространяются на другие мелющие тела. Методика разработана для каскадного режима движения мелющей загрузки, хотя для эффективного протекания процесса измельчения материала в устройстве целесообразен смешанный. Приведённые особенности подхода к разработке методики расчета свидетельствуют о том, что ее применение может привести к достаточно серьезным погрешностям вычислений.

Методика. Заслуживает особого интереса дискретно-событийный подход к процессу движения мелющих тел [9–13]. В рамках этого подхода разработана математическая модель, адекватно описывающая протекающие в цилиндрической или конусообразной камере шаровой мельницы процессы пространственного движения мелющих тел, взаимодействия с бронифутеровкой и друг другом. В основу математической модели положено движение отдельно взятого сферического мелющего тела, которое последовательно взаимодействует с другими мелющими телами сферической формы, а также бронифутеровкой камеры и ограничивающих ее перегородок или днищ. Взаимодействия сферических мелющих тел с бронифутеровкой и друг с другом рассматриваются как мгновенные и вызывают изменения скоростей, которые изменяются также мгновенно. Мелющие тела на интервалах времени между соударениями движутся под действием силы тяжести по параболическим траекториям.

Время движения мелющего тела до бронифутерованной конусообразной поверхности камеры определяется из уравнения:

$$\left(\frac{g}{4}\right)t^4 - (V_{ix}' + g)t^3 + [V_{ix}'^2 + V_{iy}'^2 - y_i' \cdot g - tg^2\theta_m \cdot V_{iz}'^2] \cdot t^2 + 2 \cdot [x_i' \cdot V_{ix}' + y_i' \cdot V_{iy}' + \left(\frac{D_{im}}{2} - \frac{r_{si}}{\cos\theta_m} - tg\theta_m \cdot z_i'\right) \cdot tg\theta_m \cdot V_{iz}'] \cdot t + [x_i'^2 + y_i'^2 - \left(\frac{D_{im}}{2} - \frac{r_{si}}{\cos\theta_m} - tg\theta_m \cdot z_i'\right)^2] = 0. \quad (2)$$

где x_i', y_i', z_i' и $V_{ix}', V_{iy}', V_{iz}'$ – координаты центра масс мелющего тела в момент начала отсчета времени и проекции скорости на оси координат, соответственно, м; D_{im} – диаметр конусообразной камеры

у большего основания, м; θ_m – угол между образующей и продольной m -го конуса, рад; r_{si} – радиус i -го мелющего тела, м.

При приравнении угла θ_m к нулю уравнение (2) позволяет определить время движения мелющего тела до бронифутерованной цилиндрической поверхности камеры.

Введем следующие обозначения. I_z – момент инерции корпуса мельницы относительно оси Z (рисунок 1); x_s, y_s – координаты точки взаимодействия; S_x, S_y, S_z – проекции импульса взаимодействия на соответствующие оси; $n_x, n_y, n_z, \tau_x, \tau_y, \tau_z, b_x, b_y, b_z$ – проекции единичных векторов локальной системы координат (рис. 2); S_n, S_τ, S_b – проекции импульса взаимодействия на соответствующие оси локальной системы координат; f – коэффициент трения скольжения; k – коэффициент восстановления при ударном взаимодействии; для i -го сферического тела: m_i – масса, I_i – момент инерции, V_{in}, V_{it}, V_{ib} и ω_i – проекции скорости центра масс и угловой скорости на соответствующие оси. За локальную принята система координат с началом в точке взаимодействия и направлением осей: n – вдоль нормали взаимодействия, τ – вдоль вектора относительной скорости, b – перпендикулярно осям n и τ . При изменении положения места взаимодействия происходит изменение проекций единичных векторов ($n_x, n_y, n_z, \tau_x, \tau_y, \tau_z, b_x, b_y, b_z$) локальной системы координат и координат точки взаимодействия (x_s и y_s).

Обозначим индексы параметров следующими цифрами: 0 и 2 – до и после взаимодействия; 1 – в момент, когда сила трения обращается в ноль.

Импульсы взаимодействия мелющего тела с бронифутеровкой камеры мельницы и эффективный коэффициент трения скольжения η определяются следующими выражениями:

$$S_n = \frac{-(1+k)(V_{i0n} - \Omega_0(x_s \cdot n_y - y_s \cdot n_x))}{m_i \frac{1}{I_z} - \frac{(x_s n_y - y_s n_x)^2}{I_z} - \eta \frac{(x_s \tau_y - y_s \tau_x)}{I_z} (x_s \cdot n_y - y_s \cdot n_x)}, \quad (3)$$

$$S_\tau = \eta \cdot S_n, \quad (4)$$

$$\eta = \min \left\{ f, \frac{V_z \left[\frac{1}{m_i} - \frac{(x_s n_y - y_s n_x)^2}{I_z} \right] + V_n \left[\frac{(x_s n_y - y_s n_x)}{I_z} (x_s \cdot \tau_y - y_s \cdot \tau_x) \right]}{V_n \left[\frac{7}{2} \frac{1}{m_i} - \frac{(x_s \tau_y - y_s \tau_x)^2}{I_z} \right] + V_\tau \left[\frac{(x_s \tau_y - y_s \tau_x)}{I_z} (x_s \cdot n_y - y_s \cdot n_x) \right]} \right\}, \quad (5)$$

где

$$V_\tau = V_{i0\tau} + r_{si} \omega_{i0b} - \Omega_0(\tau_y x_s - \tau_x y_s); V_n = (1+k)(V_{i0n} - \Omega_0(x_s n_y - y_s n_x)) \cdot$$

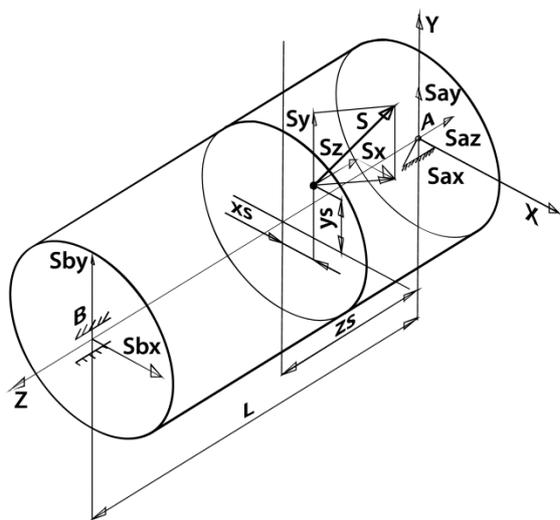


Рис. 1. Бронефутерованная камера в абсолютной системе координат

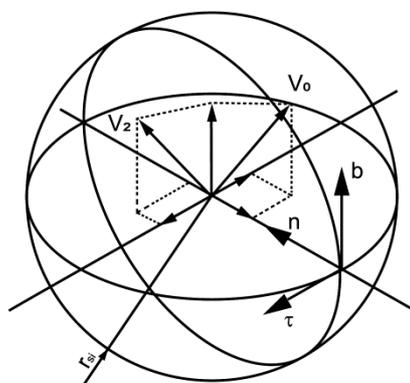


Рис. 2. Мелющее тело в локальной системе координат

Нагрузка от воздействия мелющих тел с силой F на фрагмент поверхности бронефутеровки камеры площадью Q вычисляется как $q' = F / Q$. Касательная F_τ и нормальная F_n составляющие силы F рассчитываются как:

$$F_\tau = \left(\sum_{i=1}^n S_{i\tau} \right) / \Delta t; \quad F_n = \left(\sum_{i=1}^n S_{in} \right) / \Delta t. \quad (6)$$

Здесь Δt – период времени, за которое устанавливается нагрузка; n – количество взаимодействий с мелющими телами за период времени Δt ; $S_{i\tau}$ и S_{in} – касательный и нормальный импульсы i -го взаимодействия.

Бронефутерованные поверхности цилиндрической или конусообразной (рис. 3) камер разделяются на N_l участков в направлении оси вращения Z и на N_α секторов в поперечных сечениях. Определим номер участка на бронефутерованной поверхности конусообразной камеры, взаимодействующего с мелющим телом в точке, имеющей координаты (x_s, y_s, z_s) . Конусообразная ка-

мера характеризуется: углом θ_m наклона образующей, длиной L_m , диаметром D_{lm} у большего основания.

Длина Δl участка (рис. 3), при их количестве N_l , равна:

$$\Delta l = L_m / N_l. \quad (7)$$

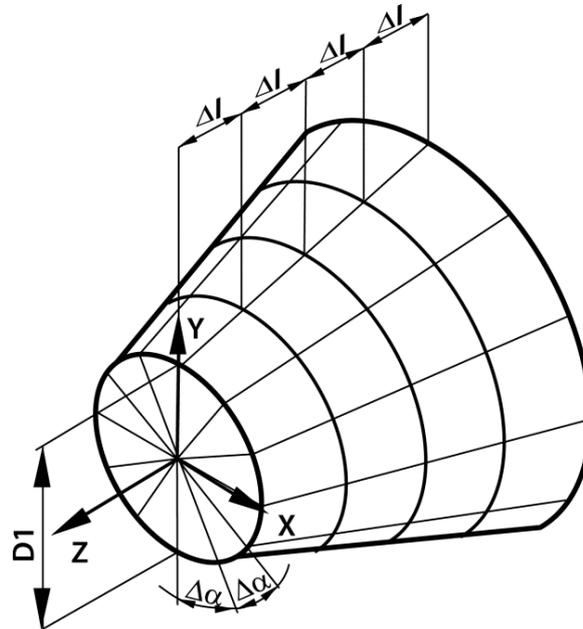


Рис. 3. Схема к разделению конусообразной камеры на участки

Его номер (в направлении оси Z):

$$N_{sl} = z_s / \Delta l. \quad (8)$$

Угол между ограничивающими сектор радиусами:

$$\Delta \alpha = 2\pi / N_\alpha. \quad (9)$$

Номер этого сектора:

$$N_{s\alpha} = \alpha_s / \Delta \alpha. \quad (10)$$

где α_s – угол между радиус-вектором точки взаимодействия и осью OX .

$$\alpha_s = \arctg \frac{y_s}{x_s}. \quad (11)$$

Развёртка выделяемого фрагмента поверхности бронефутеровки камеры представляет форму трапеции. Её высота вычисляется как $h = \Delta l / \cos \theta_m$, а размеры оснований – нижнего H_1 и верхнего H_2 :

$$H_1 = \Delta \alpha \left(\frac{D_{lm}}{2} - N_{sl} \cdot \Delta l \cdot \tg \theta_m \right). \quad (12)$$

$$H_2 = \Delta \alpha \left(\frac{D_{lm}}{2} - (N_{sl} + 1) \cdot \Delta l \cdot \tg \theta_m \right). \quad (13)$$

Площадь выделяемого фрагмента поверхности в форме трапеции:

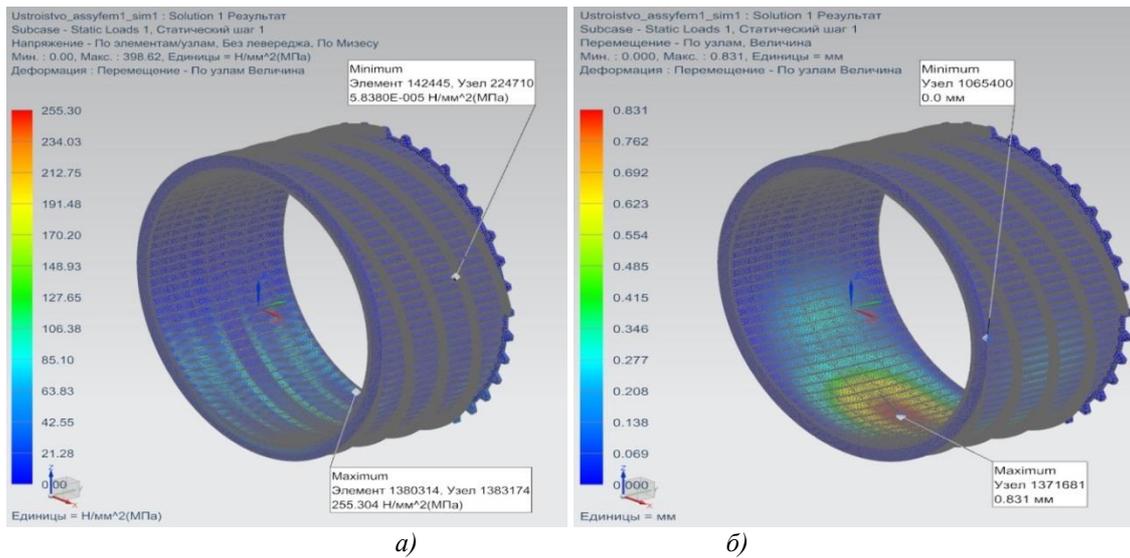


Рис. 4. Распределение напряжений и деформаций в конструкции цилиндрического классифицирующего устройства мельницы $D \times L = 2 \times 10,5$ м: а) напряжения, б) деформации

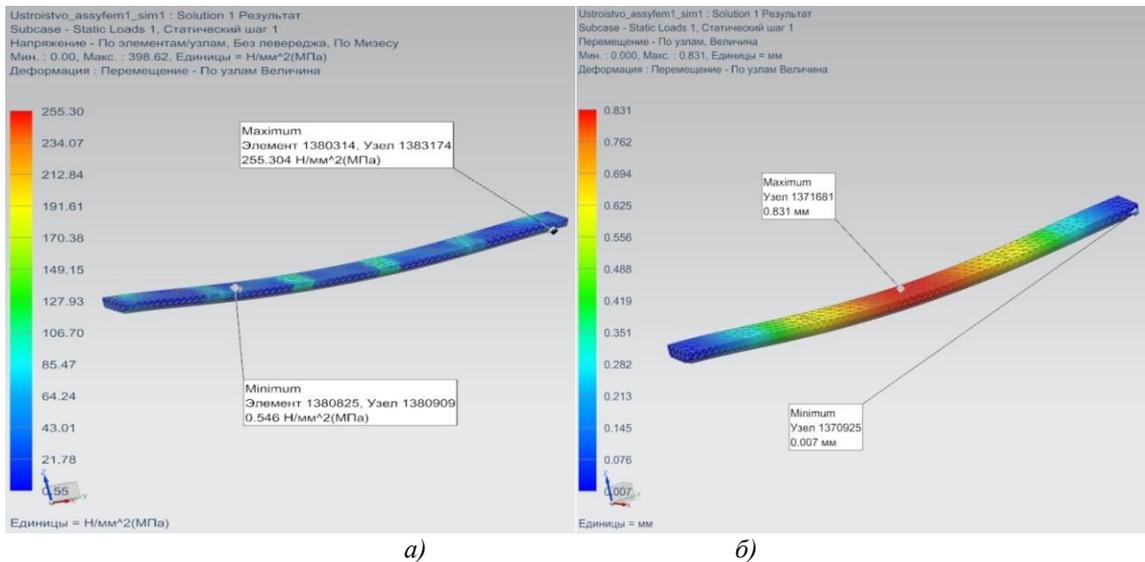


Рис. 5. Распределение напряжений и деформаций в стержне цилиндрического классифицирующего устройства мельницы $D \times L = 2 \times 10,5$ м: а) напряжения, б) деформации

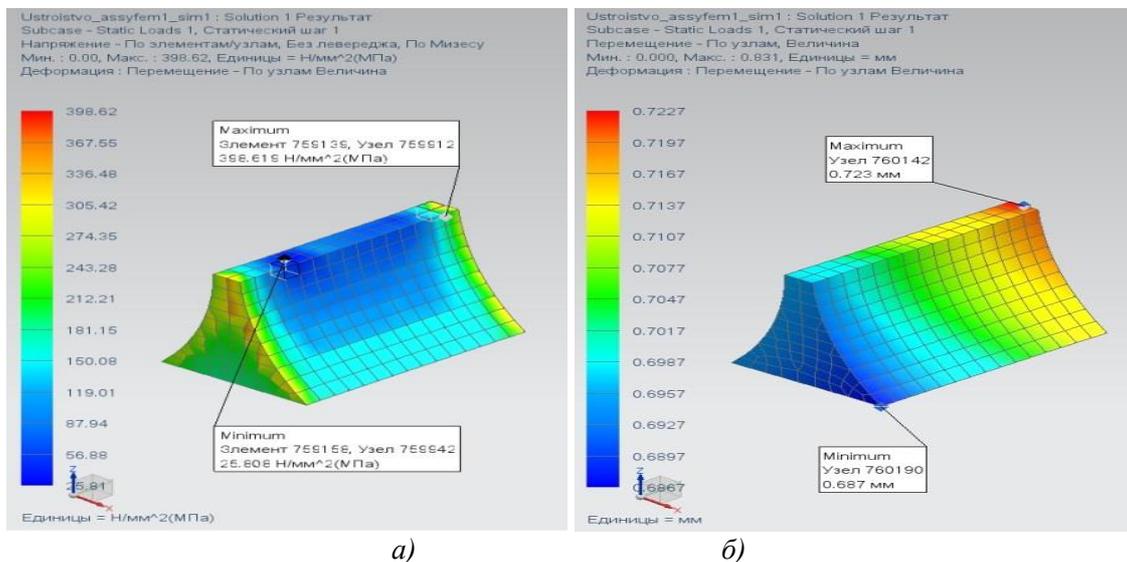


Рис. 6. Распределение напряжений и деформаций в дистанционной вставке цилиндрического классифицирующего устройства мельницы $D \times L = 2 \times 10,5$ м: а) напряжения, б) деформации

В рассматриваемом случае принята сварная конструкция цилиндрического классифицирующего устройства, для чего была принята легко свариваемая низколегированная сталь, позволяющая обеспечить надежное соединение элементов конструкции в условиях повышенных динамических нагрузок. Для увеличения длительности эксплуатации устройства в условиях высокого абразивного износа необходима периодическая наплавка рабочих поверхностей твердым сплавом.

Выводы. Получена математическая модель, описывающая параметры процессов движения мелющего тела в конусообразной и цилиндрической камерах шаровой мельницы, взаимодействия с их бронефутеровкой и друг другом. Использование математической модели позволяет осуществлять компьютерную реализацию рассматриваемых процессов в камерах мельницы для всей мелющей загрузки в совокупности и устанавливать характеризующие их параметры. Разработана методика расчета нагрузок от воздействия мелющих тел на фрагменты поверхности бронефутеровки камер. С использованием разработанного программного обеспечения выполнен расчет нагрузок, действующих на цилиндрическое классифицирующее устройство промышленной шаровой мельницы. В программной среде CAD/CAM/CAE системы Unigraphics NX рассчитаны напряжения и деформации в конструкции устройства.

**Работа выполнена в рамках Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Романович А.А. Энергосберегающие агрегаты для измельчения материалов цементного производства с анизотропной структурой: Автореф. дис. д-ра. техн. наук: Белгород. 2014. 43 с.
2. Науменко Ю.В. Основи теорії режимів роботи барабанних млинів. Рівне.: СПД Зелент О.І., 2009. 282 с.
3. Йоргенсен. С.В. Помол цемента. Сравнительный анализ вертикальной валковой и шаровой мельниц // Цемент и его применение. 2006.

Информация об авторах

Ханин Сергей Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры механического оборудования.

E-mail: dh@intbel.ru

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

Старченко Денис Николаевич, кандидат технических наук, начальник отдела подготовки электронных дидактических средств.

E-mail: crovin@mail.ru

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

№ 6. С. 39–44.

4. Севостьянов В.С. Энергосберегающие помольные агрегаты. Белгород. 2006. 435 с.

5. Хардер Й. Развитие одноэтапных процессов измельчения в цементной промышленности // Цемент. Известь. Гипс. 2006. № 1. С. 24-38.

6. Пат. 2236298 Российская федерация, МПК ВО2С 17/06. Трубная мельница / С.И. Ханин, В.В. Кайдаш, А.В. Чалов, Д.Н. Солодовников, О.С. Ханина; заявитель и патентообладатель Белгор. гос. технолог. акад. строит. материалов. – №2003113249/22; заявл. 05.05.03; опубл. 20.09.04, Бюл. №26. 6 с.

7. Солодовников Д.Н. Цилиндрическое внутримельничное классифицирующее устройство трубной мельницы: дис... канд. техн. наук. Белгород, 2009. 162 с.

8. Крюков Д.К. Футеровки шаровых мельниц. М.: Машиностроение, 1965. 184с.

9. Brilliantov N.V., Spahn F., Hertzsch Jan-Martin, Thorsten Poschel Model for collisions in granular gases // Physical review E. 1996. Vol. 53. № 5. P. 5382–5392.

10. R. Reichardt and W. Wiechert / Event driven simulation of a high energy ball mill. In Proceedings ASIM 2003, page 249. ASIM 2003.

11. Rosa Ramirez, Thorsten Pöschel, Nikolai V. Brilliantov, Thomas Schwager // Physical review e. 1999. Vol. 60. № 4. P.4464-4472.

12. Schwager T., Poschel T. Coefficient of restitution for viscoelastic spheres: The effect of delayed recovery // Physical review e. 2008. Vol. 78. № 5. P. 1304–1316.

13. Thorsten Pöschel Thomas Schwager // Computational granular dynamics. Models and algorithms. Springer – Verlag Berlin Heidelberg 2005. P. 322.

14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012615855. Система расчёта и визуализации параметров движения мелющих тел в корпусе шаровой барабанной мельницы / Старченко Д.Н., Ханин С. И., Трухачев С.С.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова; №2012613407, заявлено 27.04.2012; зарегистрировано. 27.06.2012.

15. Ельцов М.Ю., Козлов А.А., Седойкин А.В., Широкова Л.Ю. Проектирование в NX под управлением Teamcenter. 2010. 783 с.

Мордовская Ольга Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры механического оборудования.

E-mail: unique.ox@gmail.com.

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

Харин Никита Петрович, инженер кафедры механического оборудования.

E-mail: bigpandanick@yandex.ru

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

Поступила в октябре 2017 г.

© Ханин С.И., Старченко Д.Н., Мордовская О.С., Харин Н.П., 2017

Hanin S.I., Starchenko D.N., Mordovskaya O.S., Harin N.P.
**COMPUTER-AIDED DESIGN SYSTEM APPLICATION FOR CALCULATION
PARAMETERS OF STRENGTH OF BALL MILL CLASSIFICATION DEVICES**

Constructive improvement of the classification devices allows increasing capacity of ball mills, to reduce the specific energy consumption for the grinding process of the material. Developing methods of calculation that allows you to determine the magnitude and direction of applying loads to the design of the device is actual. The article describes the mathematical model of the process of the spatial motion of grinding media, their interaction with shell liners, and each other in the cone-shaped and cylindrical chambers of the mill. The method of calculating loads on classifying devices from the action of grinding media is considered based on a mathematical model. The results of calculation loads, strains and deformations acting on the cylindrical classifier of the industrial using mill in its design obtained using computer-aided design systems are presented.

Keywords: ball mill, classification device, grinding media, mathematical model of the process, methods, load, deformation.

Information about the authors

Hanin Sergey Ivanovich, PhD, Professor.

E-mail: dh@intbel.ru

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

Starchenko Denis Nikolaevich, PhD, Assistant professor.

E-mail: crovin@mail.ru

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

Mordovskaya Olga Sergeevna, PhD, Assistant professor.

E-mail: unique.ox@gmail.com.

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

Harin Nikita Petrovich, Engineer.

E-mail: bigpandanick@yandex.ru

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

Received in October 2017

© Hanin S.I., Starchenko D.N., Mordovskaya O.S., Harin N.P., 2017

DOI: 10.12737/article_5a27cb8eace410.57038122

¹Шаптала В.Г., д-р техн. наук, проф.,
¹Северин Н.Н., д-р пед. наук, проф.,
¹Радоуцкий В.Ю., канд. техн. наук, проф.,
¹Шаптала В.В., канд. техн. наук, доц.,
²Северин С.Н., курсант,
³Олейник Д.В., препод.

¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

²Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

³Белгородский юридический институт МВД России им. И.Д. Путилина.

КОГНИТИВНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ПЕРВИЧНЫМИ МЕРАМИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА МУНИЦИПАЛЬНОМ УРОВНЕ

shapvlad7@yandex.ru

Представлен когнитивный подход к анализу и управлению реализацией первичных мер пожарной безопасности муниципальных образований. Методом импульсного моделирования рассмотрены сценарии изменения состояния пожарной безопасности в результате управляющих и дестабилизирующих воздействий.

Ключевые слова: муниципальное образование, первичные меры пожарной безопасности, когнитивная карта, импульсное моделирование.

Введение. Важным направлением улучшения состояния пожарной безопасности муниципальных образований (МО) является повышение эффективности деятельности органов местного самоуправления по реализации первичных мер пожарной безопасности [1].

Наибольшее количество пожаров регистрируется в жилом секторе, в производственных и общественных зданиях, расположенных на территориях муниципальных образований. В связи с этим Федеральный закон “Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации” [2] возлагает на органы местного самоуправления, поселений и городских округов функцию обеспечения первичных мер пожарной безопасности. Осуществление этих мер означает реализацию органами местного самоуправления основных функций системы обеспечения пожарной безопасности на местном муниципальном уровне в пределах их полномочий и финансово-экономических возможностей. Координацию обеспечения первичных мер пожарной безопасности выполняет комиссия по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности или Совет безопасности органа местного самоуправления. Пожарная безопасность муниципального образования складывается в результате сложного и нередко труднопредсказуемого взаимодействия многих факторов, охватывающих как субъекты противопожарной деятельности, так и проводимые ими мероприятия. Эффективным ин-

струментом исследования многофакторных взаимодействий является когнитивное моделирование [3, 4].

Основная часть. Первым этапом построения когнитивной модели пожарной безопасности муниципального образования является выявление и количественная оценка основных факторов ее формирования. Путем обработки экспертной информации [1] был составлен следующий список факторов (концептов):

S_1 – обстановка с пожарами на территории муниципального образования;

S_2 – государственный пожарный надзор;

S_3 – муниципальный контроль за соблюдением требований пожарной безопасности;

S_4 – муниципальное финансовое и материально-техническое обеспечение пожарной безопасности;

S_5 – муниципальная пожарная охрана;

S_6 – противопожарная инфраструктура;

S_7 – противопожарная пропаганда и обучение населения мерам пожарной безопасности;

S_8 – добровольные пожарные дружины;

S_9 – уровень нарушений обязательных требований пожарной безопасности и противопожарного режима в организациях на территории муниципального образования;

S_{10} – внешние пожароопасные воздействия (поджоги, грозовые разряды и другие стихийные бедствия, приводящие к пожарам).

Для количественного анализа сложившихся ситуаций и возможных сценариев их развития всем концептам ставятся в соответствие их количественные переменные состояния:

$\{X_1, X_2, \dots, X_{10}\}$. Переменная состояния X_1 целевого концепта C_1 должна учитывать обстановку с пожарами на территории МО. Основными количественными показателями обстановки с пожарами является количество пожаров $n_{П}$, количество погибших и травмированных на пожарах людей $n_{ПТ}$ и сумма полного материального ущерба от пожаров S_y [5]. Поэтому переменная состояния концепта C_1 – обстановки с пожарами на территории ПО, может быть определена следующим соотношением:

$$X_1 = 1 / \left(1 + \frac{n_{П}}{n_{П}^{cp}} + \frac{n_{ПТ}}{n_{ПТ}^{cp}} + \frac{S_y}{S_y^{cp}} \right), \quad (1)$$

где $n_{П}^{cp}, n_{ПТ}^{cp}, S_y^{cp}$ – средние по России значения основных показателей обстановки с пожарами для данного вида МО. С улучшением обстановки с пожарами значение X_1 возрастает и при полном отсутствии пожаров достигает максимального значения $X_1 = 1$. Путем обработки статистических данных найден интервал изменения этой переменной: $0,1 \leq X_1 \leq 1$.

Концепты C_2, C_3, C_4 являются управляющими. В качестве переменных X_2, X_3 , характеризующих результативность работы ГПН и муниципального контроля за соблюдением требований ПБ, могут быть приняты доли устраненных нарушений требований ПБ от общего числа выявленных нарушений [6]. Аналогично, показателем полноты финансового и материально-технического обеспечения ПБ X_4 может служить отношение его фактического объема к потребному.

Переменная состояния X_5 , относящаяся к муниципальной пожарной охране, равна 0 при ее отсутствии и 1, если такая охрана создана и функционирует. Промежуточное значение $0 < X_5 < 1$ присваивается экспертами переменной X_5 в случае, если муниципальной охраны нет, но местный бюджет частично финансирует государственную пожарную службу на основе соответствующего договора. Таким же образом, количественные показатели X_6, X_7 , и X_8 стабилизирующих концептов C_6, C_7, C_8 могут быть определены в виде долей (процентов) выполнения плановых заданий.

Концепты C_9 и C_{10} являются дестабилизирующими. В качестве количественной характеристики X_9 – обстановки с нарушениями требований ПБ примем относительную долю организаций, допустивших грубые нарушения обязательных требований ПБ, приводящих к загораниям или иным пожароопасным ситуациям. Числовой характеристикой X_{10} – внешнего пожароопасного

воздействия является его статистическая вероятность. Так, в 2016 г. 10,6 % пожаров возникло в результате поджогов [5], поэтому $X_{10} \cong 0,1$.

Степень выполнения противопожарных организационно-технических мероприятий на территории МО может быть оценена с помощью показателя K_{BM} , определяемого соотношением:

$$K_{BM} = \left(\sum_{i=2}^m X_i \right) / m, \quad (2)$$

где X_i – значения переменных состояния управляющих и стабилизирующих концептов, m – их количество (в рассматриваемом случае $m = 7$). По результатам экспертного анализа интервал изменения показателя выполнения противопожарных организационно-технических мероприятий в типичных для МО условиях составляет от 0,3 до 1. Эффективность функционирования системы противопожарной безопасности МО в целом можно количественно оценить с помощью соотношения:

$$K_{ПБ} = (X_1 + K_{BM} - X_9 - X_{10}) / 2, \quad (3)$$

где $K_{ПБ}$ – показатель полноты реализации первичных мер пожарной безопасности на территории МО, предусмотренных законом “О пожарной безопасности” [7]. При полном отсутствии пожаров, выполнении всех противопожарных мероприятий и требований пожарной безопасности в организациях и жилом секторе показатель $K_{ПБ}$ будет приближаться к своему максимальному значению $K_{ПБ} = 0,9 - 0,95$.

Таблица 1

Соответствие между лингвистическими описаниями и числовыми оценками связей между факторами

Лингвистическая оценка	Числовой интервал	
Не влияет	0	
Слабо усиливает (ослабляет)	(0; 0,25)	(- 0,25; 0)
Средне усиливает (ослабляет)	(0,25; 0,5)	(- 0,5; - 0,25)
Значительно усиливает (ослабляет)	(0,5; 0,75)	(- 0,75; - 0,5)
Сильно усиливает (ослабляет)	(0,75; 1)	(- 1; - 0,75)

Следующим этапом построения когнитивной модели пожарной безопасности МО является определение характера (знака) и силы причинно-следственных связей между каждой парой концептов. Если увеличение (уменьшение) переменной состояния концепта C_i приводит к увеличению (уменьшению) переменной состояния кон-

цепта C_j то связь между ними считается положительной. Если же изменение фактора-причины вызывает изменение фактора-следствия противоположного характера, то связь между ними считается отрицательной. Лингвистические (качественные) оценки этих связей, найденные по итогам обработки экспертной информации [6], отображались на интервал $[-1; 1]$ в виде числовых показателей (весов) этих связей (см. табл. 1).

Найденные в результате обработки экспертных оценок [1] веса причинно-следственных связей между концептами образуют матрицу $W = |w_{ij}|$, элементы которой w_{ij} определяют характер и силу влияния C_i на концепт C_j (табл. 2).

Когнитивная модель состояния пожарной безопасности МО может быть наглядно представлена в виде ориентированного взвешенного графа - нечеткой когнитивной карты. Вершинам графа соответствуют факторы, определяющие состояние ПБ, а его дугам – причинно-следственные связи между ними (рис. 1).

Компьютерная реализация когнитивной модели пожарной безопасности муниципального образования [8] позволяет проверить устойчивость функционирования сложившейся системы ПБ, а также найти интегральные показатели влияния основных факторов на эту систему и системы на факторы (табл. 3).

Таблица 2

Матрица весов причинно-следственных связей факторов когнитивной модели

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}
C_1	0	0	-0,25	0	0	0	0	0	0	0
C_2	0,5	0	0	0	0	0,5	0,25	0	-0,5	0
C_3	0,3	0	0	0	0	0,4	0,5	0	-0,25	0
C_4	0,3	0	0	0	0,5	0,25	0	0,25	0	0
C_5	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_6	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_7	0,3	0	0	0	0	0,3	0	0	-0,5	0
C_8	0,3	0	0	0	0	0	0,25	0	-0,3	0
C_9	-0,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_{10}	-0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

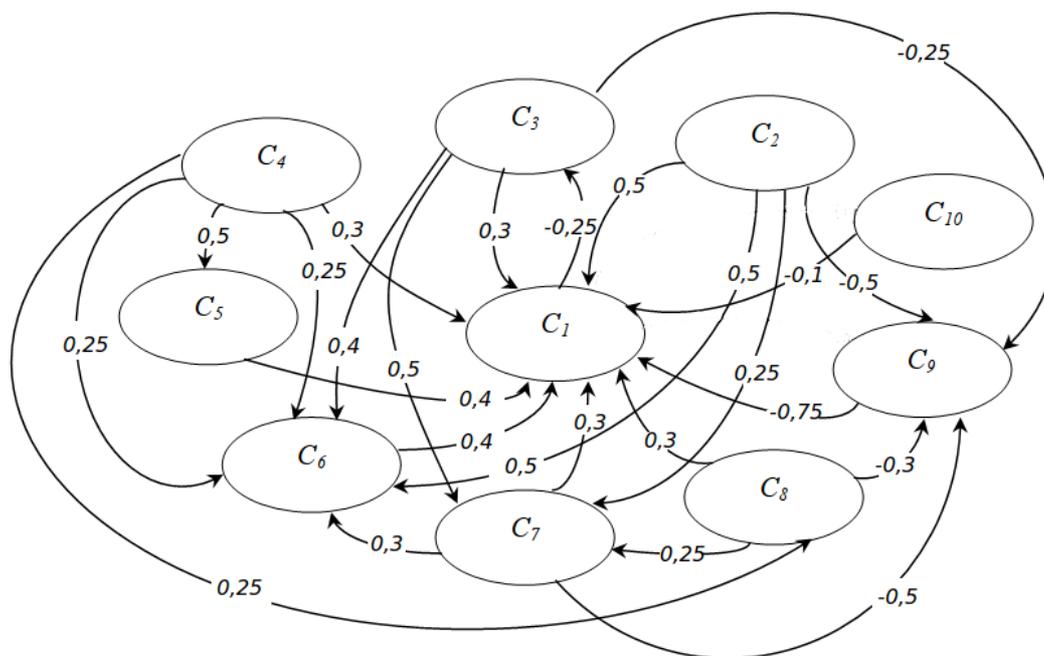


Рис. 1. Нечеткая когнитивная карта пожарной безопасности муниципального образования

Из табл. 3 следует, что наибольшее негативное влияние на состояние ПБ оказывает обстановка с пожарами, а следующими по степени

негативного влияния являются нарушения противопожарного режима в организациях и внешние пожароопасные воздействия. В наибольшей

степени по сравнению с другими концептами защищенность муниципального образования усиливает финансовая и материально-техническая поддержка мер пожарной безопасности, а также муниципальный контроль за соблюдением ее обязательных требований. Сама же система обеспечения ПБ наиболее сильно влияет на создание и поддержание в должном состоянии противопожарной инфраструктуры и снижение нарушений требований пожарной безопасности в организациях на территории муниципального образования. Отрицательное влияние системы ПБ на исполнение органами местного самоуправления своих контрольных функций объясняется тем, что далеко не всегда встречается понимание и содействие со стороны руководителей организаций, должностных лиц, ответственных за состояние ПБ, а также части населения, пренебрегающей мерами пожарной безопасности.

Когнитивная модель пожарной безопасности МО позволяет исследовать изменения ее состояния при заданных относительных изменениях показателей управляющих и стабилизирующих факторов.

Например, при повышении по отдельности на 10 % эффективности управляющих факторов: государственного пожарного надзора, муниципального контроля за соблюдением требований ПБ и финансового и материально-технического обеспечения ПБ наибольшее влияние на улучшение обстановки с пожарами оказывает ГПН (13 %) (рис. 2), затем по степени положительного влияния следует финансирование ПБ (11 %) и муниципальный контроль за соблюдением требований ПБ на территории МО (10 %).

Но наиболее действенным и экономичным является комплексный подход, при котором работа по улучшению пожарной безопасности ведется одновременно по всем направлениям. Так, при повышении финансирования ПБ всего на 5 % и дополнении его таким же 5-процентным повышением результативности всех управляющих факторов, а также профилактической и учебной работы среди населения можно ожидать улучшения обстановки с пожарами на 18 % и снижения количества грубых нарушений требований ПБ в организациях на 8 % (рис. 2.).

Таблица 3

Концепты	Показатели влияния концептов на систему	Показатели влияния системы на концепты
Обстановка с пожарами	-0,05	0,2
ГПН	0,05	0
Муниципальный контроль	0,10	-0,08
Финансирование	0,13	0
Муниципальная пожарная охрана	0,02	0,05
Противопожарная инфраструктура	0,03	0,14
Противопожарная пропаганда	0,01	0,08
Добровольные пожарные дружины	0,03	0,03
Уровень нарушений ППР	-0,04	-0,16
Внешнее пожарное воздействие	-0,02	0

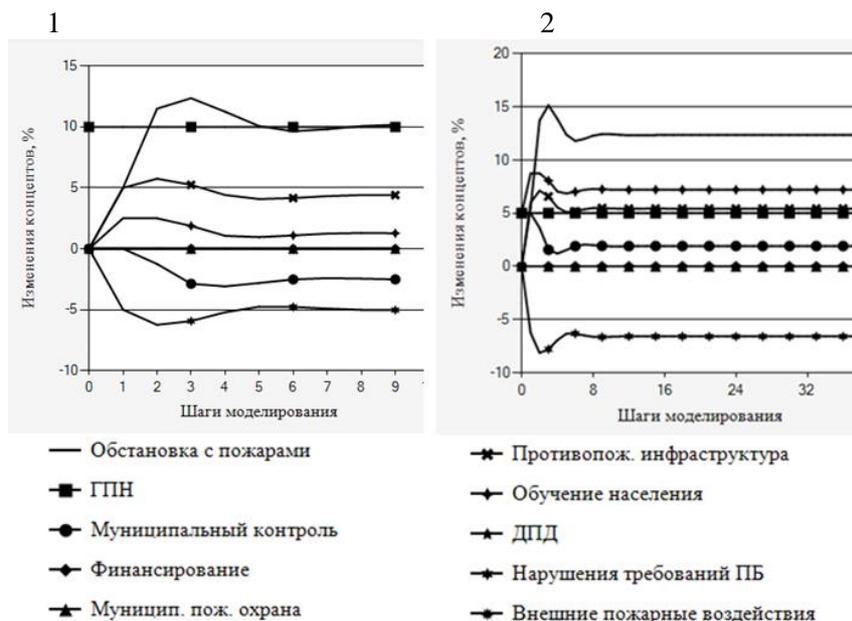


Рис. 2. Результаты моделирования влияния управляющих и стабилизирующих факторов на состояния системы пожарной безопасности (1 – влияние повышения эффективности ГПН, 2 – комплексное влияние управляющих и стабилизирующих факторов)

Существует множество подобных наборов управляющих и стабилизирующих воздействий, в связи с чем возникает задача оптимизации, состоящая в определении такой их комбинации, которая обеспечит наибольший рост пожарной безопасности при заданных или минимальных затратах местного бюджета [9].

Полученные выше количественные оценки носят ориентировочный характер, поскольку они зависят от матрицы смежности (табл. 2), которая выводится путем обработки и упорядочения субъективного и нечеткого экспертного знания.

Для повышения достоверности анализа состояния и возможных вариантов совершенствования системы ПБ муниципальных образований необходима верификация когнитивной модели, т.е. сравнение результатов моделирования с имеющимися опытными данными. По итогам сравнения выполняется корректировка модели, которая включает в себя изменение состава факторов и значений причинно-следственных связей между ними [10].

Вывод. Разработанная когнитивная модель реализации первичных мер пожарной безопасности муниципальных образований позволяет провести анализ взаимодействия основных факторов, определяющих пожарную безопасность, и на этой основе выработать и обосновать управляющие решения, направленные на ее повышение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фомин А.В., Тужиков Е.Н. Экспертный метод оценки деятельности органов местного самоуправления по реализации первичных мер пожарной безопасности // Вестник Санкт-Петербургского университета ППС МЧС России. 2012. №2. С. 27–34.

2. Федеральный закон от 6.10.2003 № 131-ФЗ “Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации”

3. Робертс Ф.С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экономическим задачам. М.: Наука, 1986. 486 с.

4. Максимов В.И., Корноушенко Е.К. Аналитические основы применения когнитивного подхода при решении слабоструктурированных задач. Труды ИПУ РАН, т. 2. М.: ИПУ РАН, 1999. С. 95–109.

5. Статистика пожаров РФ 2016. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://wiki-fire.org>

6. Северин Н.Н. Радоуцкий В.Ю., Шаптала В.Г., Шаптала В.В. Когнитивное моделирование состояния пожарной безопасности учреждений высшего профессионального образования // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №2. С. 27–34.

7. Федеральный закон от 21.12.1994 № 69 – ФЗ “О пожарной безопасности”

8. Силлов В. В. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке. М.: ИНПРО-РЕС, 1995. 228 с.

9. Корноушенко Е.К. Достижение цели в ситуациях при ограниченных ресурсах на управление (когнитивный подход). Труды Международной конференции “Когнитивный анализ и управление развитием ситуации” (CASC 2009). М.: ИПУ РАН, 2009. С. 89–99.

10. Кулинич А.А. Верификация качественных математических моделей // Материалы Второй международной конференции «Системный анализ и информационные технологии». Обнинск, 2007. М.: 2007. Т1. С. 35–38.

Информация об авторах

Шаптала Владимир Григорьевич, доктор технических наук, профессор кафедры защиты в чрезвычайных ситуациях.

E-mail: zchs@intbel.ru.

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

Северин Николай Николаевич, доктор педагогических наук, профессор кафедры защиты в чрезвычайных ситуациях.

E-mail: zchs@intbel.ru.

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

Радоуцкий Владимир Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры защиты в чрезвычайных ситуациях.

E-mail: zchs@intbel.ru.

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

Шаптала Вадим Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры защиты в чрезвычайных ситуациях.

E-mail: zchs@intbel.ru.

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

Северин Сергей Николаевич, курсант.

E-mail: Severinnik2008@intbel.ru.

Санкт-Петербургский университет ППС МЧС России,
Россия, 196105 Санкт-Петербург, Московский проспект, 149.

Олейник Денис Валерьевич, преподаватель кафедры огневой подготовки

E-mail: Losikoff@mail.ru

Белгородский юридический институт МВД России им. И.Д. Путилина.
Адрес: Россия, 308024, Белгород, ул. Горького, 71

Поступила в октябре 2017 г.

© Шаптала В.Г., Северин Н.Н., Радоуцкий В.Ю., Шаптала В.В., Северин С.Н., Олейник Д.В., 2017

Shaptala V.G., Severin N.N., Radautsky V.Yu., Shaptala V.V., Severin S.N.
COGNITIVE APPROACH TO MANAGING PRIMARY FIRE SAFETY MEASURES
AT THE MUNICIPAL LEVEL

A cognitive approach to the analysis and management of the implementation of primary fire safety measures of municipalities is presented. The scenario of fire safety changes as a result of destabilizing and control actions is considered by the impulse simulation method.

Keywords: *municipal formation, primary fire safety measures, cognitive map, impulse simulation.*

Information about the authors

Shaptala Vladimir Grigoryevich, PhD, Professor.

E-mail: zchs@intbel.ru.

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

Severin Nikolay Nikolaevich, PhD, Professor.

E-mail: zchs@intbel.ru.

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

Radautsky Vladimir Yuryevich, PhD, Assistant professor.

E-mail: zchs@intbel.ru.

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

Shaptala Vadim Vladimirovich, PhD, Assistant professor.

E-mail: zchs@intbel.ru.

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

Severin Sergey Nikolaevich, Cadet.

E-mail: Severinnik2008@intbel.ru.

Emercom of Russia St. Petersburg university,
Russia, 196105 St. Petersburg, Moskow av., 149.

Oleinik Denis Valerievich, lecturer.

E-mail: Losikoff@mail.ru

Belgorod Law Institute of the Ministry of the Interior of Russia. I.D. Putilina.
Russia, 308024, Belgorod, ul. Gorky, 71.

Received in October 2017

© Shaptala V.G., Severin N.N., Radautsky V.Yu., Shaptala V.V., Severin S.N., Oleinik D.V., 2017

^{1,2}Таваева А.Ф., аспирант,¹Петунин А.А., д-р техн. наук¹Уральский Федеральный Университет имени первого Президента РФ Б.Н. Ельцина²АО «ПО «Уральский оптико-механический завод» им. Э.С. Яламова»

ВЫЧИСЛЕНИЕ СТОИМОСТИ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ В ЗАДАЧЕ ОПТИМИЗАЦИИ МАРШРУТА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА МАШИНАХ С ЧПУ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ЯЗЫКА УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ*

tavaeva_a_f@bk.ru

В статье рассматривается вопрос вычисления себестоимости лазерной резки в задаче оптимизации маршрута режущего инструмента применительно к машине лазерной резки с числовым программным управлением (ЧПУ) ByStar3015. В статье учитывается, что себестоимость лазерной резки зависит от затрат на электроэнергию, от затрат на расход вспомогательного и лазерного газов, затрат на расходные материалы. Амортизация оборудования, затраты на заработную плату оператора лазерного комплекса и технолога в данном расчете не учитываются. В статье приводится расчет себестоимости лазерной резки для нержавеющей стали (на примере 12X18H10T), алюминия и его сплавов (на примере АгЗМ) и углеродистой стали (на примере Ст10кп). Во второй части статьи рассмотрен пример расчета стоимости лазерной резки конкретной раскройной карты с применением стандартного и специальных способов резки. В конце статьи приведена формула для расчета и рассчитанные значения длины дополнительного реза при переходе от одного контура к другому в случае применения специальных способов резки («цепная» резка и резка «змейкой»).

Ключевые слова: машины термической резки с ЧПУ, машины лазерной резки с ЧПУ, оптимизация маршрута инструмента, себестоимость лазерной резки.

Введение. В последнее время машины термической резки с числовым программным управлением (ЧПУ), к которым относят машины газовой, плазменной и лазерной резки, для обработки листового материала находят все большее применение. При обработке листового материала способом термической резки можно выделить следующие особенности, которые необходимо учитывать при проектировании управляющих программ (УП).

На первом этапе при термической резке необходимо перед процессом резки предусмотреть врезку во избежание наплыва материала и термических деформаций. Врезку осуществляют на достаточном расстоянии от вырезаемого контура в зависимости от марки и толщины материала (рис. 1). При термической резке движение режущего инструмента происходит по эквидистанте контура по причине того, что возникает сгорание и «выметание» материала (рис. 1). Еще одной особенностью термической резки является соблюдение условия предшествования, которое обусловлено особенностями машин портального типа, которые не позволяют после вырезки внешнего контура точно позиционировать режущий инструмент для вырезки внутренних контуров, т.к. при полной вырезке внешнего контура деталь может изменить свое положение на рабочем столе [13]. Это условие накладывает ограничение на порядок вырезки контуров. На рис. 1 сначала

должно быть вырезано овальное отверстие у прямоугольной заготовки, только потом внешний контур. Если на раскройной карте внутри одной детали будет размещена другая, то необходимо сначала вырезать контур внутренней детали, а только потом контур внешней детали. На рис. 1 цифрами обозначена последовательность вырезаемых контуров.

При разработке УП возникает задача оптимизации маршрута перемещения режущего инструмента на машинах термической резки с ЧПУ. В качестве критериев оптимизации можно выделить время резки T_{cut} и стоимость лазерной резки F_{cut} .

В ряде проанализированных работ были проведены исследования по минимизации времени на холостые переходы режущего инструмента, общего времени резки раскройной карты, траектории перемещения инструмента. В работах R.Dewil и др. [1,2] рассматривают вопросы минимизации общего времени резки всех заготовок, при этом учитываются отношения предшествования. К. Castelino и др. [3] рассматривают алгоритмы для минимизации времени на холостые перемещения режущего инструмента. В работе [8] исследуются способы оптимизации времени холостых переходов резака в производстве кожаных изделий. В [4] рассматриваются вопросы минимизации общей траектории переме-

щения инструмента и времени обработки. К. Vijay Anand и А. Ramesh Babu [5] фокусируются на задаче минимизации расхода материалов и вре-

мени резки. В [21] рассматривается задача минимизации длины холостого хода режущего инструмента для станков с ЧПУ.

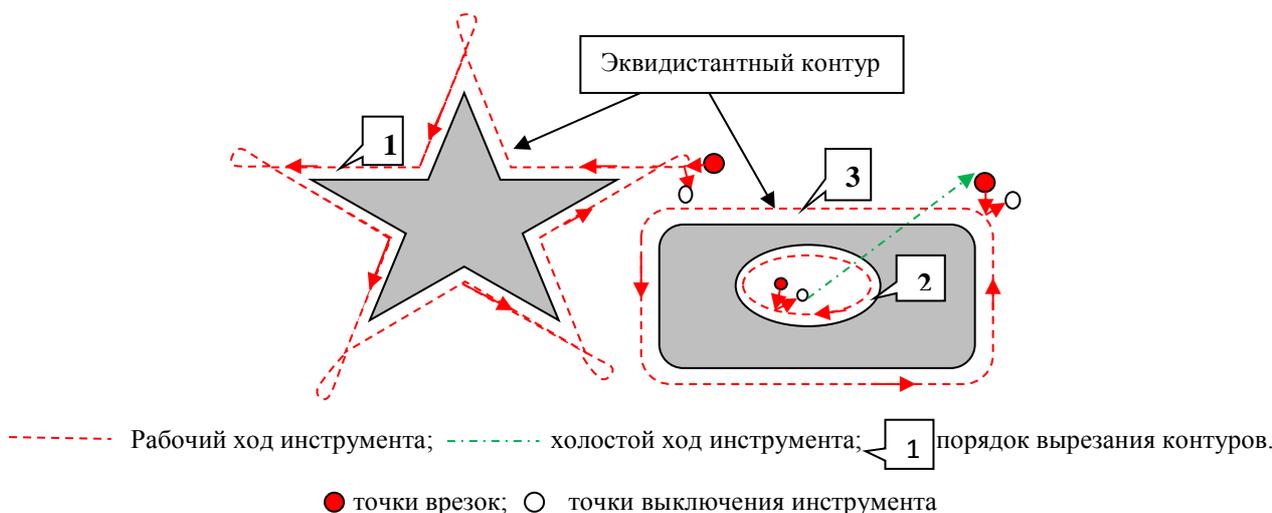


Рис. 1. Пример схемы резки двух заготовок

Мало работ касается вопроса вычисления себестоимости и стоимости термической резки на машинах с ЧПУ. В [6] рассматривается вопрос определения штучно-калькуляционного времени в задаче расчета себестоимости производства изделий с помощью лазерной резки. В [7] рассматривается стоимостной критерий задачи оптимизации плоского раскроя, который позволяет минимизировать стоимость резки. Мильцин А.Н. и др. [9] приводят сравнение стоимости лазерной резки листовых материалов для ст3 толщиной от 3 до 10 мм с применением гидроабразивной, лазерной, плазменной и кислородной резкой. В [10] выполнена оценка стоимости эксплуатации плазменных установок и CO₂ лазеров. При этом к стоимости эксплуатации авторы относят стоимость энергетических затрат, затрат на рабочие газы, стоимости расходных материалов и сервисного обслуживания установок.

Следует отметить недостаточность исследований в области вычисления стоимости термической резки на машинах термической резки с ЧПУ (в частности для лазерной резки). Поэтому тема данной работы, направленная на определение себестоимости лазерной резки, является актуальной.

Основная часть. При разработке УП для машин лазерной резки с ЧПУ возникает задача оптимизации маршрута перемещения режущего инструмента. В качестве критерия оптимизации можно рассмотреть стоимость лазерной резки F_{cut} , которая рассчитывается по следующей формуле [12, 13]:

$$F_{cut} = L_{on} \cdot C_{on} + L_{off} \cdot C_{off} + N_{pt} \cdot C_{pt}, \quad (1)$$

$$C_{on} = t_{on} \cdot P_{on} \cdot C_{э/э} + V_{mex} \cdot C_{mex} \cdot t_{on} + V_{лаз} \cdot C_{лаз} \cdot t_{on} + t_{on} \cdot C_{расх}. \quad (2)$$

где L_{on} – длина реза с включенным режущим инструментом (рабочий ход); L_{off} – длина переходов с выключенным режущим инструментом (холостой ход); N_{pt} – количество точек врезок; C_{on} – стоимость единицы пути с включенным режущим инструментом (стоимость одного погонного метра на рабочем ходе); C_{off} – стоимость единицы пути с выключенным режущим инструментом (стоимость одного погонного метра на холостом ходе); C_{pt} – стоимость одной точки врезок. C_{on} , C_{off} , C_{pt} – величины, которые зависят от типа машины термической резки с ЧПУ, режимов резки, толщины и марки материала.

Расчет себестоимости лазерной резки будет производить по формуле (1). При расчете себестоимости будем учитывать следующие параметры: t_{on} – время на один метр рабочего хода инструмента, час; P_{on} – затраты электроэнергии за один час работы лазерного комплекса на рабочем ходе, кВт/ч; P_{off} – затраты электроэнергии за один час работы лазерного комплекса на холостом ходе, кВт/ч; $C_{э/э}$ – стоимость электроэнергии, руб.; $C_{расх}$ – стоимость расходных материалов, руб.; V_{mex} – расход технологического газа, м³/ч; C_{mex} – стоимость технологического газа (азот или кислород в зависимости от типа обрабатываемого материала), руб.; $V_{лаз}$ – расход лазерного газа, м³/ч; $C_{лаз}$ – стоимость лазерного газа, руб.; t_{pt} – время на одну точку врезок, час; При этом не будем учитывать амортизацию оборудования и зарплату оператора и технолога. Стоимость одного погонного метра реза на рабочем ходе будет рассчитана по следующей формуле:

Стоимость одного метра пути инструмента на холостом ходе будет рассчитана по следующей формуле:

$$C_{off} = t_{off} \cdot P_{off} \cdot C_{э/э}. \quad (3)$$

Стоимость одной точки врезки будет рассчитана по следующей формуле:

$$C_{pt} = t_{pt} \cdot P_{on} \cdot C_{э/э} + V_{mex} \cdot C_{mex} \cdot t_{pt} + V_{лаз} \cdot C_{лаз} \cdot t_{pt} + t_{pt} \cdot C_{расх}. \quad (4)$$

Себестоимость может изменяться в зависимости от фактических сроков службы защитных стекол и сопел, которые зависят от качества используемого газа, опыта персонала, эксплуатирующих лазерный станок. Также себестоимость может изменяться в зависимости от расхода газа, который в свою очередь зависит от диаметра используемых сопел и давления газа. Себестоимость находится в прямой зависимости от цены на электроэнергию, стоимости расходных материалов, стоимости технологических и лазерного газов.

В MS Excel была создана сводная таблица для расчета себестоимости лазерной резки для лазерного комплекса VyStar 3015 для следующих материалов: нержавеющая сталь (на примере 12X18H10T) толщиной от 1 до 10 мм, углеродистая сталь (на примере Ст10кп) толщиной от 1 до 15 мм, алюминий и его сплавы (на примере

$$C_{on} = \frac{L_{on}}{\vartheta_{on}} \cdot P_{on} \cdot C_{э/э} + V_{mex} \cdot C_{mex} \cdot t_{on} + V_{лаз} \cdot C_{лаз} \cdot t_{on} + t_{on} \cdot C_{расх}. \quad (5)$$

В формуле (5) при расчете стоимости одного погонного метра лазерного реза $L_{on}=1$ м.

В табл. 1 приведены значения стоимости одного погонного метра лазерного реза (при этом стоимость рассчитывалась при максимально возможной скорости резки и при минимальной), одного погонного метра перемещения режущего инструмента на холостом ходе и значения стоимости одной точки врезки для лазерного комплекса VyStar 3015.

Рассмотрим расчет себестоимости лазерной резки на примере раскройной карты (рис.2) для следующих материалов: Амг3М толщиной 1 мм, Ст10кп толщиной 10 мм и 12X18H10T толщиной 3 мм. Раскройные карты были сформированы для фигурных заготовок, общим количеством 63 шт., при этом количество контуров равно 93. С помощью САМ модуля в САПР «СИРИУС» был сформирован маршрут перемещения режущего инструмента с применением стандартного способа (т.е. когда количество точек врезок равно количеству вырезаемых контуров) (рис. 2). Также был сформирован маршрут перемещения инструмента для раскройной карты с применением специальных способов резки (рис. 3) [12, 15-20]. В рассматриваемом примере были применены резка «змейкой», совмещенный рез и «цепная» резка [15,16,19,20]. В САПР «СИРИУС» используя разработанные макросы для специальных

Амг3М) толщиной от 1 до 5 мм. Используя условия (2)–(4), был произведен расчет стоимости одного погонного метра реза на рабочем ходе, одного погонного метра перемещения резака на холостом ходе и стоимости одной точки врезки. При этом на стоимость C_{on} влияет скорость перемещения режущего инструмента на рабочем ходе ϑ_{on} . В формуле (2) принято, что скорость перемещения режущего инструмента на рабочем ходе $\vartheta_{on} = \text{const}$. Но ранее проведенные работы [14] показывают, что скорость перемещения режущего инструмента на рабочем ходе зависит от сложности обрабатываемых контуров. В [14] были приведены формулы для вычисления рабочей скорости инструмента ϑ_{on} в зависимости от количества кадров УП. Стоимость погонного метра лазерного реза C_{on} в зависимости от сложности контура обрабатываемой детали можно вычислить по следующей формуле:

техник резки [22], был построен маршрут перемещения режущего инструмента.

Для случая, представленного на рис.2, количество точек врезок $N_{pt} = 92$, длина реза с включенным режущим инструментом $L_{on} = 92.53$ м и длина переходов с выключенным режущим инструментом $L_{off} = 32.22$ м. Расчет себестоимости лазерной резки был произведен с помощью разработанного макроса для MS Excel. Достаточно просто выбрать материал, толщину и ввести значения N_{pt} , L_{on} и L_{off} (рис.4). Также для САПР «СИРИУС» была дополнена база данных коэффициентов в программе для расчета стоимости резки. Для того чтобы рассчитать себестоимость резки необходимо выбрать: тип резки, материал, его толщину и ввести значения N_{pt} , L_{on} и L_{off} , используя программу для расчета стоимости резки (рис. 5). Таким образом, себестоимость изготовления рассматриваемых деталей с использованием стандартного способа резки при максимально возможной скорости резки для Амг3М $\Delta=1$ мм составит $F_{cut}=1165,9$ руб, при минимальной скорости резки $F_{cut}=1750,4$ руб. Для Ст10кп $\Delta=10$ мм при максимальной скорости резки себестоимость резки составит $F_{cut}= 2358,5$ руб, при минимальной скорости резки $F_{cut}=3144,7$ руб. Для 12X18H10T $\Delta=3$ мм себестоимость резки составит $F_{cut}= 4618,7$ руб, при минимальной скорости резки $F_{cut}=7114,6$ руб.

Таблица 1

Значения параметров себестоимости лазерной резки для комплекса ByStar 3015

Материал и толщина материала (Δ)	Стоимость одного погонного метра лазерного реза при максимальной скорости резки, руб	Стоимость одного погонного метра лазерного реза при минимальной скорости резки, руб	Стоимость одного погонного метра перемещения режущего инструмента на холостом ходе, руб	Стоимость одной точки врезки, руб
Ст10кп, $\Delta=1$ мм	3,5	4,9	0,06	0,5
Ст10кп, $\Delta=1,2$ мм	4,3	6,2	0,06	0,6
Ст10кп, $\Delta=1,5$ мм	4,3	6,2	0,06	0,7
Ст10кп, $\Delta=2$ мм	5,3	7,6	0,06	0,8
Ст10кп, $\Delta=2,5$ мм	6,3	9,1	0,06	0,9
Ст10кп, $\Delta=3$ мм	7,8	11,3	0,06	0,9
Ст10кп, $\Delta=3,5$ мм	8,7	12,4	0,06	1,0
Ст10кп, $\Delta=3,9$ мм	8,7	12,4	0,06	1,1
Ст10кп, $\Delta=4$ мм	9,7	13,7	0,06	1,3
Ст10кп, $\Delta=5$ мм	12,4	18,1	0,06	1,8
Ст10кп, $\Delta=8$ мм	18,1	26,5	0,06	2,3
Ст10кп, $\Delta=10$ мм	22,1	30,6	0,06	3,4
Ст10кп, $\Delta=15$ мм	36,2	49,7	0,06	4,0
Амг3М, $\Delta=1$ мм	9,5	15,8	0,06	3,1
Амг3М, $\Delta=2$ мм	15,3	25,5	0,06	4,7
Амг3М, $\Delta=3$ мм	51,2	83,5	0,06	12,7
Амг3М, $\Delta=5$ мм	182,7	310,6	0,06	30,5
12X18H10T, $\Delta=1$ мм	13,3	22,1	0,06	2,2
12X18H10T, $\Delta=1,5$ мм	16,6	27,8	0,06	3,3
12X18H10T, $\Delta=2$ мм	22,5	37,6	0,06	4,0
12X18H10T, $\Delta=2,5$ мм	34,6	57,6	0,06	6,1
12X18H10T, $\Delta=3$ мм	42,1	69,1	0,06	7,8
12X18H10T, $\Delta=4$ мм	81,0	133,3	0,06	12,1
12X18H10T, $\Delta=5$ мм	114,3	184,6	0,06	17,6
12X18H10T, $\Delta=6$ мм	230,6	368,9	0,06	30,3
12X18H10T, $\Delta=8$ мм	456,0	820,8	0,06	40,5
12X18H10T, $\Delta=10$ мм	1009,4	2018,8	0,06	70,0

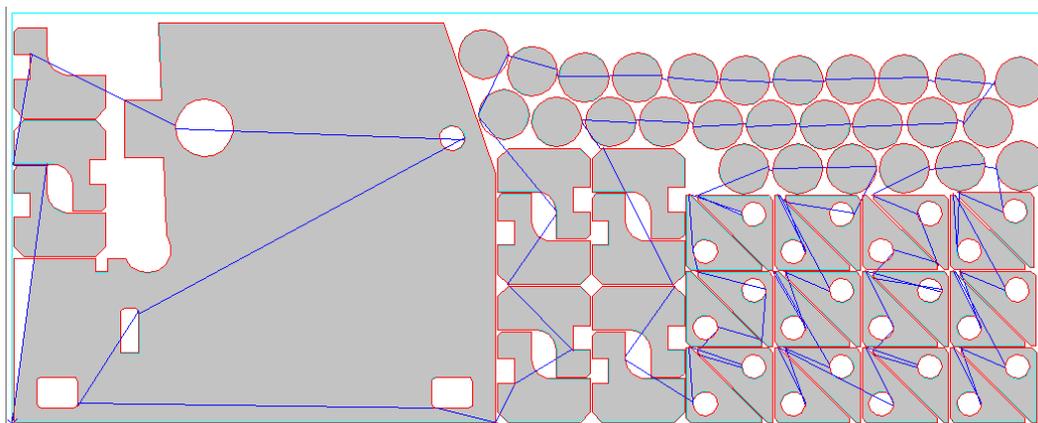


Рис. 2. Маршрут перемещения режущего инструмента с использованием стандартного способа резки

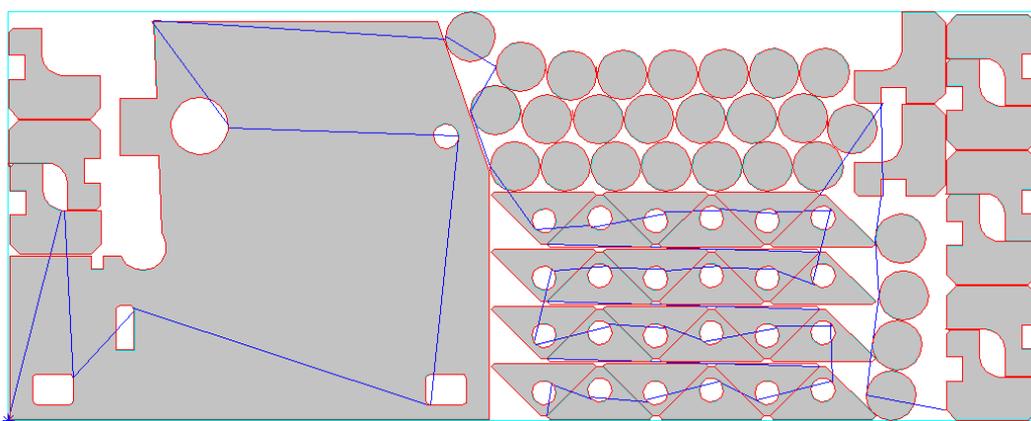


Рис. 3. Маршрут перемещения режущего инструмента с использованием специальных способов резки

Для случая, представленного на рис.3, количество точек врезок $N_{pt} = 58$, длина реза с включенным режущим инструментом $L_{on} = 87,12$ м и длина переходов с выключенным режущим инструментом $L_{off} = 21,83$ м. Себестоимость изготовления рассматриваемых деталей с использованием стандартного способа резки при максимально возможной скорости резки для Амг3М $\Delta=1$ мм составит $F_{cut}=1008,7$ руб, при минимальной скорости резки $F_{cut}=1557,6$ руб. Для Ст10кп $\Delta=10$ мм при максимальной скорости резки себестоимость резки составит $F_{cut} = 2123,9$ руб, при минимальной скорости резки $F_{cut}=2864,4$ руб. Для 12X18H10T $\Delta=3$ мм при максимальной скорости резки себестоимость резки составит $F_{cut}=4121,5$ руб, при минимальной скорости резки $F_{cut}=6473,7$ руб.

Определим себестоимость лазерной резки в зависимости от сложности обрабатываемых деталей. В рассматриваемом случае количество кадров УП $n=469$. Используя формулы, приведенные в [14], было рассчитано значение $\vartheta_{от}$. Формулы получены только для материалов Ст10кп толщиной от 1 до 10 мм и для Амг3М толщиной от 1 до 5 мм, поэтому расчет себестоимости произведем только для этих материалов. Себестоимость изготовления деталей с использованием стандартного способа резки Амг3М, $\Delta=1$ мм составит F_{cut}

$= 2863,2$ руб. Для Ст10кп $\Delta=10$ мм с использованием стандартного способа резки себестоимость составит $F_{cut} = 4455,6$ руб. Себестоимость изготовления деталей с использованием специальных способов резки для Амг3М $\Delta=1$ мм составит $F_{cut} = 2605,9$ руб. Для Ст10кп $\Delta=10$ мм с использованием специальных способов резки себестоимость составит $F_{cut} = 4097,4$ руб.

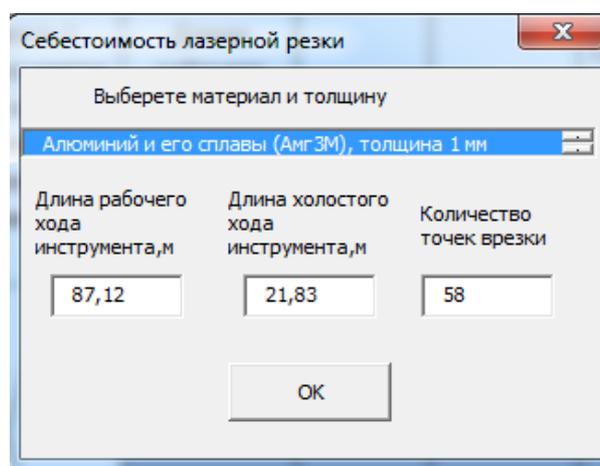


Рис. 4. Окно макроса в MS Excel на примере расчета себестоимости лазерной резки для Амг3М толщиной 1 мм

Как видно из полученных результатов, применение специальных методов резки приводит к

сокращению количества точек врезок, длин перемещения режущего инструмента на рабочем и холостом ходе. В свою очередь это приводит к снижению себестоимости лазерной резки. Для рассматриваемого примера себестоимость в среднем сократилась на 12–13 %. Также можно заметить, что в рассматриваемом примере применение формул для учета сложности обрабатываемых деталей увеличивает себестоимость изготовления деталей в 1,3–2,5 раза. В [14] показано, что в зависимости от сложности обрабатываемых контуров, значение рабочей скорости, вычисленное по предложенным формулам, может превышать значение скорости, установленное при проектировании УП. В свою очередь, это может привести к снижению времени резки, а, следовательно, и к снижению себестоимости лазерной резки.

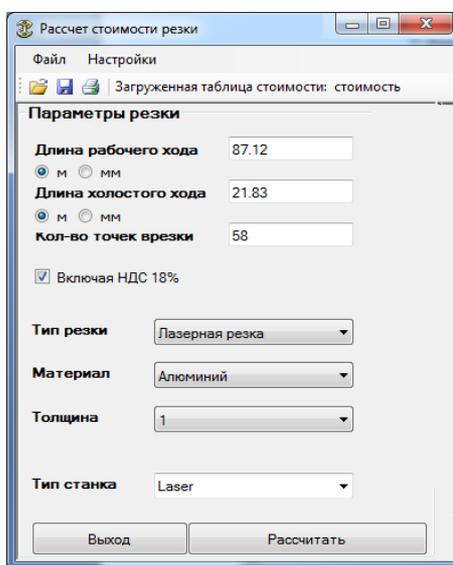


Рис. 5. Окно программы для расчета стоимости резки в САПР «СИРИУС»

В задаче оптимизации маршрута перемещения режущего инструмента одной из важных характеристик является количество точек врезок. В некоторых случаях стоимость одной точки врезки может достигать до 20–30 % от стоимости одного погонного метра рабочего реза в зависимости от типа материала и его толщины [7, 12]. Применение специальных способов резки позволяет сокращать количество точек врезок, но за счет этого в некоторых случаях (например, в случае применения «цепной» резки или резки «змейкой») увеличивается длина перемещения инструмента на рабочем ходе. Поэтому применение специальных способов резки целесообразно только в том случае, если:

$$L_{доп} \leq \frac{C_{pt}}{C_{on}}. \quad (6)$$

Здесь $L_{доп}$ (в метрах) – длина дополнительного реза при переходе от одного контура к другому без выключения режущего инструмента для случая «цепной» резки и резки «змейкой». В табл. 2 приведены вычисленные значения $L_{доп}$ согласно (6) для лазерного комплекса ByStar3015.

Выводы. На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Предложены формулы для вычисления параметров себестоимости лазерной резки (2)–(4). На основе предложенных формул были получены значения C_{on} , C_{off} , C_{pt} для лазерного комплекса ByStar3015 (значения приведены в табл. 1). При расчете себестоимости учитывались стоимость расходных материалов, стоимость технологического и лазерного газов и стоимость электроэнергии. При этом не учитывались амортизация оборудования, зарплата оператора и технолога;

2. Была предложена формула (5) для расчета стоимости одного погонного метра пути инструмента с включенным режущим инструментом в зависимости от сложности обрабатываемых контуров;

3. Был разработан макрос в MS Excel для расчета себестоимости лазерной резки. Для САПР «СИРИУС» была дополнена база данных коэффициентов в программе для расчета стоимости резки;

4. Были рассмотрены технологические примеры раскроя листового материала для Амг3М толщиной 1 мм, Ст10кп толщиной 10 мм и 12Х18Н10Т толщиной 3 мм. Были сформированы раскройные карты и для них построен маршрут перемещения инструмента, используя стандартный способ резки и специальные способы резки (резка «змейкой», «цепная» резка и совмещенный рез). Приведенный пример показывает, что применение специальных способов резки позволило сократить себестоимость лазерной резки на 12–13 %. Для рассмотренных примеров был произведен расчет себестоимости с учетом сложности обрабатываемых контуров. Результаты показывают, что применение формул для учета сложности обрабатываемых деталей увеличивает себестоимость изготовления деталей в 1,3–2,5 раза. Но согласно [14] в зависимости от сложности контуров (от количества кадров) значение рабочей скорости, вычисленное по формуле, может быть ниже значения скорости, которое устанавливают при проектировании УП, что приведет к снижению времени резки и, следовательно, к снижению себестоимости лазерной резки.

5. Предложена формула расчета длины дополнительно реза $L_{доп}$ при переходе от одного контура к другому в случае применения специальных способов резки («цепная» резка и резка

«змейкой»). В статье приведена табл.2 с рассчитанными значениями $L_{доп}$ для лазерного комплекса ByStar 3015.

Полученные результаты для расчета себестоимости лазерной резки были реализованы на АО «ПО «Уральский оптико-механический завод» имени Э.С. Яламова» (г. Екатеринбург).

Таблица 2

Значения длины дополнительного реза для специальных способов резки для лазерного комплекса ByStar 3015

Материал	Толщина материала, мм	$L_{доп}$ (при максимальной скорости резки), см	$L_{доп}$ (при минимальной скорости резки), см
Ст10кп	1	13,0	9,2
Ст10кп	1,2	13,5	9,4
Ст10кп	1,5	15,6	10,9
Ст10кп	2	14,5	10,0
Ст10кп	2,5	14,3	9,9
Ст10кп	3	12,1	8,3
Ст10кп	3,5	11,5	8,0
Ст10кп	3,9	13,0	9,1
Ст10кп	4	13,5	9,5
Ст10кп	5	14,6	10,0
Ст10кп	8	12,5	8,5
Ст10кп	10	15,4	11,1
Ст10кп	15	11,0	8,0
АмГ3М	1	32,9	19,8
АмГ3М	2	30,6	18,4
АмГ3М	3	24,9	15,3
АмГ3М	5	16,7	9,8
12Х18Н10Т	1	16,8	10,1
12Х18Н10Т	1,5	20,1	12,0
12Х18Н10Т	2	17,8	10,6
12Х18Н10Т	2,5	17,7	10,6
12Х18Н10Т	3	18,5	11,3
12Х18Н10Т	4	15,0	9,1
12Х18Н10Т	5	15,4	9,5
12Х18Н10Т	6	13,1	8,2
12Х18Н10Т	8	8,9	4,9
12Х18Н10Т	10	6,9	3,5

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Dewil R., Vansteenwegen P., Cattrysse D. A review of cutting path algorithms for laser cutters // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2016. Vol.87. Issue 5-8. P. 1865–1884.
2. Dewil R., Vansteenwegen P., Cattrysse D. Construction heuristics for generating tool paths for laser cutters // International Journal of Production Research. 2014. Vol.52. Issue 20. P. 5965–5984.
3. Castelino K., D'Souza R., Wright P. Toolpath optimization for minimizing airtime during machining // Journal of Manufacturing Systems. 2003. Vol.22. Issue 3. P. 173–180.
4. Xie S., Gan J., Gary Wang G. Optimal process planning for compound laser cutting and punch using Genetic Algorithms // Journal of Mechatronics and Manufacturing Systems. 2009. Vol.2. P. 20-37.

5. Vijay Anand K., Ramesh Babu A. Heuristic and genetic approach for nesting of two-dimensional rectangular shaped parts with common cutting edge concept for laser cutting and profile blanking process // Computers and Industrial Engineering. 2015. Vol. 80. P. 111–124.

6. Конников Е.А., Куклина А.М. Специфика определения штучно-калькуляционного времени при расчете себестоимости производства изделий с применением технологии лазерной резки// Экономика и управление народным хозяйством. 2016. №2(30). С.41–49.

7. Суперфин А.Р. О стоимостном критерии комплексной оптимизации задачи плоского раскроя-упаковки // Успехи современной науки. 2015. №5. С. 102–106.

8. Yang W., Zhao Y., Jie J., Wang W. An effective algorithm for tool path airtime. Optimization during leather cutting // *Advanced Material Research*. 2010. P. 373–377.
9. Мильцин А.Н., Шабанов М.Л., Лысыч М.Н., Романов В.В. Современные методы резания листовых материалов // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. 2015. Т.3. №2-1(13-1). С. 83–87.
10. Шапарев А.В., Савина А.И. Технологическое и экономическое сравнение резки материалов плазмой и CO₂ – лазерами // *Наука и современность*. 2016. №3 (9). С. 181–189.
11. Dewil R., Vansteenwegen P., Cattrysse D. Sheet metal laser cutting tool path generation: Dealing with overlooked problem aspects / *Sheet Metal: proceedings of 16th international conference* // (March 16-18, 2015, Germany), *Key Engineering Materials*, 2015. Vol.639. Pp. 517–524.
12. Верхотуров М.А., Тарасенко П.Ю. Математическое обеспечение задачи оптимизации пути режущего инструмента при плоском фигурном раскрое на основе цепной резки // *Вестник УГАТУ. Управление, ВТиИ*. 2008. Т.10. №2 (27). С. 123–130.
13. Петунин А.А. Две задачи маршрутизации режущего инструмента для машин фигурной листовой резки с ЧПУ / *Intelligent Technologies for Information Processing and Management: proceedings of 2nd International conference* // Ufa State Aviation Technical University. (November 10-12, 2014, Ufa, Russia). 2014. С. 215–220.
14. Таваева А.Ф., Петунин А.А. Некоторые вопросы оптимизации маршрута инструмента для машин фигурной листовой резки с числовым программным управлением // *Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова*. 2017. №9. С. 147–153.
15. Таваева А.Ф., Петунин А.А. К вопросу о разработке алгоритмов маршрутизации инструмента лазерных машин листовой резки с числовым программным управлением при использовании «цепной» техники резки / *Информационные технологии и системы: Труды 3^й международной конференции* // Челябинский Государственный Университет. (26 февраля-2 марта 2014 г., Банное, Россия), Челябинск: Издательство ЧелГУ, 2014. С. 48–51.
16. Tavaeva A., Kurennov D. Cost minimizing of cutting process for CNC thermal and water-jet cutting machines // *Application of Mathematics in Engineering and Economics: proceedings of 41st international conference* // AIP Publishing. (June 8-13, 2015, Sozopol, Bulgaria), 2015. Pp. 020003-1 – 020003-7.
17. Zhang Q, Li S.-R. Efficient computation of smooth minimum time trajectory for CNC machining // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2013, Vol. 68. №. 1. Pp. 683–692.
18. Dewil R., Vansteenwegen P., Cattrysse D., Laguna M., Vossen T. An improvement heuristic framework for the laser cutting tool path problem // *International Journal of Production Research*. 2015. Vol. 53. Pp 1761–1776.
19. Петунин А.А., Кротов В.И. О классификации техник фигурной листовой резки для машин с ЧПУ и одной задаче маршрутизации инструмента / *Материаловедение. Машиностроение. Энергетика: Сборник научных трудов* // Екатеринбург: Издательство Уральского Университета, 2015, С. 466–475.
20. Таваева А.Ф. Определение условий эффективного применения специальных методов резки при разработке автоматических методов оптимизации маршрута инструмента / *Intelligent Technologies for Information Processing and Management: Proc. of the 2nd Int. Conf.* // Уфа: Издательство УГАТУ, 2014. С. 225–231.
21. Мурзакаев Р.Т., Шилов В.С., Бурьлов А.В. Применение метаэвристических алгоритмов для минимизации длины холостого хода режущего инструмента // *Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления*. 2015. №14. С. 123–136.
22. Tavaeva A.F., Petunin A.A., Krotov V.I. About effectiveness of special cutting techniques application during development of automatic methods of tool path optimization applied to CNC thermal cutting machines / *Computer Science and Information Technologies: Proc. of the 19th Int. Workshop* // Ufa State Aviation Technical University (October 8-10, 2017, Germany, Baden-Baden), 2017. Pp. 221–226.

Информация об авторах

Таваева Анастасия Фидагилевна, аспирант кафедры информационных технологий и автоматизации проектирования.

E-mail: tavaeva_a_f@bk.ru

Уральский Федеральный Университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина.

Россия, 620002, Екатеринбург, ул. Мира, д. 19.

АО «ПО «Уральский оптико-механический завод» имени Э.С. Яламова».

Россия, 620100, Екатеринбург, ул. Восточная, д.33б.

Петунин Александр Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры информационных технологий и автоматизации проектирования.

E-mail: aapetunin@gmail.com

Уральский Федеральный Университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина.

Россия, 620002, Екатеринбург, ул. Мира, д. 19.

Поступила в октябре 2017 г.

© Таваева А.Ф., Петунин А.А., 2017

Tavaeva A.F., Petunin A.A.

THE CALCULATION OF LASER CUTTING COST IN TOOL PATH OPTIMIZATION PROBLEM FOR CNC MACHINES

The problem of laser cutting cost calculation is considered in issue of tool path optimization applied to CNC laser cutting machine ByStar3015. The laser cutting cost depends on energy costs, consumption costs of auxiliary and laser gas, costs of consumables. The equipment depreciation, costs for wages of a laser complex operator and a technologist is not taken into account. In this paper the calculation of laser cutting cost is carried out for stainless steel, aluminum and its alloys, carbon steel. In the second part of the paper the example of laser cutting cost calculation for real parts nesting using standard and special cutting techniques is considered. The formula and calculating values of additional cut calculation is given in the case of special cutting techniques using («chained» cutting and «shake» cutting).

Keywords: CNC thermal cutting machines, CNC laser cutting machines, cutting tool optimization, laser cutting cost.

Information about the authors

Tavaeva Anastasia Fidagilevna, Research assistant

E-mail: tavaeva_a_f@bk.ru

Ural State University named after first President of Russia B.N. Yeltsin V.G. Shukhov.

Russia, 620002, Ekaterinburg, st. Mira, 19.

Ural Optical and Mechanical Plant

Russia, 620100, Ekaterinburg, st. Vostochnaya, 33b

Petunin Aleksandr Aleksandrovich, PhD, Professor

E-mail: aapetunin@gmail.com

Ural State University named after first President of Russia B.N. Yeltsin V.G. Shukhov.

Russia, 620002, Ekaterinburg, st. Mira, 19.

Received in October 2017

© Tavaeva A.F., Petunin A.A., 2017

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

DOI: 10.12737/article_5a27cb90aa2cd5.76717362

Иванов Н.А., канд. техн. наук, доц.,
Сафиадин А. М-А., аспирант

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ РЕСПУБЛИКИ ЙЕМЕН И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

IvanovNA@mgsu.ru

Строительная отрасль играет важную роль в экономике Йемена, так как она создает предпосылки для социально-экономического развития страны с целью обеспечения её привлекательности для инвесторов, развития инфраструктуры и обеспечения занятости населения. На современном этапе развития экономики Йемена одной из актуальных и важных стратегических задач является модернизация строительной отрасли и его переход на инновационный путь развития. В статье представлены результаты проведенного авторами исследования, отражающие в первую очередь основные препятствия для потенциального развития строительной отрасли Йемена. Установлено, что проблемы, свойственные строительной отрасли Йеменской республики, довольно типичны для большинства развивающихся стран. Страна очень нуждается в новых подходах к вопросам улучшения жилищных условий, совершенствованию строительных технологий, к практике управления и вопросам законодательной реформы. В качестве одного из перспективных направлений решения, указанных выше проблем авторы рассматривают применение кластерного подхода для планирования развития строительной отрасли Йемена. Рассматривают источники повышения эффективности деятельности предприятий строительной отрасли Йемена при их вхождении в строительный кластер.

Ключевые слова: кластер, строительство, строительный комплекс, инновации, конкурентоспособность, эффективность.

Введение. Строительная отрасль Йемена, как и во многих развивающихся странах, проходит очень сложный и трудный период, сталкиваясь со многими ограничениями и препятствиями на пути развития [1]. Эти препятствия влияют на эффективность строительного процесса и создают сложные условия для развития строительства в стране. История показала, что адаптироваться к современным формам строительства, которые возникли в течение последних десятилетий, для местных строительных предприятий оказалось весьма сложно [2]. Помехами оказались недостатки финансирования, недостаточное производство местных строительных материалов, недостатки в проектировании и управлении проектами, малый потенциал местных строительных фирм [3]. Строительная отрасль Йемена испытывает характерные для многих развивающихся стран большие трудности, которые требуют серьезных усилий для улучшения строительных технологий, методов организации и управления строительством, изменений в законодательстве [4–5].

Ни для кого не секрет, что результат принимаемых решений во многом зависит от того, насколько точными являются сведения о текущем состоянии дел в исследуемой области. Од-

ним из эффективных способов собрать актуальную информацию по проблеме считается проведение опросов экспертов в соответствующей области. В данной статье представлены результаты проведенного нами исследования, отражающие в первую очередь основные препятствия для потенциального развития строительной отрасли Йемена.

Методика. Данные для исследования были собраны путем опроса специалистов строительной отрасли и других заинтересованных сторон, работающих в крупнейших городах страны: Сана, Аден и Таиз. Цель опроса состояла в изучении мнений специалистов строительной отрасли и заинтересованных сторон о текущем состоянии отрасли и о проблемах, препятствующих развитию строительной отрасли страны. Анкета включала вопросы, касающиеся основных препятствий на пути развития строительной отрасли в целом и производства местных строительных материалов в частности.

Несмотря на то, что опрос проводился в основном в столице Сана, где сосредоточены основные крупные участники строительного бизнеса, было решено включить в опрос респондентов, работающих в столице, но приехавших из разных частей страны. Это дает право предпола-

гать, что результаты опроса отражают особенности не только столичного региона, но и других регионов Йемена. Анкеты рассылались участникам по электронной почте, а также выдавались непосредственно представителям строительных организаций. В общей сложности 59 ответов было получено, 5 из которых были отброшены,

как не полностью заполненные. Таким образом, последующему анализу были подвергнуты ответы 54-х участников.

На рисунке 1 представлена укрупненная схема проведения опроса по исследованию строительной отрасли Йемена.



Рис. 1. Укрупненная схема проведения опроса по исследованию строительной отрасли Йемена

Структура анкеты. Анкета состоит из трёх частей. Первая часть – это общие сведения об участнике опроса: имя участника, возраст, образование, сфера деятельности, место работы, должность, стаж работы т.д. Вторая часть содержит вопросы, касающиеся основных проблем в строительной отрасли страны, факторов, влияющих на производство стройматериалов, причин высокой стоимости жилья и, наконец, причин высоких потерь в строительстве. Третья часть анкеты направлена на сбор данных о видах жилых помещений/зданий, возводимых в Йемене, и об их соответствии интересам населения страны. По каждому вопросу анкеты предлагался набор ответов, которые участник опроса должен был про ранжировать в соответствии с его представлениями о степени влияния того или иного варианта ответа на деятельность строительной организации и/или на отрасль в целом. Эти ответы описаны в последующих частях данной работы.

Обработка и анализ ответов участников анкетирования. Отвечающих просили указать их мнение о факторах для каждого пункта анкеты. Распределение ответов использовалось для оценки значимости этих факторов. Анализ данных участников опроса показал, что в анкетировании принял участие широкий круг заинтересованных сторон, которые работают или принимали участие в строительных работах, включая строительство жилья, а также опытных инженеров, работающих в частном порядке в малых и средних консалтинговых и подрядных строительных фирмах или участвующих в реализации государственных проектов. Результаты опроса

показывают, что основными препятствиями для развития строительной отрасли Йемена являются организационная и административная слабость, коррупция, отсутствие или неразвитость инфраструктуры, а также неэффективное законодательство. Кроме того, было выявлено, что наиболее вескими причинами, ведущими к высоким затратам при строительстве объектов, являются использование импортных строительных материалов и оборудования, инфляция, нестабильность экономики и высокий уровень строительных отходов. Ниже приводятся более подробные результаты обработки результатов анкетирования.

Барьеры, препятствующие развитию строительной отрасли. При ответе на первый вопрос участникам было предложено оценить значимость факторов, которые, по их мнению, являются основными препятствиями на пути развития строительной отрасли в Йемене. Среди значимых препятствий (с индексом более 60%) участники опроса указали 11 факторов. Результаты обработки ответов представлены в таблице 1 и на рисунке 2.

Как видно, на первое место большинство опрошенных поставили административные и бюрократические проблемы (включая коррупцию). По мнению большинства участников опроса, чрезмерная бюрократия является причиной задержек строительных проекта на всех его этапах. Она характеризуется обилием законов и правил, чрезмерной документацией, слишком большим количеством разрешений и дублированием полномочий государственных органов.

Вторым наиболее важным барьером была названа неразвитая инфраструктура (сложная география, отсутствия асфальтированных дорог в

некоторых населенных пунктах, нехватка или отсутствие электричества и водоснабжения).

Таблица 1

Основные барьеры на пути развития строительства в Йемене

№	Описание	%
1	Административные проблемы и бюрократия (включая коррупцию)	86 %
2	Состояние инфраструктуры	83 %
3	Недостаточное предложение доступных земельных участков под строительство	82 %
4	Сложные правила и неэффективное законодательство	82 %
5	Недостаточно развитая финансовая система	82 %
6	Отсутствие научно-исследовательских и экспериментальных проектов	81 %
7	Отсутствие стандартизации местных материалов	79 %
8	Наличие спецификации	66 %
9	Наличие квалифицированной рабочей силы	65 %
10	Плохое использование местных строительных материалов и технологий	63 %
11	Недостаток в стройматериалах	60 %

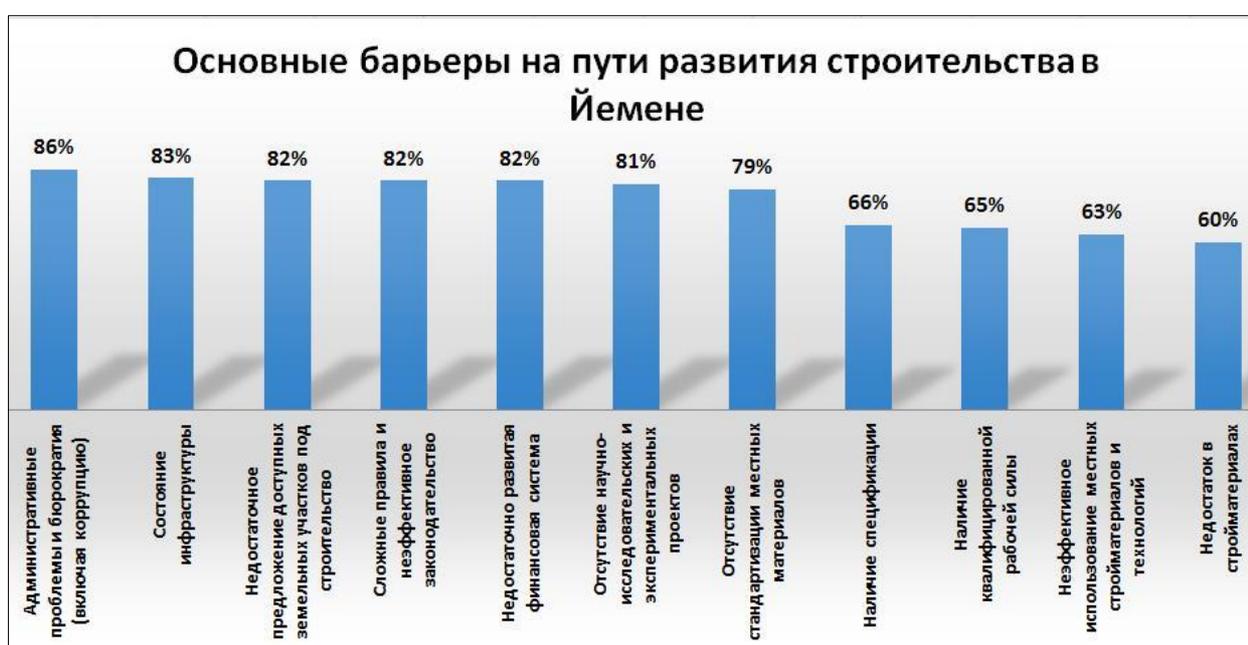


Рис. 2. Барьеры на пути развития строительства в Йемене

К неразвитой инфраструктуре участники опроса отнесли так же плохие подъездные пути к объектам строительства и связанные с ними повреждения транспортных средств, задержки и трудности доставки ресурсов. Сюда же респонденты отнесли завышенные цены на земельные участки в городах и увеличение нагрузки на существующую инфраструктуру в результате строительства новых жилых объектов.

Третью позицию в опросе с показателем относительной высокой значимости 82 % разделили сразу три фактора: недостаточное предложение доступных земельных участков под строительство, неэффективное строительное законодательство и недостаточно развитая система финансирования строительной отрасли. Участники опроса отметили, что заказчики, инвесторы и подрядчики испытывают большой недостаток

финансовой поддержки со стороны банковских учреждений или встречают очень сложные условия при получении кредита. К значимым факторам по результатам анкетирования можно отнести и серьезные проблемы с отсутствием научно-исследовательских и экспериментальных проектов в строительстве.

Барьеры для развития промышленности строительных материалов. Этот раздел исследования посвящен выявлению проблем, препятствующих достижению хорошего результата в производстве местных строительных материалов. Факторы, предложенные в качестве барьеров в этой части анкеты, были тщательно выбраны на основании анализа опыта работы специалистов-практиков, широкого обзора научной и специализированной литературы и междуна-

родных докладов правительственных и неправительственных организаций в развивающихся странах. Результат обработки ответов участников опроса представлены на рисунке 3. Как видно из рисунка, наиболее важным фактором являются административные проблемы, второе место занимает фактор сложности местных условий и неразвитости инфраструктуры (отсутствие подъездных путей, проблемы с подачей электричества, любые другие услуги, необходимые для со-

здания экономической активности). Недостаточные объем и уровень научных исследований в сфере строительства и, как следствие, нехватка информации были на третьем месте. Среди барьеров были отмечены проблемы в финансировании, трудности обеспечения предприятий оборудованием и квалифицированной рабочей силой, проблемы с получением земельных участков под размещение завода или фабрики, проблемы рынка, трудности в получении сырья.

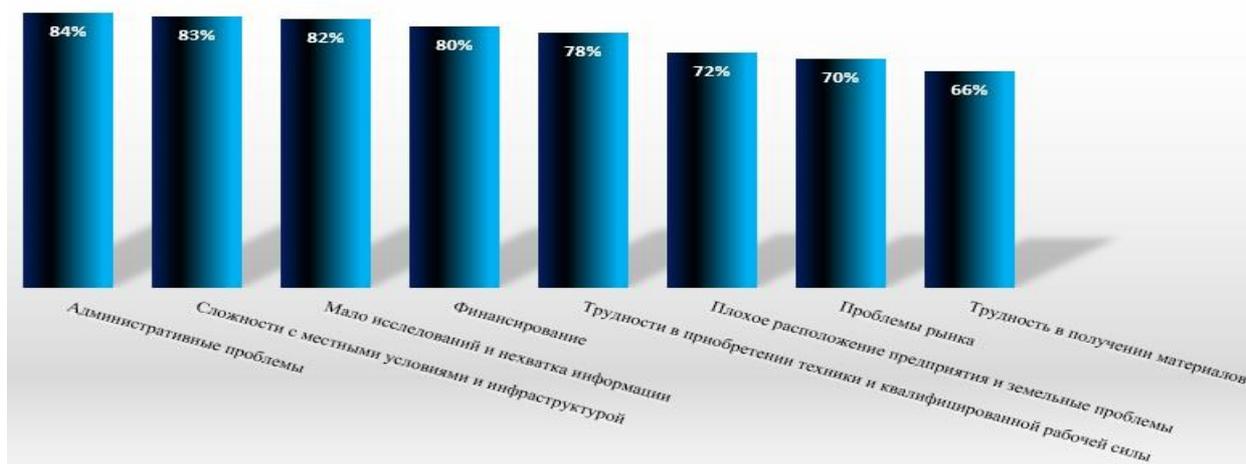


Рис. 3. Барьеры, стоящие на пути развития промышленности строительных материалов

Причины высоких затрат на строительство. В этом разделе участникам было предложено определить важность факторов, которые, вносят наибольший вклад в затраты на строительство. Большинство участников опроса отметили, что наиболее важными факторами, вызывающими рост себестоимости объектов строитель-

ства, выступают инфляция, колебания цен, применение дорогих импортных материалов и чрезмерные отходы. К факторам, оказывающим значительно меньшее влияние, были отнесены затраты на рабочую силу и стоимость местных материалов. Результаты обработки ответов этой части анкеты представлены в таблице 2 и на рисунке 4.

Таблица 2

Значение индекса важности факторов, влияющих на себестоимость строительства

Инфляция и колебание цен	92 %
Дорогие импортные материалы	91 %
Отсутствие экономически эффективных методов	83 %
Чрезмерные отходы	83 %
Низкая эффективность традиционных технологий	65 %
Себестоимость местных строительных материалов	62 %
Высокая стоимость перевозки и доставки материалов	61 %
Неэффективные конструкции	50 %
Себестоимость рабочей силы	45 %

По мнению опрошенных специалистов, инфляция и ценовые колебания являются наиболее важным фактором (индекс значимости 92 %), оказывающим значительное влияние на себестоимость строительства. Рост инфляции объясняется целым рядом причин: спрос на недорогое комфортное жильё превышает предложение, существует искусственный дефицит товаров, не-

стабильность экономики, политическая нестабильность и связанный с ней затянувшийся период вооруженных столкновений. Кроме того, на колебания цен влияют стоимость сырья, рабочей силы, услуг.

Применение при строительстве дорогих импортных строительных материалов и оборудования является фактором, занявшим второе место

(оценка 91 % в индексе важности). Многие опрошенные отметили, что при закупке импортных материалов часто используются дешевые, но низкого качества и менее прочные материалы. Кроме того, при применении импортного оборудования резко возрастает стоимость технического обслуживания или замены, в случае необходимости в течение жизненного цикла зданий или сооружений.

На третье место участники опроса поставили 2 фактора – отсутствие экономически эффективных методов и чрезмерные отходы. Причинами чрезмерных отходов названы применение неэффективных технологий строительства, отсутствие квалифицированных кадров, ошибки планирования закупок материалов, низкий уровень учета и контроля при расходовании материалов, отсутствие механизма повторной переработки отходов.

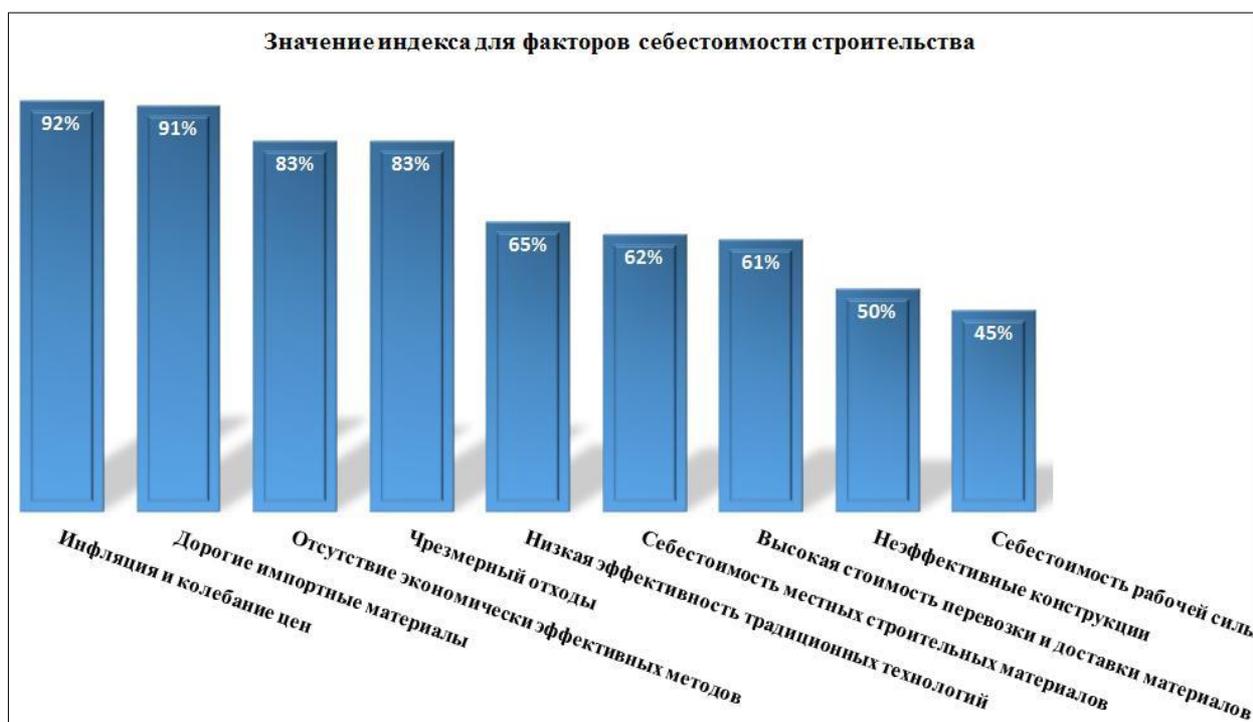


Рис. 4. Значение индекса важности факторов, влияющих на себестоимость строительства

Причины появления отходов в строительстве. Этот раздел был использован для определения факторов, приводящих к возникновению строительных отходов. Определим отходы как «что-то отличное от абсолютного минимального количества ресурсов материалов, оборудования и рабочей силы, необходимых для повышения ценности продукта». В научной литературе неоднократно подчеркивалось, что отходы не только связаны с отходами материала в процессе строительства, но и с другими видами деятельности, которые не добавляют ценности, например, ремонт, время ожидания и задержки. В целом, все строительные работы, которые прямое или косвенно увеличивают себестоимость, но не добавляют ценность или прогресс в продукт, можно назвать отходами. Любые усилия по улучшению ситуации должны быть сфокусированы на выявлении отходов, возникающих в процессе строительства, анализе причин, которые приводят к появлению этих отходов, разработке и реализации мероприятий, направленных на уменьшение влияния этих причин или их устранения.

Для ранжирования участникам опроса были предложены следующие факторы: неэффективное планирование и управление, нерациональное использование ресурсы, проблемы с качеством ресурсов, отсутствие навыков выполнения работ, отсутствие контроля и надзора, неэффективные закупки. Результаты обработки ответов рассматриваемой части анкеты представлены на рисунке 5.

Как видно из рисунка, значения индекса важности для предложенных факторов лежат в диапазоне от 60% до 80%. Хотя между первыми пятью ранжированными факторами почти нет существенной разницы, недостаток раннего планирования и плохое управление контрактами в конечном итоге заняли первое место. Хорошее управление проектом подразумевает планирование, координацию и контроль всех аспектов работы и может привести к значительному повышению производительности без увеличения вложений. Местные официальные, а тем более неофициальные подрядчики и субподрядчики не имеют управленческих навыков, которые могут

повысить производительность и предотвратить перерасход времени и затрат.

Неадекватный экономический анализ проекта или чрезмерная переоценка финансового потенциала заказчика также являются симптомом плохого планирования. Адекватное управление контрактами очень важно, так как большинство

других проблем связано с провалами в управлении контрактом либо со стороны заказчика, либо со стороны подрядчика. К сожалению, это – весьма застарелая проблема: еще в 1984 году Всемирный банк отмечал недостаток управленческих навыков в качестве основного недостатка местных строительных предприятий в развивающихся странах.



Рис. 5. Индекс важности причин возникновения отходов при строительстве

Второе место занимает отсутствие контроля и слабый надзор за деятельностью на строительной площадке. По мнению некоторых участников, это может быть связано с тем, что квалифицированным инженерам и техникам, осуществляющим надзор, часто за него недоплачивают. Ряд участников опроса отметили, что плохое управление контрактами порождает недостатки в планах организации строительства и планах производства работ. Некоторые специалисты объясняли указанные недостатки отсутствием соответствующего опыта или отсутствием специализации.

Фактор «Нерациональное использование ресурсов», занявший третье место, обуславливается неэффективной организацией труда на рабочих местах, несоответствующим хранением материалов и нарушениями при транспортировке.

Четвертую строчку в результатах обработки анкеты заняли проблемы качества ресурсов, в частности качество цемента, от которого во многом зависит качество бетона. В развивающихся странах, таких как Йемен, качество строительных материалов, может не соответствовать международным стандартам из-за низкого уровня контроля качества, проблем, связанных с транс-

портировкой и хранением, качеством воды и компонентами строительных материалов, из-за отсутствия контроля и тестирования и ограничений по спецификациям.

Отсутствие навыков выполнения работ заняло пятое место, а неэффективные закупки заняли шестое место. Последнее может быть связано с тем, что участники не смогли определить важность этого фактора.

Выводы и рекомендации. Как показал анализ ответов участников опроса, основными барьерами, стоящими на пути развития строительства Йемена, являются административные проблемы и коррупция, отсутствие инфраструктуры, необходимой для ведения экономической и хозяйственной деятельности и расселения людей, недоработки в строительном законодательстве и в других правовых вопросах, проблемы финансирования строительных проектов. Участники опроса считают, что отраслевые технические проблемы имеют меньшее значение. Они также отметили, что экономическая стабильность имеет важное значение для потенциального развития строительной отрасли, поскольку она обеспечивает меньший риск для инвестиций.

Одним из серьезных препятствий успешной реализации строительных проектов, по мнению

участников опроса, выступает высокая себестоимость строительства. В качестве наиболее важных причин, которые приводят к удорожанию строительства, были определены использование дорогостоящих импортных материалов, инфляции и нестабильность экономики, чрезмерные строительные отходы.

Из результатов анализа следует, что страна нуждается в очень серьезных преобразованиях, которые должны быть реализованы и осуществлены как в государственном, так и в частном секторах.

Существует потребность в долговременном и среднесрочном стратегическом планировании устойчивого экономического развития, направленного на снижение безработицы и потребления иностранной валюты. Для этого важно разработать и начать реализовывать более взвешивую политику трудовой занятости населения страны, использования местных строительных материалов, минимизации или контроля импорта. Для решения поставленной задачи в первую очередь потребуются согласовать потребности населения страны и планы развития государства в целом и отдельных его регионов в частности. Так же необходимо совершенствование общего и строительного законодательства. Строительные нормы и законы могут влиять на выбор и качество материалов, позволяя проектировщикам иметь больше уверенности в выполнении оптимальных проектов. Принципы денежно-кредитной политики и налоговая политика должны быть разработаны для содействия экономической деятельности, контроля рыночных цен, ограничения инфляции и расширения доли малого бизнеса в строительстве. Кроме того, развитие промышленности строительных материалов Йемена должно корректироваться и контролироваться с учетом новой стратегии, которая уравнивает политику защиты местной промышленности и открытые рынки. Йемен должен стремиться к повышению уровня трудовых ресурсов в строительстве и принимать только те технологии, которые актуальны и адекватны местным условиям и потребностям.

Реализация указанных выше задач, по нашему мнению, может быть осуществлена путем разработки и последующей практической реализации региональной кластерной политики [6], то есть путем создания региональных строительных кластеров [7, 8]. Как отмечалось в [9] к основным направлениям механизма реализации региональной кластерной политики можно отнести:

- в экономической сфере – поддержка малого и среднего бизнеса, кооперация и интеграция, ди-

версификация экономики региона с целью наполняемости его бюджета и обеспечения занятости населения, развитие инфраструктуры региона, повышение инвестиционной привлекательности территории;

- в социальной сфере – стимулирование демографического роста, повышение реальных доходов населения региона и обеспечение его базовыми социальными услугами (комфортное жилье, образование, медицинское обслуживание);

- в институциональной сфере – взаимодействие всех органов власти, мониторинг муниципальных образований;

- в экологической сфере – обеспечение экологической безопасности и охраны окружающей среды, стимулирование природоохранной деятельности [10, 11] и др.

Опыт создания и функционирования кластеров в ряде развитых и развивающихся стран показывает, что кластерная модель экономического развития регионов является наиболее эффективной с точки зрения повышения конкурентоспособности, укрепления кооперации и роста инновационной активности хозяйственных субъектов, являющихся участниками кластера [12–14].

В общем случае, согласно определению кластера, данному М. Портером [15], участниками кластеров могут быть производители и поставщики, инжиниринговые, научно-исследовательские организации и организации, готовящие инженерные кадры, кредитные организации и банки, инфраструктура, администрации регионов, профессиональные и общественные организации [16, 17].

Анализ социально-экономического состояния регионов республики Йемен показал, что наиболее перспективным из них с точки зрения наличия необходимых условий для формирования регионального строительного кластера является регион (мухафаза) Сана (рис. 6). На территории региона расположены 3 крупных промышленных предприятия (цементный завод Амран и два металлургических завода), способных выполнить роль ядра кластера. Здесь же находится самый большой университет страны – Национальный научно-исследовательский государственный университет Саны, и ряд других научных и учебных заведений. В регионе ведут свою деятельность 14 генподрядных строительных организаций и целый ряд средних и малых предприятий, специализирующихся на выполнении отдельных видов строительного-монтажных и пуско-наладочных работ. Сана является одним из регионов с относительно высокой плотностью населения, что гарантирует наличие необходимого количества трудового ресурса. Инфраструктура региона достаточно хорошо развита и способна обеспечить

участникам кластера доступ к источникам энергии и различным каналам связи и транспортировки.

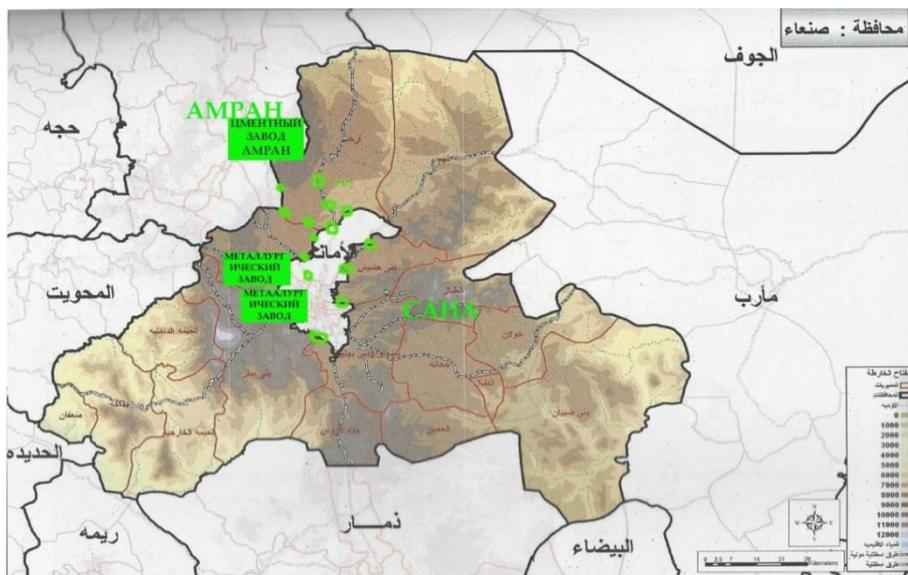


Рис. 6. Мухафаза Сана – потенциальный регион для строительного кластера

Подводя итоги, можно с уверенностью утверждать, что региональный строительный кластер Сана в случае его формирования сможет обеспечить устойчивое развитие региона за счет улучшения инвестиционного климата и повышения конкурентоспособности посредством развития социальных, экономических, информационных и интеграционных подсистем, что в свою очередь обеспечит привлечение инвестиций и дальнейший экономический подъем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sultan, Basel & Alaghbari, Wa'el. Incompetent Construction Technologies and Resources in the Construction Industry of Yemen // *Journal of Construction Engineering and Project Management*. 2014. Vol.4. 8. 10.6106/JCEPM.2014.4.1.008.

2. Sultan, B. and Kajewski S. Local problems in the construction industry of Yemen, CIB W107 Globalization and Construction symposium, November 17-19, 2004, AITCC

3. Sultan, Basel & Alaghbari, Wa'el. Priorities for Sustainable Construction Industry Development in Yemen // *International Journal of Applied Engineering Research*. 2017 № 12. 886–893.

4. Всемирный банк. 2013. «Ведение бизнеса 2014: Понимание регулирования деятельности малых и средних предприятий» Вашингтон: Группа Всемирного банка. DOI: 10.1596/978-0-8213-9615-5. Лицензия: Creative Commons Attribution CC BY 3.0.

5. Всемирный банк. 2013 год. Обзор Доклада о мировом развитии 2014: Риски и возможности

– управление рисками в интересах развития. Вашингтон, округ Колумбия: Всемирный банк. Лицензия: Creative Commons Attribution CC BY 3.0.

6. Токунова Г.Ф. Методология управления развитием строительного комплекса на основе кластерного подхода. СПб.: СПбГАСУ, 2012. 182 с.

7. Ануфриев Д.П. Управление строительным комплексом как социально-экономической системой: постановка проблемы // *Промышленное и гражданское строительство*. 2012. № 8. С. 8–9.

8. Anufriev D., Petrova I.Yu., Shikulskaya O. Model of Decision-Making Support in Heterarchical System Management of Regional Construction Cluster // *Creativity in Intelligent Technologies and Data Science: Second Conference, CIT&DS 2017, Volgograd, Russia, September 12-14, 2017. Proceedings*.

9. Медков, Андрей Леонидович. Формирование механизма устойчивого развития сельских территорий : дисс. ... кандидата экономических наук : 08.00.05 / Медков Андрей Леонидович; [Место защиты: Воронеж. гос. аграр. ун-т им. императора Петра I]. Воронеж, 2012. 172 с.

10. Safronova N, Nezhnikova E, Kolhidov A Sustainable Housing Development in Conditions of Changing Living Environment, 2017 MATEC Web of Conferences 106 08024, <https://doi.org/10.1051/matecconf/201710608024>

11. Larionov A, Nezhnikova E Role of energy efficiency in improving the quality of housing projects // *International Journal of Applied Engineering Research*. 6 (2016). 4433–4439.

12. Скупов Б.А. Практические начала формирования кластерного подхода в строительстве

// Технологии строительства. 2015. №4 (108). С. 48–53.

13. Матвеева О.А., Василенок В.Л. Реализация кластерного подхода в строительстве // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: экономика и экологический менеджмент. 2014. № 1. С. 50.

14. Куценко Е.Э., Шевченко С.Ю. Проблемы формирования и реализации кластерных инициатив // Стратегии бизнеса. 2016. № 7(27). С. 17–20.

15. Портер Майкл Э. Конкуренция. Пер. с англ. О.Л. Пелявского. М.: Вильямс, 2005. 602 с.

16. Иванов Н.А., Сафиаддин А.М.А. Кластерный подход к развитию строительной отрасли республики Йемен // Естественные и технические науки. 2015. № 6 (84). С. 276–278.

17. Ануфриев Д.П. Региональный строительный кластер Астраханской области // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 1 (100). С. 99–106. DOI: 10.22227/1997-0935. 2017 .1.99-106

Информация об авторах

Иванов Николай Александрович, кандидат технических наук, доцент, кафедра информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве.

E-mail: IvanovNA@mgsu.ru.

НИУ «Московский государственный строительный университет»,
Россия, 129337, Москва, Ярославское ш., 26.

Сафиаддин Ахмед Мохаммед Али, аспирант кафедры информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве.

E-mail: Adnan2003@mail.ru.

НИУ «Московский государственный строительный университет»,
Россия, 129337, Москва, Ярославское ш., 26.

Поступила в октябре 2017 г.

© Иванов Н.А., Сафиаддин А.М.А., 2017

Ivanov N.A., Safe Aldeen A.M.-A.

PROBLEMS OF THE YEMEN'S CONSTRUCTION INDUSTRY DEVELOPMENT AND WAYS TO SOLVE THEM

The construction industry plays an important role in the economy of Yemen, as it creates prerequisites for the socio-economic development of the country in order to attract investors, promote development of infrastructure and provide employment. At the current stage of the development of the economy, one of the most relevant and important strategic tasks is the modernization of the construction industry and its transition to an innovative development path. The problems in the construction industry of the Republic of Yemen are quite typical for most developing countries. The country needs a new approach to improving housing conditions, construction technologies, management practices and legislative reforms. One of the most effective ways to solve the above problems is to consider the application of the cluster approach for planning the development of the construction industry in Yemen. Sources of increasing the efficiency of enterprises when they enter the construction cluster, is also put into consideration.

Keywords: cluster, construction, construction complex, innovation, competitiveness, efficiency.

Information about the authors

Ivanov Nikolay Aleksandrovich, PhD, Assistant professor.

E-mail: IvanovNA@mgsu.ru

Moscow State (National Research) University of Civil Engineering
Russia 129337, Moscow, Yaroslavskoye Shosse, 26.

Safe Aldeen Ahmed Mohammed Ali, Postgraduate student.

E-mail: Adnan2003@mail.ru

Moscow State (National Research) University of Civil Engineering
Russia 129337, Moscow, Yaroslavskoye Shosse, 26.

Received in October 2017

© Ivanov N.A., Safe Aldeen A.M.A., 2017

DOI: 10.12737/article_5a27cb917982b8.35955780

Авилова И.П., канд. экон. наук, проф.,
Крутилова М.О., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ЭКООРИЕНТИРОВАННАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СТОИМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ ГЭС

kafeun@mail.ru

Хозяйственно-экономическая деятельность, связанная с энергетической отраслью, является основным «топливом» для социально-экономического развития страны и оказывает значительное воздействие на окружающую среду. Поэтому актуально проблемой в современном обществе становится сокращение и стабилизация уровней парниковых газов, прежде всего CO_2 , во избежание худших прогнозируемых последствий изменения климата. С экологической и экономической точек зрения снижение выбросов парниковых газов на стадии строительства инфраструктурных объектов является не менее важной задачей, чем снижение выбросов во время эксплуатации, в том числе генерации энергии. Стоит отметить, что выбросы парниковых газов в строительной отрасли покрывают значительную часть промышленных выбросов парниковых газов и, как ожидается, будут последовательно увеличиваться. Проблема может быть успешно решена как с помощью экономических, так и организационных ограничений, основанных на усовершенствованных алгоритмах ценообразования и штрафования возможного экологического ущерба на проектной стадии в строительстве.

Ключевые слова: экостоймость, устойчивое развитие, экодевелопмент, экоориентированное ценообразование, выбросы парниковых газов.

Введение. Каждый источник энергии (уголь, газ, вода, ветер и др.) имеет свои преимущества и недостатки в отношении следующих показателей: эксплуатационных расходов, воздействия на окружающую среду и других факторов. При использовании любого метода генерации энергии происходит выброс ПГ в различных количествах за счет строительства, эксплуатации (деятельности по поставке топлива) и вывода из эксплуатации. Некоторые методы генерации энергии, такие как угольные электростанции, выпускают большинство ПГ во время эксплуатации станции и во время выработки энергии. Другие, такие как ветроэлектростанции и гидроэлектростанции,

выбрасывают большую часть ПГ на стадии строительства и вывода из эксплуатации объекта. Следовательно, нормализация выбросов жизненного цикла с использованием электрической генерации позволяет проводить справедливое сравнение различных методов генерации энергии на основе приведенного показателя 1кВт-ч.

Показательным параметром, характеризующим энергетику и экономику стран, принято считать удельную углеродоемкость экономики – все выбросы CO_2 от сжигания ископаемого топлива, деленные на общий объем произведенной продукции, товаров и услуг. На рис. 1 графически представлена углеродоемкость различных методов выработки электроэнергии [1].

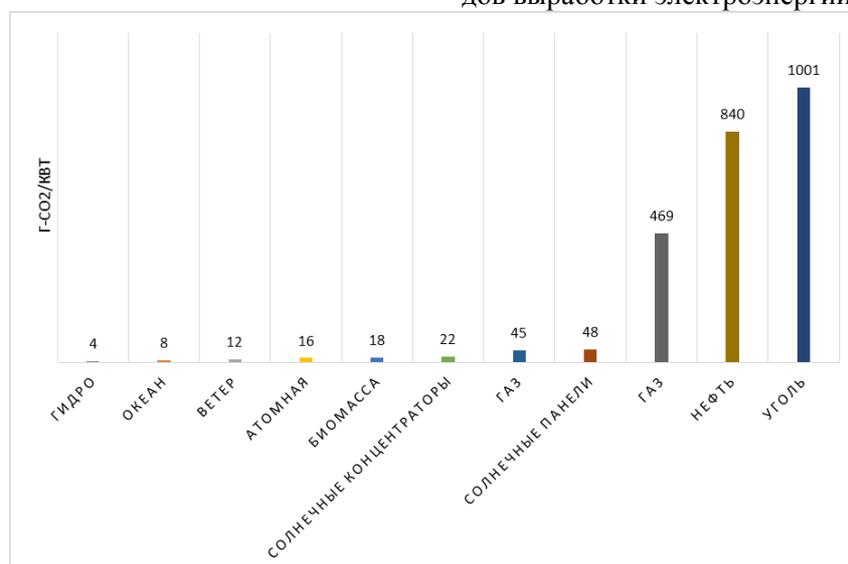


Рис. 1. Интенсивность выбросов углекислого газа по типам генерации электроэнергии

Электростанции вне зависимости от источника энергии укрупненно можно разделить на:

1. Инфраструктурный объект как объект не-движимости;
2. Совокупность установок, оборудования и аппаратуры, используемых непосредственно для производства электрической энергии.

В соответствии с ГОСТ Р 56276-2014/ISO/TS 14067:2013 «Газы парниковые. Углеродный след продукции. Требования и руководящие указания по количественному определению и предоставлению информации» выбросы парниковых газов должны рассматриваться на протяжении всего жизненного цикла инфраструктурного объекта, в том числе на стадии строительства [2].

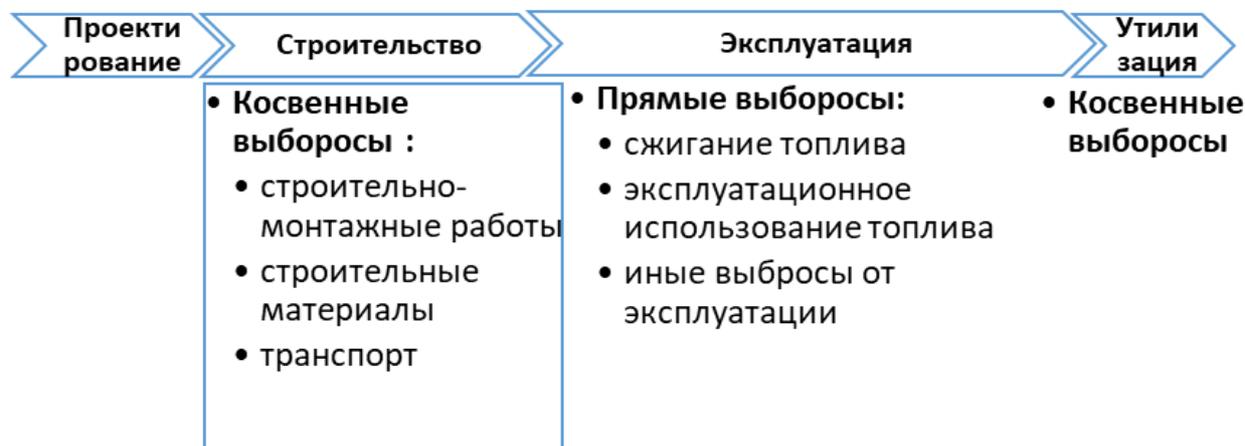


Рис 2. Жизненный цикл выбросов ПГ

Источники косвенных выбросов для электростанций включают выбросы от:

- развития инфраструктуры (например, дорог и линий электропередачи),
- строительно-монтажные работы на объекте,
- производство строительных материалов, изделий, конструкций и оборудования,
- транспортировка строительных материалов и рабочих,
- вывод из эксплуатации и утилизация отходов [3].

Выбросы электростанций должны анализироваться в соответствии с подходом анализа жизненного цикла ПГ (LCA), включая выбросы на этапе строительства объекта, которые считаются косвенными выбросами [4]. Для обоснования актуальности выбранной темы, необходимо сравнить сметную стоимость строительства (ССР) по отношению к общей стоимости проекта (ИСП) для различных типов электростанций. Важно отметить, что существует достаточное количество энергетических объектов, которые требуют высоких затрат на строительство. Используя данные Управления энергетической информации США “Updated Capital Cost Estimates for Utility Scale Electricity Generating Plants” авторам было проведено ранжирование, результаты которого представлены на рис. 3.

Ранжирование позволяет предварительно оценить эффективность «зеленых» строительных технологий для различных типов электростанций

и выбрать приоритетные типы для «озеленения» уже на стадии строительства. Исходя из полученных данных, наиболее дорогостоящим и ресурсоемким сооружениями являются гидроэлектростанции (50 %) и солнечные фотоэлектрические станции (17 %). На примере ГЭС рассмотрим методику определения выбросов от наиболее энергозатратных строительных и монтажных работ и используемых строительных материалов и методику учета этих выбросов при составлении сметной документации на строительство объекта. Поэтому прежде всего, необходимо рассмотреть процесс строительства ГЭС для выявления основных используемых строительных материалов и строительно-монтажных работ, включая их количественные значения.

По данным исследования «Запасы жизненного цикла энергетических систем» авторов Роберта Донса и др. [4] основными источниками выбросов парниковых газов для гидроэнергетики на стадии строительства являются производство строительных материалов, а именно бетона и стали, а также использование дизельного топлива и электроэнергии во время строительно-монтажных работ (СМР). Х.Л. Раадаль в своей работе: «Переосмысление энергии» (2011 год) определил, что “основными факторами, способствующими выбросам ПГ в инфраструктуру, являются производство бетона и транспортировка строительных материалов при строительстве гидроэлектростанций” [5].



ГАЭС – Гидроаккумулирующая электростанция; ГЭС – Гидроэлектростанция»;

СФЭС – Солнечные фотоэлектрические станции; АЭС – Атомная электростанция; ВЭС – Наземная ветровая электростанция; УЭС – Угольная электростанция; ПВЭС – Прибрежная ветровая электростанция;

ТЭС КЦ – Теплоэлектростанции комбинированного цикла; КСЭС - Концентрированная солнечная энергия; ГТУЭС – Газотурбинные электростанции; ТЭС ПГ – Электростанции с комбинированным циклом, работающих на природном газе; ТЭС ТП – Электростанции на твердом топливе; ТЭС КЦ (ПГ) – Электростанции с комбинированным циклом комплексной газификации; ГеоЭС – Геотермальные электростанции.

Рис. 3. Ранжирование типов электростанций по сметной стоимости строительства (ССР) в отношении общей стоимости инвестиционно-строительного проекта (ИСП)

Общее энергопотребление сооружений зависит от строительных материалов, изделий, конструкций и строительно-монтажных работ, используемых при строительстве, а также ранее потраченной энергии на транспортировку, производство и т.д. [6]. В этом случае важны класс экологической безопасности используемых материалов и класс энергобезопасности используемой технологии строительства. Таким образом, необходимо учитывать загрязнение окружающей среды и уменьшать выбросы на предпроектной и проектной стадиях, тем самым смягчая экологические последствия строительства сооружений. Для крупных гидроэнергетических строительных проектов в стоимости инвестиционно-строительного проекта преобладают сметная стоимость СМР и стоимость оборудования. На стоимость СМР влияет множество факторов, такие как местоположение, конструктивные и технологические решения и т.д. [7]. Процесс формирования цены на строительную продукцию в мировой практике показывает, что каждая страна имеет

собственные котировки цен, которые устанавливают прямую и косвенную текущую стоимость ИСП. Используя эти данные, можно укрупненно оценить сметную стоимость основных строительных ресурсов (материалов, машин и механизмов), используемых для строительства ГЭС, в общей стоимости ИСП, и пересчитать ее на самостоятельную стоимость этапа строительства, определенную энергии на 1 МВт-ч.

Для определения возможной корреляции между объемами основных строительных материалов и строительно-монтажных работ и установленной мощностью ГЭС был проведен нелинейный регрессионный анализ. Для моделирования в технико-экономических процессах, которые всегда состоят из нелинейных (нерегулярных, стохастических) и линейных (регулярных, систематических) частей, авторами предлагаются К-полиномы n-й степени – универсальные гиперболические функции, отражающие рассматриваемые зависимости следующим образом [8]:

$$Y = a_{(-n)}x^n + a_{(-(n-1))}x^{n-1} + \dots + a_0x^0 + \dots + a_{n-1}x^{-(n-1)} + a_nx^{-n},$$

где Y – расходы на строительство 1 МВт станции, X – установленная мощность станции, a_i – константы, x^0 – фиктивный показатель (всегда равный 1), используемый для ясности структуры.

Левая часть к-полиномов ($a_{(-n)}x^n + a_{(-(n-1))}x^{n-1}$) используется для аппроксимации нелинейных частей процессов, а правая ($a_0x^0 + \dots + a_{n-1}x^{-(n-1)} + a_nx^{-n}$) используется для аппроксимации линейной части аппроксимируемых процессов.

Предлагаемый К-полином может быть упрощен в:

- 1) линейную функцию ($i = 1; a_{(-1)} \dots a_0 = \text{const}, a_1 = 0$);
 - 2) полиномы n-й степени ($a_{(-n)} \dots a_0 = \text{const}; a_1 \dots a_n = 0$);
 - 3) экспоненциальную функцию n-й степени ($a_n \dots a_0 = \text{const}; a_{(-n)} \dots a_{(-1)} = 0$);
- или использован в исходном виде для объединения преимуществ всех вышеперечисленных функций. Это подтверждает полезность предлагаемого выражения для обработки многофакторных процессов в технико-экономическом ана-

лизе. Корреляцию объемов основных строительных материалов, строительного-монтажных работ (наиболее вредных в отношении выбросов ПГ) и генерируемой мощностью ГЭС предлагается выразить К-полиномом 1-й степени следующим образом:

$$Y = ax + bx^{-1},$$

где a, b – константы, x – анализируемая переменная в соответствии с табл. 1.

Все переменные анализируются отдельно (число степеней свободы равно 1, число переменных 8), согласно первоначальному предложению о значительной корреляции между установленной мощностью ГЭС и следующим:

а) основные строительного-монтажные работы:

- выемка мягкого грунта,
- выемка скального грунта,
- насыпь мягкого грунта,
- каменные наброски, дренажи, фильтры,
- б) основные строительные материалы:
 - бетон и железобетон,
 - металлоконструкции и механизмы.

Полученные регрессионные зависимости (рис. 4) получены методом наименьших квадратов – стандартным подходом к оптимизации приближенного решения. Сила корреляционной связи подтверждается значением $R_2 > 0,75$. Статистическая значимость моделей подтверждается тестом Фишера при обеспеченности 0,95 – полученное значение F-тест $< F(0,05; 1; 8)$, что позволяет отклонить H_0 -гипотезу и принять модель для дальнейшего анализа.

Таблица 1

Основные строительного-монтажные работы и материалы, используемые при строительстве ГЭС, на 1 МВт установленной мощности

Мощность ГЭС, МВт	63	150	220	300	342	800	1000	1600
Выемка мягкого грунта, 100 м ³	376.2	61.5	97.6	43.6	14.0	25.3	18.5	9.7
Выемка скального грунта, 100 м ^{3*}	6.0	12.0	5.8	2.0	4.1	1.8	2.1	0.3
Насыпь мягкого грунта, 100 м ³	317.5	94.1	114.5	113.6	110.7	73.6	4.1	3.7
Каменные наброски, дренажи, фильтры, 100 м ³	82.1	7.0	41.0	11.2	3.8	1.3	1.3	0.1
Бетон и железобетон, 100 м ³	319.0	21.3	16.1	20.1	8.3	5.6	14.9	32.0
Металлоконструкции и механизмы, 1 т	60.3	29.7	15.6	26.7	18.4	9.2	9.8	17.7

*Не найдено статистически значимой корреляции для выемки скального грунта на 1 МВт, поэтому строительная работа отсутствует в дальнейшем анализе.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1) Объемы основных строительных материалов и строительного-монтажных работ, используемых при строительстве ГЭС, имеют значительную корреляцию с объемом генерирующей мощности назначенных ГЭС в МВт. Корреляции аппроксимированы предлагаемым К-полиномом 1-й степени, пригодным для дальнейшего анализа и управления [8].

2) Объемы основных строительных материалов и строительного-монтажных работ в пересчете на 1 МВт генерируемой мощности обратно зависят от общей установленной мощности ГЭС, резко уменьшаясь при мощности ГЭС 400 МВт и незначительно после 400 до 1000–1500 МВт. Производимая электрическая энергия при работе ГЭС мощностью более 600–800 МВт имеет ряд преимуществ, т.к. для генерации энергии затраты на материалы и использование строительной техники существенно снижаются. Поэтому при благоприятных условиях и возможности реализации инфраструктурных объектов выявлена зависимость: чем больше мощность ГЭС, тем более вы-

годно и менее затратно строительство, а, следовательно, уменьшается экологический вред, наносимый данным процессом.

Следующий этап в оценке стоимости строительства инфраструктурных объектов с позиции экологичности это разработка алгоритма определения выбросов парниковых газов на единицу объема основных строительных материалов и на единицу объема основных работ, выполняемых при строительстве инфраструктурных объектов. Для оценки определены основные строительного-монтажные работы и материалы, представленные в табл. 1. Используя данные о выбросах, можно количественно определить выбросы на единицу объема материалов или на кВт мощности двигателя строительных машин и механизмов. Результаты проведенного анализа представлены в табл. 2, 3, 4. Для разработки алгоритма были рассмотрены основные широко распространенные строительные материалы (бетон, сталь) и машины, механизмы конкретной мощности (экскаватор, кран, бортовой автомобиль, бетономеситель, сварочный аппарат). При достаточных исходных данных о выбросах ПГ в представленном

алгоритме возможна корректировка и добавление большего количества строительных материалов и типов машин и механизмов, т.е. новых источников загрязнения [9].

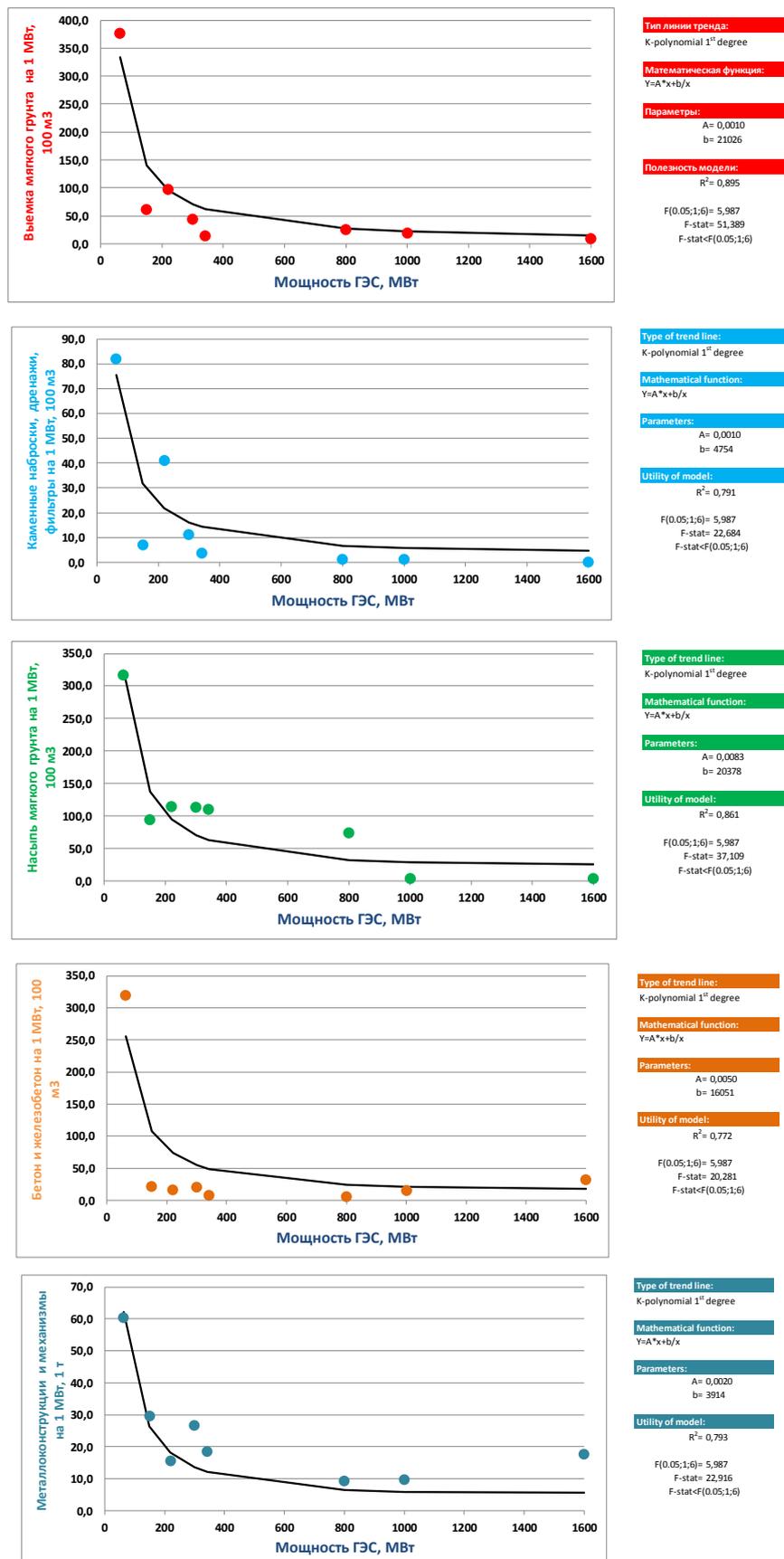


Рис. 4. Нелинейная регрессия для выемки мягкого грунта в пересчете на 1 МВт

Таблица 2

Выбросы парниковых газов от производства 1 м³ типового бетона

Выбросы ПГ	Ед.изм.	
Общие	кг	1,50848
CO ₂	кг	1,5
CO	г	0,86
NO _x	г	2,3
SO _x	г	3,3
CH ₄	г	1,7
HC	г	0,32

Таблица 3

Выбросы парниковых газов от производства стали

Производство	Ед.изм.	Выбросы ПГ
Металлургический комплекс	Тонны на тонну продукта	1,6-2,2
Переработка металлолома		0,6-0,9

Таблица 4

Выбросы парниковых газов от работы строительных машин

Тип машины	Мощность двигателя, кВт	Выбросы ПГ
Экскаватор	246	2,76 г/м ³
Бортовой автомобиль	176	69 г/с
Кран	120	46 г/с
Бетономеситель	115	77 г/с
Сварочный аппарат	6	33 г/кг

В результате сбора информации об источниках загрязнения атмосферы определим алгоритм получения общей эмиссии парниковых газов от

строительства типовой ГЭС. Для этого воспользуемся специальным калькулятором выбросов парниковых газов (таблица 5).

Таблица 5

Калькулятор выбросов парниковых газов: строительно-монтажные работы (СМР)

Машины и Механизмы	Объем
1. Бортовой автомобиль	
Мощность двигателя, кВт	176
Грузоподъемность, т	10
Расчетное рабочее время, ч	1227
Оценочная эмиссия парниковых газов, г/с	24.5
Общее количество выбросов ПГ, т	108
2. Кран	
Мощность двигателя, кВт	120
Грузоподъемность, т	8
Расчетное рабочее время, ч	184
Оценочная эмиссия парниковых газов, г/с	46
Общее количество выбросов ПГ, т	18.9
3. Бетономеситель	
Мощность двигателя, кВт	115
Объем смешивания, м ³ / час	71
Расчетное рабочее время, ч	57
Оценочная эмиссия парниковых газов, г/с	77
Общее количество выбросов ПГ, т	15.8
4. Сварочный аппарат	
Мощность, кВт	6
Расчетное рабочее время, ч	218
Оценочная эмиссия парниковых газов, г/с	33
Общее количество выбросов ПГ, т	5.9

Материалы	Объемы
1. Бетон	
Оценочная эмиссия парниковых газов для производства цемента, г/куб.м.	1508
Расчетный объем бетона, куб.м	2704
Общее количество выбросов ПГ, т	4.1
2. Сталь конструкционная	
Оценочная эмиссия парниковых газов для производства цемента, т/т	0.6
Общее количество выбросов ПГ, т	108

Общая эмиссия парниковых газов от стр. материалов, т	112
Общая эмиссия парниковых газов от стр. машин и механизмов, т	149
Общая эмиссия парниковых газов от СМР, т	265

При строительстве зданий и сооружений возникающие выбросы ПГ должны регулироваться с помощью экоштрафов. Все возможные выбросы, определяемые на этапе проектирования в рамках экологической экспертизы, должны

быть переведены в денежный эквивалент (экоштрафы) в соответствии с предлагаемым методом оценки:

Эко-штраф = стоимость профилактических мероприятий (Costofprevention, COP) + стоимость санитарных работ после причинения вреда (Costofsanitation, COS),

Поскольку обоснованием для эко-штрафов является, в конечном итоге, выброс ПГ на единицу штрафуемого материала/работы/услуги, то стоимость профилактических мероприятий (Costofprevention, COP) определяется как:

$$COP = (COP1 \times k1 + COP2 \times k2 + COP3 \times k3) \times k4,$$

COP1 – стоимость НИОКР, направленных на исследование экологичности данного материала/технологии и получения движения за истекший год, деленная на объем выбросов на производстве материала/оказании услуг (COP1).

COP2 – разница в стоимости материалов/услуг, производимых по наиболее экологичной на текущий год технологии к стоимости тех же материалов/услуг, производимых по технологии, указанной конкретным производителем, материал/услугу которого следует штрафовать.

COP3 – разница в объеме материала/услуги, произведенного за предпоследний и истекший года умноженная на усредненную по региону стоимость материала/услуги.

$k1 \dots k3$ – весовые индексы, $k4$ – показатель активности.

COP1 – стимулирует финансирование научных исследований,

COP2 – переход производителей на зеленые технологии;

COP3 – стимулирует использование менее материалоемких решений с позиции экологичности.

Общая масса разрешенных к выбросу ПГ определяется Киотским протоколами, стоимость прав на выбросы определяется рынком эмиссионных квот. Стоимость санитарных работ после причинения вреда (Costofsanitation, COS) для всех производителей и поставщиков услуг:

$$COS = RGT \times k5,$$

RGT – Regional Carbon Tax, стоимость квоты на выброс тонны ПГ на текущий год в стране, $k5$ – удельный вес строительства в экономике государства. $k5$ = стоимость услуг по виду деятельности "Строительство" / ВВП страны за год.

$$\text{Эко-штраф} = RCT \times k5 + (COP1 \times k1 + COP2 \times k2 + COP3 \times k3) \times k4$$

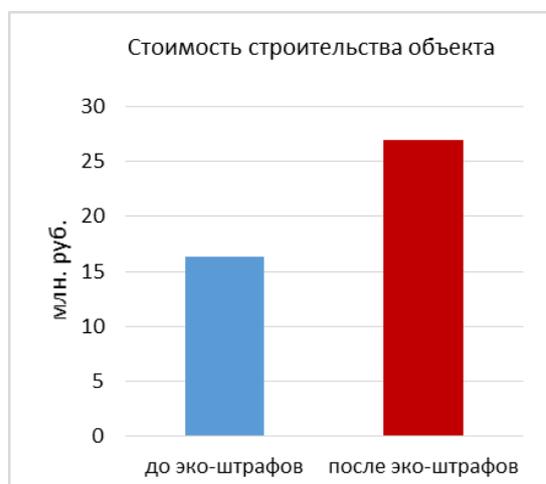


Рис. 5. Влияние экоштрафов на стоимость строительства объекта строительства

Выводы. Приведенный метод экоориентированного ценообразования и определения сметной стоимости объектов строительства с позиции устойчивого развития позволяет проводить сравнительный анализ альтернативных вариантов используемых технологий и материалов в соответствии с возможным экологическим ущербом. Этот технический метод, основанный на выборе основных строительных материалов, работ, машин и т.д. позволяет оценить сметную стоимость строительства до и после эко-штрафов и может быть эффективным дополнительным инструмен-

том на предпроектном и проектом этапах инвестиционно-строительных проектов. Совместно с государственной поддержкой и совершенствованием российского законодательства, представленный метод штрафования является эффективным способом снижения экологического вреда, причиненного строительным сектором.

**Работа выполнена в рамках Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Korppoo A., Kokorin A. Russia's 2020 GHG emissions target: emission trends and implementation // *Climate Policy*. 2015. С. 1-10.
2. Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс] // СПС «Консультант плюс». Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>
3. Avilova I, Naumov A, Krutilova M. Methodology of cost-effective eco-directed structural design // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*, № 53. С. 255–261.
4. Полётова Е.В., Абакумов Р.Г., Наумов А.Е. Экономические проблемы ресурсосбережения при реконструкции промышленных зданий //

Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. 2016. № 2 (12). С. 201–205.

5. Avilova I., Krutilova M., Peresypkina E. Economic incentives of green standards in civil and municipal engineering // International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. № 53. P. 551–557.

6. Авилова И.П., Наумов А.Е., Крутилова М.О. Экономические и правовые аспекты экоориентированного аудита в строительстве // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 5. С. 212–216.

7. Крутилова М.О. Эколого-экономические аспекты устойчивого развития предприятий

строительной индустрии [Электронный ресурс] // Международная научно-техническая конференция молодых ученых. Белгород. 2016. С. 4889–4892.

8. Ходыкина И.В., Крутилова М.О. Основные аспекты экологического законодательства Российской Федерации в сфере строительства // Вестник научных конференций. 2016. № 3-2 (7). С. 100–102.

9. Наумов А.Е., Иванов А.В., Куннуев Ю.Ш. Модели программных решений при управлении развитием городского хозяйства в условиях неопределенности // Недвижимость: экономика, управление. 2016. № 2. С. 51–58.

Информация об авторах

Авилова Ирина Павловна, кандидат экономических наук, профессор кафедры экспертизы и управления недвижимостью.

E-mail: kafeun@mail.ru.

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

Крутилова Мария Олеговна, аспирант кафедры экспертизы и управления недвижимостью.

E-mail: marykrutilova@gmail.com.

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

Поступила в октябре 2017 г.

© Авилова И.П., Крутилова М.О., 2017

Avilova I.P., Krutilova M.O.

METHODOLOGY OF GHG EMISSIONS ASSESSMENT CAUSED AT THE CONSTRUCTION STAGE OF ENERGY FACILITIES. CASE STUDY: HYDROPOWER

Economic growth is the main determinant of the trend to increased greenhouse gas (GHG) emission. Therefore, the reduction of emission and stabilization of GHG levels in the atmosphere become an urgent task to avoid the worst predicted consequences of climate change. GHG emissions in construction industry cover a significant part of industrial GHG emissions and are expected to consistently increase. From an ecological and economic point of view, reducing greenhouse gas emissions to the stage of infrastructure facilities is no less important than reducing emissions during operation, including generation of energy. The problem could be successfully solved with a help of both economic and organizational restrictions, based on enhanced algorithms of calculation and penalization of environmental harm in construction.

Keywords: green estimated cost, sustainable development, ecocodevelopment, green pricing, GHG emissions.

Information about the authors

Avilova Irina Pavlovna, PhD, Professor.

E-mail: kafeun@mail.ru.

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

Krutilova Maria Olegovna, Research assistant.

E-mail: marykrutilova@gmail.com.

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

Received in October 2017

© Avilova I.P., Krutilova M.O., 2017

DOI: 10.12737/article_5a27cb924b8e60.45117979

Сборщиков С.Б., д-р экон. наук, проф.,
Лазарева Н.В., канд. техн. наук, доц.,
Бахус Е.Е., аспирант

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

К ВОПРОСУ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

tous2004@mail.ru

Задача минимального использования ресурсов в процессе производства зависит не только от выбора технологии, но и от качественных характеристик и параметров зданий и сооружений, определяющих величину расхода ресурсов на их эксплуатацию. При этом, если затраты на эксплуатацию зданий выделены из общей суммы затрат на производство, то становится возможным оценить их влияние на себестоимость товаров и услуг. Нерациональное использование топливно-энергетических ресурсов в процессе эксплуатации зданий, оказывающее негативное влияние на энергоёмкость в промышленности и в жилищно-коммунальном хозяйстве, возможно предотвратить еще на стадии формирования инвестиционного проекта. Статья посвящена проблеме оценки затрат на обеспечение качества строительной продукции и оценки эффективности подобных мероприятий. Идентификация затрат необходима для осуществления функций управления качеством строительной продукции, а именно – планирования, организации и контроля с целью выявления отклонений от стандартных показателей и организации эффективного менеджмента.

Ключевые слова: строительство, качество строительной продукции, организация строительства, затраты, эффективность.

Введение. Проблематика контроля качества строительной продукции требует пристального внимания в парадигме современного управления, делая акцент на таком её аспекте – издержках инвестиционно-строительной деятельности и их влиянии на результаты функционирования корпоративного уровня, идентифицируя те группы затрат на обеспечение качества строительной продукции, которые можно заблаговременно предусмотреть и исключить.

В соответствии с экономической интерпретацией эффективность повышения качества строительной продукции представляет собой экономию живого и овеществленного труда, полученную в результате улучшения ее потребительских параметров [1–3].

Основная часть. Эффект от повышения качества строительной продукции проявляется на всех стадиях жизненного цикла. Для подрядных организаций он выражается в лучшем использовании материально-технических, трудовых, финансовых, информационных ресурсов, сокращении потерь от брака, переделок, рекламаций, росте доходов от реализации строительной ПРОДУКЦИИ повышенного качества, увеличение объёма материального стимулирования, в т. ч. премий, бонусов за высокое качество продукции. Для пользователей строительной продукции экономический эффект выражается в сокращении затрат по эксплуатации зданий и сооружений, создании более благоприятных и комфортных

условий жизнедеятельности в рамках функционального назначения объекта недвижимости [4, 5].

Расчет экономической эффективности можно выполнять в два этапа:

на первом – осуществляется ранжирование альтернативных вариантов улучшения качества строительной продукции по выбранному критерию;

на втором – определяется экономический эффект в рамках временного горизонта как разница дисконтированных затрат базового и выбранного (наилучшего) вариантов.

При определении экономического эффекта подрядной организации за базовый вариант сравнения можно установить технико-экономические показатели производства строительной продукции, принятые подразделениями технического контроля в соответствии с действующими корпоративными техническими регламентами, а при верификации того же эффекта у пользователя строительной продукции рассматривается достигнутый уровень технико-экономических показателей за какой-то период времени (например, за год), либо объектов аналогов [6, 7].

При идентификации эффективности повышения качества строительной продукции необходимо учитывать также социальные результаты, такие как:

- улучшение условий безопасности и комфортности строительного производства;
- повышение имиджа конкретных

участников инвестиционно-строительной деятельности;

- повышение престижности добросовестного, квалифицированного труда;
- улучшение экономических последствий от эксплуатации зданий и сооружений;
- соответствие строительной продукции запросам потребителей, а также уровню и требованиям современного научно-технического развития.

Подобные результаты в составе интегральной оценки можно выразить натуральными показателями, индексами, индикаторами, баллами, а при невозможности количественного измерения социального результата следует дать его качественную характеристику.

В соответствии с вышеприведенным можно указать следующие источники экономического эффекта от повышения качества строительной продукции подрядной организации:

- исключение использования в производственном процессе некачественных сырья, материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий, конструкций;
 - компенсации в рамках экономических санкций (штраф, уценка) за поставку некачественных сырья, материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий по результатам входного контроля;
 - снижение затрат на исправление брака;
 - повышение качества строительной продукции;
 - повышение объема строительно-монтажных работ;
 - улучшение технико-экономических параметров строительной продукции;
 - снижение затрат на гарантийный ремонт;
 - снижение суммы штрафов за некачественную строительную продукцию и выплат по рекламациям;
 - снижение затрат на подготовку зданий и сооружений к передаче в эксплуатацию (т. н. подготовительный ремонт).
- Источниками экономического эффекта от повышения качества строительной продукции у её пользователя служат:
- сокращение срока ввода в эксплуатацию;
 - сокращение затрат на пусконаладочные работы;
 - повышение надежности и долговечности зданий и сооружений;
 - снижение затрат при послегарантийном ремонте;
 - снижение эксплуатационных расходов;
 - увеличение выпуска продукции в связи с

уменьшением отказов оборудования (для промышленных предприятий);

- снижение себестоимости выпускаемой продукции (для промышленных предприятий);
- увеличение выпуска продукции и оказания услуг за счет увеличения сроков службы зданий и сооружений.

Следует отметить, что объективной основой для принятия важных решений являются количественные показатели, наиболее важными из которых принято считать показатели себестоимости строительной продукции. В этом аспекте анализ себестоимости равносильен изучению возможностей реализации производственно-коммерческой деятельности конкретного экономического субъекта.

Для органа управления данные, как результат качественного и количественного анализа себестоимости строительной продукции, должны стимулировать поиск путей её снижения и одновременно достижения определенного уровня качества строительной продукции, т. е. способствовать эффективному управлению качеством.

Пристальное внимание к показателю затрат на обеспечение качества строительной продукции вызвано в большей степени тем, что доля таких затрат в стоимости строительства постоянно растет [8–11]. Так, например, исследование этого вопроса в американских компаниях, занятых в сфере инжиниринга показали, что максимальная сумма затрат на обеспечение качества может составлять 15...20 % от стоимости СМР, а их минимальный уровень – 2,5 %.

Информация, полученная при анализе затрат на обеспечение качества строительной продукции, может использоваться как инструмент повышения качества продукции и достижения определенного уровня сбалансированной работы различных элементов на уровнях иерархии в следующих аспектах:

- 1) на уровне «строительный объект» и «строительный участок» для верификации масштаба проблем в области качества строительной продукции и объема затрат, связанных с их решением;
- 2) определение ошибок, допущенных в процессе улучшения качества продукции, с тем, чтобы сконцентрировать усилия для их исправления;
- 3) установление цели работы служб (подразделений) контроля качества и других функциональных отделов строительной организации (корпоративный уровень) в рамках описываемой проблемы;
- 4) определение уровня достижения поставленных целей в контексте управления качеством.

На основе приведенного выше можно утверждать, что анализ затрат на обеспечение качества продукции – это основа выработки комплекса мер, направленных на:

- определение главных ошибок и уровня выполнения поставленных задач различными участками строительной организации;
- программирование деятельности, связанной с качеством строительной продукции, таким образом, чтобы достичь наивысшего уровня производительности труда, машин, рабочей силы и наилучшего интегрального результата в этой сфере;
- установление объема финансовых ресурсов, необходимых для выполнения работ по улучшению качества строительной продукции;
- прогнозирование затрат, необходимых

для управления деятельностью всей строительной организации.

В рассматриваемом контексте очень остро встает вопрос обеспечения качества строительной продукции для технически сложных и уникальных зданий и сооружений [12, 13]. Основными критериями их качества, как известно, являются надежность, устойчивость и долговечность [14, 15]. Для достижения нормативно установленного уровня данных критериев необходимо осуществление научно-технического сопровождения как на этапе проектно-исследовательских работ, так на этапах возведения и эксплуатации подобных объектов.

В этой связи в таблице 1 указаны виды работ научно-технического сопровождения, установленные в нормативно-технической документации и затраты, на которые целесообразно определять в рамках сметных расчетов.

Таблица 1

Номенклатура работ научно-технического сопровождения возведения технически сложных и уникальных зданий и сооружений

№ п.п	Этап	Состав работ	Обоснование
I.	Инженерные изыскания		
1.		Разработка рекомендаций к техническому заданию и программе инженерных изысканий	СП 22.13330.2016
2.		Оценка и анализ материалов инженерных изысканий	СП 22.13330.2016
3.		Оценка геологических рисков	СП 22.13330.2016
4.		Выполнение опытно-исследовательских работ для проектирования оснований, фундаментов и подземных частей сооружений	СП 22.13330.2016
II.	Предпроектные работы		
5.		Разработка специальных технических условий	384-ФЗ
III.	Проектирование		
6.		Независимое составление расчетных моделей с использованием альтернативных сертифицированных программных средств, сравнительный анализ расчетных схем и полученных результатов расчета, осуществляемый организацией, отличной от той, которая разработала проект	ГОСТ 27751-2014
6.1		определение соответствия принятых конструктивных решений требованиям действующих норм и правил проектирования	СП 267.1325800.2016
6.2		определение правильности расчетных моделей, использованных при проектировании (проведение двух независимых расчетов с использованием независимо разработанных программных средств; в рамках НТС выполняется сравнительный анализ расчетных схем и результатов расчетов; для зданий повышенного уровня ответственности (класс КС-3 по ГОСТ 27751-2014) первый расчет выполняется генеральным проектировщиком, второй - организацией, выполняющей НТС)	СП 267.1325800.2016
6.3		установление соответствия текстовых и графических частей проектной документации требованиям действующих норм и результатам расчетов	

6.4		проверка обоснованности принятых проектных решений, не регламентированных нормативными документами	СП 267.1325800.2016
6.5		локальная проверка проектных решений, расчетов наиболее ответственных элементов конструкции	СП 267.1325800.2016
7.		Выполнение испытаний новых конструкций, узлов и элементов соединений, применяемых при строительстве здания, интерпретация результатов испытаний	СП 267.1325800.2016
8.		Уточнение распределения снеговых нагрузок по покрытию зданий и сооружений	СП 20.13330.2016
9.		Уточнение аэродинамических коэффициентов на основании модельных испытаний в аэродинамической трубе	СП 20.13330.2016
10.		Разработка нестандартных методов расчета и анализа при проектировании оснований, фундаментов и подземных частей сооружений	СП 22.13330.2016
11.		Прогноз состояния оснований и фундаментов проектируемого объекта с учетом всех возможных видов воздействий	СП 22.13330.2016
12.		Геотехнический прогноз влияния строительства на окружающую застройку, геологическую среду и экологическую обстановку	СП 22.13330.2016
13.		Разработка программы технического мониторинга при возведении и эксплуатации новых сооружений	ГОСТ 27751-2014
14.		Разработка программы геотехнического и экологического мониторинга	СП 22.13330.2016
15.		Выявление возможных сценариев аварийных ситуаций в части оснований, фундаментов и подземных частей сооружений	СП 22.13330.2016
16.		Разработка технологических регламентов на специальные виды работ	СП 22.13330.2016
17.		Геотехническая экспертиза	СП 22.13330.2016
18.		Совместные расчеты в объемной постановке системы «основание – фундамент – сооружение» в объеме, достаточном для разработки проектного решения по устройству фундамента	СП 22.13330.2016
IV.	Строительство		
19.		Осуществление технического и геотехнического мониторинга	СП 267.1325800.2016
20.		Обобщение и анализ результатов технического мониторинга при возведении	ГОСТ 27751-2014
21.		Обобщение и анализ результатов всех видов геотехнического мониторинга, их сопоставление с результатами прогноза	СП 22.13330.2016
22.		Оперативная разработка рекомендаций или корректировка проектных решений на основании данных технического и геотехнического мониторинга при выявлении отклонений от результатов прогноза	СП 22.13330.2016
23.		Все виды дополнительных работ, определенных на стадии научно-технического сопровождения подготовки проектной документации	
24.		Контроль качества СМР на всех этапах строительства	
24.1		рассмотрение и согласование ПОС, проекта организации производства сварочных работ, ТР отдельных видов работ (сборки болтовых соединений, арматурных и бетонных работ, неразрушающего контроля прочности бетона и т. д.)	СП 267.1325800.2016
24.2		выполнение локальных расчетов конструкций при выявлении отклонений от проектных решений и/или от норм на монтаж и изготовление конструкций (или составление рекомендаций для выполнения таких расчетов)	СП 267.1325800.2016
24.3		выполнение контрольных испытаний материалов, соединений, крепежных элементов	СП 267.1325800.2016

24.4		разработка рекомендаций по выборочному контролю качества материалов, соединений, крепежных элементов	СП 267.1325800.2016
24.5		разработку дополнительных требований по приемке смонтированных конструкций при отсутствии соответствующих требований в нормах на монтаж и изготовление конструкций	СП 267.1325800.2016
24.6		выборочный входной контроль качества материалов и конструкций на строительной площадке	СП 267.1325800.2016
24.7		контроль качества изготовления конструкций и крепежных элементов на предприятиях-изготовителях	СП 267.1325800.2016
24.8		другие мероприятия, предусмотренные программой научно-технического сопровождения, при реализации которых обеспечивается безопасность строительства и эксплуатации здания	СП 267.1325800.2016

Выводы. Учитывая все выше изложенное можно констатировать, что, идентификация номенклатуры затрат на обеспечение качества строительной продукции позволяет строительной организации продолжить стратегическую линию в своём устойчивом и поступательном развитии и наиболее рационально использовать имеющиеся в ее распоряжении ограниченные ресурсы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сборщиков С.Б. Логистика регулирующих воздействий в инвестиционно-строительной сфере (теория, методология, практика): диссертация ... доктора экономических наук : 08.00.05 / Сборщиков Сергей Борисович; Российская экономическая академия. М., 2012. 305 с.
2. Журавлев П.А. К вопросу использования ресурсно-технологического моделирования при формировании инвестиционных программ // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова . 2017. № 7. С. 198–201.
3. Журавлев П.А. Цена строительства и этапы ее формирования // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 9 (104). С. 174–178.
4. Ермолаев Е.Е. Особенности определения фиксированной стоимости строительства в рамках государственных программ // Вестник университета (Государственный университет управления). 2013. № 11. С. 35–38.
5. Ермолаев Е.Е. Управление потребительной стоимостью объектов строительства // Гуманитарные и социальные науки (электронный журнал). 2013. № 3. С. 18–23.
6. Алексанин А.В., Сборщиков С.Б. Оценка экономической эффективности использования новых технологий, материалов и решений в проектах по энергосбережению // Вестник МГСУ. 2009. № 1 (Спецвыпуск). С. 164–167.
7. Жаров Я.В. Учет организационных аспектов при планировании строительного производства в энергетике // ПГС. 2013. № 5. С. 69–71.
8. Шумейко Н.М. Обоснование унифицированной формы локальной сметы на проектные работы // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 6 (53). С. 300–305.
9. Шумейко Н.М. Разработка методических рекомендаций по применению нового шаблона ЛС-П(ШН) для определения стоимости проектных работ // Сметно-договорная работа в строительстве. 2016. №1. С. 19–20
10. Бахус Е.Е. К вопросу совершенствования организационно-технологических решений обеспечения качества строительства объектов ядерной энергетики // Научное обозрение. 2016. № 14. С. 20–23.
11. Лазарева Н.В. Стоимостной инжиниринг как основа интеграции процессов планирования, финансирования и ценообразования в инвестиционно-строительной деятельности // Вестник МГСУ. 2015. № 11. С. 178–185.
12. Ляпин А.В., Ляпин В.Ю. Современный подход к организации сметной деятельности в строительстве // Научное обозрение. 2016. № 8. С. 251–255.
13. Алексанин А.В. Потенциал ресурсосбережения на стадиях создания и функционирования строительного объекта // Научное обозрение. 2017. № 5. С. 12–15.
14. Aleksander Srdić, Jana Šelih. Integrated quality and sustainability assessment in construction: a conceptual model // Technological and Economic Development of Economy. 2011. Vol.17. Pp. 611–626.
15. LiJuan Chen, Hanbin Luo. A BIM-based construction quality management model and its applications // Automation in Construction. 2014. Vol. 46. Pp. 64–73.

Информация об авторах

Сборщиков Сергей Борисович, доктор экономических наук, профессор кафедры технологии, организации и управления строительством.

E-mail: tous2004@mail.ru

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.

Россия, 129337, Центральный федеральный округ, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26.

Лазарева Наталья Валерьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии, организации и управления строительством.

E-mail: tous2004@mail.ru

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.

Россия, 129337, Центральный федеральный округ, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26.

Бахус Евгений Евгеньевич, аспирант корпоративной кафедры СОАЭ.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.

Россия, 129337, Центральный федеральный округ, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26.

Поступила в октябре 2017 г.

© Сборщиков С.Б., Лазарева Н.В., Бахус Е.Е., 2017

Sborshikov S.B., Lazareva N.V., Bahus E.E.

TO THE QUESTION OF EFFICIENCY OF PROVIDING THE QUALITY OF BUILDING PRODUCTION

The task of minimum use of resources in the production process depends not only on the choice of technology, but also on the quality characteristics and parameters of buildings and structures that determine the amount of resource consumption for their operation. At the same time, if the costs of operating buildings are allocated from the total cost of production, it becomes possible to assess their impact on the cost of goods and services. Irrational use of fuel and energy resources in the process of building management, which has a negative impact on energy intensity in industry and housing and communal services, can be prevented even at the stage of the investment project formation. The article is devoted to the problem of estimating the costs of ensuring the quality of construction products and evaluating the effectiveness of such measures. Cost identification is necessary for the implementation of quality management functions of construction products, namely – planning, organization and control in order to identify deviations from standard indicators and the organization of effective management.

Keywords: *construction, quality of construction products, construction organization, costs, efficiency.*

Information about the authors

Sborshikov Sergey Borisovich, PhD, Professor.

E-mail: tous2004@mail.ru

Federal state budget educational institution of higher education «Moscow state university of civil engineering (national research university)»

Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26

Lazareva Natalya Valeryevna, PhD, Assistant professor.

E-mail: tous2004@mail.ru

Federal state budget educational institution of higher education «Moscow state university of civil engineering (national research university)»

Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26

Bahus Evgeniy Evgenyevich, Postgraduate student.

Federal state budget educational institution of higher education «Moscow state university of civil engineering (national research university)»

Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26

Received in October 2017

© Sborshikov S.B., Lazareva N.V., Bahus E.E., 2017

DOI: 10.12737/article_5a27cb931e4879.27049367

Никулина О.М., канд. экон. наук, доц.,
Акимова Г.З., канд. экон. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПРОБЛЕМ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ЖКХ РЕГИОНА

nikom22@yandex.ru

В статье характеризуется современное состояние жилищно-коммунального хозяйства РФ и его роль в выполнении приоритетных задач государства – обеспечении политической стабильности, всесторонней модернизации экономики, повышении ее эффективности и конкурентоспособности, долгосрочном устойчивом развитии. В этой связи отмечается необходимость увеличения усилий по интеграции ЖКХ в указанные инновационные процессы. Рассматриваются основные проблемы и задачи, которые необходимо преодолеть и решить на всех уровнях управления ЖКХ, чтобы данная многофункциональная социально-экономическая система, выбрав инновационный вектор развития, внедрила инновационную культуру во все направления деятельности, стала высокоэффективной, продукция и услуги которой соответствовали бы самым высоким стандартам качества.

Ключевые слова: модернизация экономики, жилищный фонд, коммунальное хозяйство, благоприятная среда обитания, собственники жилья, инновационное развитие, инновационная культура, приоритетные направления.

Основной функцией жилищно-коммунального хозяйства, важнейшей составляющей народнохозяйственного комплекса государства, является создание благоприятной среды жизнедеятельности человека и постоянное повышение ее уровня. Деятельность ЖКХ по выполнению указанной функции сложна и многогранна. С одной стороны, она имеет ярко выраженную социальную направленность, поскольку пользователями услуг ЖКХ являются все без исключения граждане страны. Кроме того, эта сфера обеспечивает работой значительную часть населения. С другой стороны, призвана обеспечивать необходимый микроклимат производственных помещений предприятий и организаций различных отраслей национального хозяйства, чем способствует раскрытию их производственного потенциала. Поэтому успешная деятельность данной отрасли является чрезвычайно важным условием для выполнения важнейших современных задач государства – обеспечение политической стабильности, всесторонней модернизации экономики, повышение ее эффективности и конкурентоспособности, долгосрочного устойчивого развития.

Достижение Россией стратегической цели инновационного развития национальной экономики в условиях современного реформирования всего мирового порядка требует формулирования актуальных стратегических инициатив и их реализацию также и в области ЖКХ, как самостоятельной экономической системы, так и платформы, содействующей инновационному

развитию других отраслей. При этом необходимо отметить, что нынешнее состояние ЖКХ в данном контексте не демонстрирует высоких показателей деятельности и требует скорейшего кардинального переосмысления и глубочайшей его модернизации во всех сферах деятельности: технической, экономической, управленческой, правовой. И, что очень важно – в условиях исполнения амбициозных планов построения экономики знаний, главной производительной силой которой может быть только человек высокоинтеллектуального и высокопроизводительного труда, подготовка государством кадров, способных эффективно управлять инвестиционно-инновационной деятельностью, и создание для них благоприятных и комфортных условий для проживания и производственной деятельности является приоритетной задачей [2, 3, 8, 13].

На рис. 1 представлен перечень основных проблем ЖКХ, которые сгруппированы по однородным признакам в три группы. К этому следует добавить, что в настоящий момент ряд критериев, характеризующих качество жилого фонда России не демонстрируют высокие значения, в частности, это такие ключевые показатели как доступность, безопасность и комфортность [9, 10].

На успешное решение перечисленных проблем оказывают влияние множество факторов на микро-, мезо- и макроуровне (рис. 2) [3, 4, 15]. Они сгруппированы по однородным признакам и представлены укрупненно. Как правило, влияние

факторов не является величиной постоянной, обладает синергетическим эффектом, в разные временные периоды изменяется. При этом качественное изменение факторов может воздействовать на деятельности ЖКК, как в сторону увеличения ее эффективности, так и снижения.

По этой причине на разных уровнях управления необходимо исследовать и ранжировать факторы по степени их взаимовлияния на систему, а также своевременно осуществлять регулирование управляемых параметров для достижения их оптимального сочетания.



Рис. 1. Основные проблемы ЖКХ

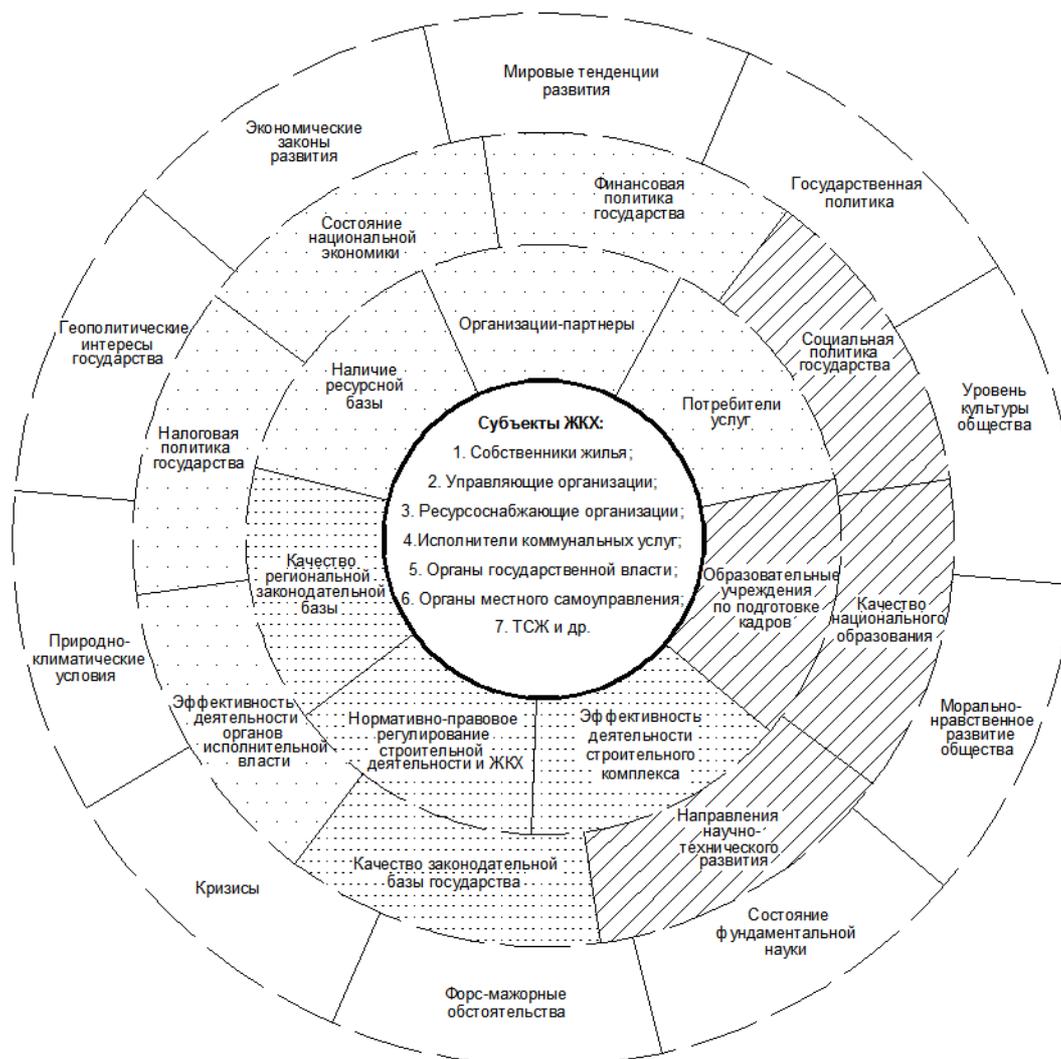


Рис. 2. Основные факторы, оказывающие влияние на решение проблем ЖКХ

Современным специалистам, принимающим управленческие решения, следует учитывать следующие обстоятельства:

- объемы инженерно-технологических, управленческих и научных разработок растут в геометрической прогрессии;
- жизненный цикл цифровых технологий демонстрирует существенное сокращение и постоянное обновление;
- все виды продукции и услуг с большой скоростью заменяются новыми, обновленными, более эффективными;
- сокращаются циклы принятия различных решений и к ним предъявляются все большие требования по части достоверности, своевременности;
- информация становится стратегическим ресурсом бизнеса, зачастую более важным, чем материальные, финансовые и прочие ресурсы;
- все большее внимание при управлении уделяется человеческому фактору, в отличие от ориентации на технологические, производ-

ственные и материальные аспекты деятельности.

Все перечисленное не может не демонстрировать существенных отличий в традиционных и современных подходах к стратегически устойчивому функционированию и развитию жилищно-коммунального хозяйства, а также деятельности смежного ему строительного комплекса. Причем в современных условиях их необходимо рассматривать как целостную многофункциональную социально-экономическую систему. Их успешное взаимодействие невозможно без непрерывного стратегического анализа и разработки проектов и программ, в основе которых лежит использование продуктов научной, научно-технической, нововведенческой деятельности [14].

Чтобы результаты научной деятельности превратились в факторы обновления экономической динамики в ЖКХ, необходимо учесть и преодолеть проблемы, тормозящие инновационное развитие представленные на рис. 3.

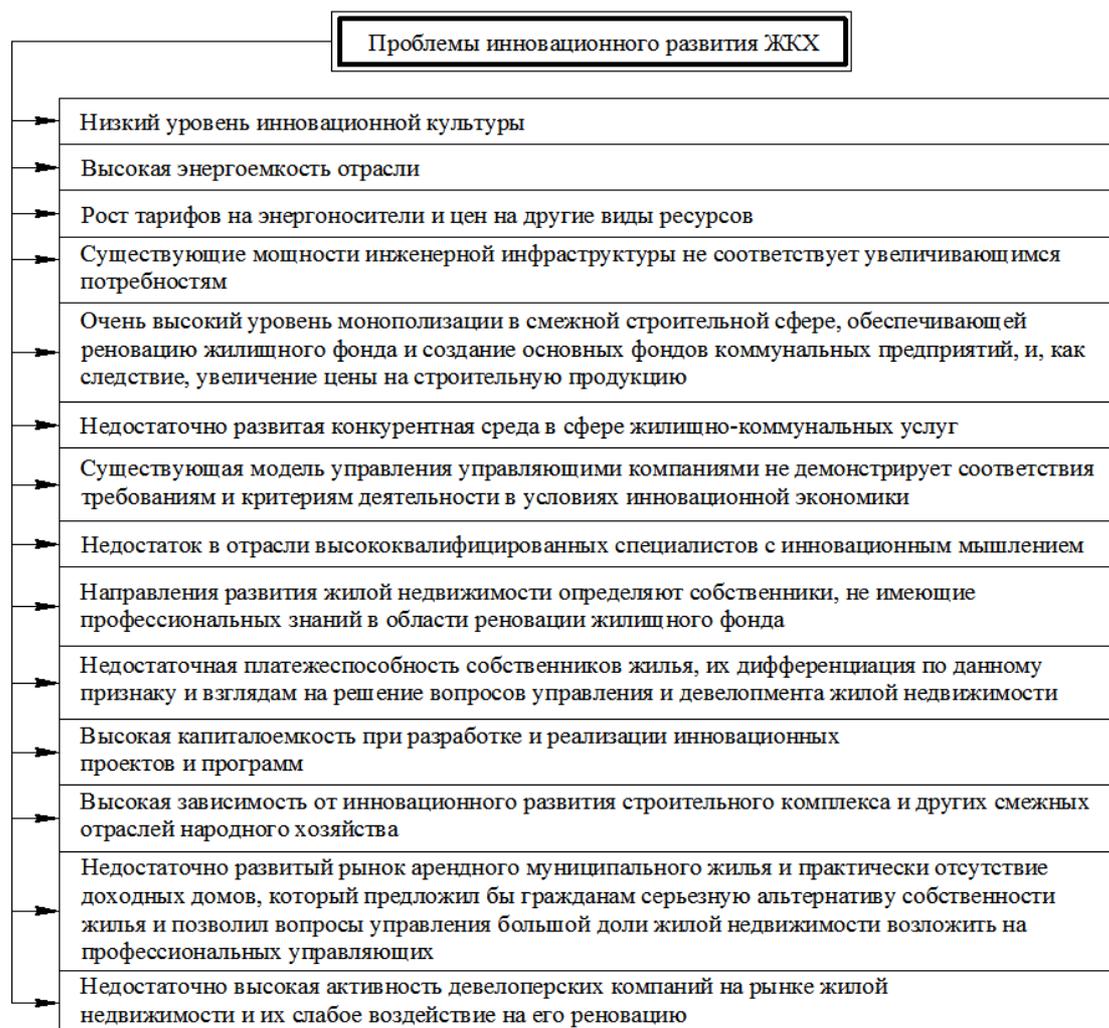


Рис. 3. Проблемы инновационного развития ЖКХ

Прежде всего, обязательным условием видится внедрение инновационной культуры в повседневную деятельность на всех уровнях управления и производства, которую следует рассматривать как создание соответствующего инновационного климата или особой деловой атмосферы жизнедеятельности хозяйствующего субъекта. В свою очередь, инновационная культура должна согласовываться с генеральной стратегией организации и ее миссией в целом. А совокупность ценностных ориентиров и норм организационного поведения определяют инновационный стиль хозяйствующего субъекта [12]. В современном мире это должен быть непрерывный процесс обучения и увеличение научного потенциала отрасли через накопление объектов интеллектуальной собственности, а затем трансформации знаний в технические новинки, передовые технологии, новые виды товаров и услуг, прогрессивные организационно-управленческие приемы [7]. В этой связи, важнейшей задачей стратегического управления должен стать процесс подготовки высококвалифицированных кадров с инноваци-

онным мышлением, а также обеспечение преемственности поколений в сфере научных исследований и технологических разработок. При этом следует учитывать, что специалисты должны обладать не только широчайшим диапазоном профессиональных знаний, но и высоким морально-нравственным уровнем, и как следствие большой ответственностью за порученное дело.

Инновационные процессы невозможны без значительных инвестиционных и интеллектуальных затрат, являются высокорисковыми, поэтому эффективная реализация инновационных проектов и программ возможна только при непрерывном осуществлении комплекса организационных, технических, экономических и законодательных мер, направленных на стимулирование взаимодействия всех субъектов жилищно-коммунального хозяйства региона, представленных на рис. 2 и смежных с ним отраслей. Данная деятельность может успешно осуществляться в различных организационных формах при участии нескольких участников, включая конкурентов, которых объединяет научная, информационная, образовательная деятельность через целевые инновационные программы. При этом должна быть

установлена тесная связь на всех этапах цикла «идея – научная разработка – производство – рынок – конечный потребитель». Использование системного подхода для создания целостных научно-производственно-логистических комплексов объективно закономерно, обусловлено принципами устойчивого развития и потребностями рыночной ориентации хозяйствующих субъектов. Структура таких объединений не может быть типовой. Но одно бесспорно - объединяющей должна быть региональная площадка, инновационный центр, разрабатывающий и реализующий инновационную политику региона в сфере строительства и ЖКХ, формирующий ее инновационную культуру в данном направлении, производящий управляющие воздействия на указанный инновационный процесс. Целью деятельности таких инновационных структур должно быть стремление к постоянному расширению источников идей, поддержанию их непрерывного потока, альтернативности, а также создание благоприятного климата, содействующего инновационной активности всех участников в поиске возможностей оптимизации технико-экономических показателей программ и проектов [1, 5, 6, 11].

Данные процессы подразумевают необходимость использования программно-целевых и системных подходов к разработке и реализации региональных проектов, концентрируя при этом внимание, прежде всего, на следующих компонентах:

- в рамках существующего законодательства создание условий для увеличения интеллектуального потенциала ЖКХ региона;

- создание информационного специализированного банка данных о патентах, прогрессивных технологиях, изобретениях, научно-исследовательских организациях, ученых и т.д.;

- объединение и координация деятельности субъектов ЖКХ по инновационному развитию;

- способствование насыщению рынка труда высококвалифицированными специалистами в области ЖКХ и др.

В заключение хотелось бы отметить тот факт, что в современном мире жесточайшая конкурентная борьба требует от стран, претендующих на мировое лидерство и сохранение суверенитета, разрабатывать управленческие концепции таким образом, чтобы в крайне сложных условиях политической и нестабильной экономической ситуации они позволяли выстраивать экономическую модель, основанную на новейших знаниях, а также непрерывно совершенствовать ее с целью всесторонней устойчивости, преодоления постоянно возникающих неожиданных

препятствий как за пределами страны, так и внутри ее на макро-, мезо- и микроуровне.

Чрезвычайно важным является и всестороннее повышение эффективности деятельности в области градостроительства и жилищно-коммунального хозяйства, как одной из компонент этой модели. Ведь данная отрасль обязана обеспечивать благоприятные условия жизнедеятельности населению России, которое определяет ее социальный и производственный потенциал, а также дальнейшее успешное функционирование и развитие.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бабаева М.С. От интересов акционеров к интересам широких заинтересованных групп в основе стратегической устойчивости бизнеса // Вестник МГСУ. 2016. № 10. С. 94–104.

2. Бредихин В.В., Бредихина Н.В. Некоторые подходы к реконструкции городского пространства в условиях сложившей застройки // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 2. С. 47–50

3. Герасимова Н.А., Когтева А.Н., Никулина О.М., Королькова Д.И. Региональный рынок доступного жилья: формирование и развитие. Белгород: ИП Остащенко А.А., 2015. 109 с.

4. Глаголев Е.С., Глаголева Н.Н., Матвеева О.П. Факторы, сдерживающие развитие инновационных процессов в контексте формирования социально-экономической модели страны // Стратегия инвестиционно-инновационного развития России в условиях глобальных экономических вызовов: монография / Ю.А. Дорошенко, С.Н. Глаголев, А.Я. Аркатов и др.; под ред. Ю.А. Дорошенко. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. С. 42–73.

5. Джемали Ольтиона, Стрябкова Е.А. Развитие инновационной экономики Белгородской области // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 8. С. 219–224.

6. Дорофеева Л.В. Становление взаимосвязи между инфраструктурным и инновационным развитием регионов // Вестник образования и развития науки российской академии естественных наук. 2014. № 3. С. 90–94

7. Дорошенко Ю.А., Малыхина И.О. Коммерциализация и трансфер результатов научно-технической деятельности вуза как фактор активизации инновационных процессов в экономике // Стратегия инвестиционно-инновационного развития России в условиях глобальных экономических вызовов: монография / Ю.А. Дорошенко, С.Н. Глаголев, А.Я. Аркатов и др.; под ред. Ю.А. Дорошенко. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. С. 84–100.

8. Дружникова Е.П. Значение реконструкции гражданских зданий в решении социально-функциональных проблем развития современных российских городов // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: материалы международных академических чтений. Курск: Изд-во Курского гос. ун-та, 2014. С. 216–221.

9. Никулина О.М. Анализ проблем экономико-правового характера при обеспечении безопасности объектов капитального строительства жилого назначения // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: материалы международных академических чтений. Курск: Изд-во Курского гос. ун-та, 2014. С. 221–228.

10. Никулина О.М., Герасимова Н.А., Когтева А.Н., Королькова Д.И. Инновационная составляющая в повышении доступности и комфортности жилой недвижимости в регионе [Электронный ресурс] // Фундаментальные исследования. 2015. № 11-6. С. 1215-1219; URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39722> (дата обращения: 11.10.2017).

11. Никулина О.М., Дружникова Е.П. Методическое обеспечение рыночно-ориентированного подхода к реконструкции жилого фонда

первых массовых серий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 5. С. 232–238.

12. Ряпухина В.Н., Анжелович М., Кастратович Э. Роль инновационной культуры в функционировании и развитии организационных систем // Стратегия инвестиционно-инновационного развития России в условиях глобальных экономических вызовов: монография / Ю.А. Дорошенко, С.Н. Глаголев, А.Я. Аркатов и др.; под ред. Ю.А. Дорошенко. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. С. 139–146.

13. Сарченко В.И. Концепция рационального использования городских территорий с учетом их скрытого потенциала // Жилищное строительство. 2015. № 11. С. 9–13.

14. Сомина И.В. Инфраструктурная составляющая инновационной системы России: сущность, состав, оценка эффективности // Стратегия инвестиционно-инновационного развития России в условиях глобальных экономических вызовов: монография / Ю.А. Дорошенко, С.Н. Глаголев, А.Я. Аркатов и др.; под ред. Ю.А. Дорошенко. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. С. 170–185.

15. Яськова Н.Ю. Методологические аспекты учета принципа цикличности в исследовании экономических явлений строительной сферы // Вестник МГСУ. 2017. Том 12. Выпуск 6 (105). С. 680–686.

Информация об авторах

Никулина Ольга Михайловна, кандидат экономических наук, доцент кафедры стратегического управления.

E-mail: nikom22@yandex.ru

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

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

Акимова Галина Захаровна, кандидат экономических наук, доцент кафедры стратегического управления.

E-mail: galina.akimova.2012@mail.ru

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

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

Поступила в октябре 2017 г.

© Никулина О.М., Акимова Г.З., 2017

Nikulina O.M., Akimova G.Z.

THE ANALYSIS OF THE MAIN PROBLEMS OF THE REGION HOUSING AND COMMUNAL SERVICES INNOVATIVE DEVELOPMENT

The current state of the region housing and communal services and its role in carrying out the priority tasks of the state, i.e. in the political stabilization, in the comprehensive modernization of the economics, in the increasing of its efficiency and competitiveness, in the long-term sustainable development, are characterized in the article. In this regard, the need to increase integration efforts of the housing and communal services in the innovative processes is noted. The main problems and the tasks, that are needed to be overcome and solved at all levels of the management of the housing and communal services, so that this multi-functional socio-economic system after choosing of the innovative vector of the development could implement the innovative culture in all areas of the activities, became highly effective, and its products and services could match the highest quality standards, are shown.

Keywords: *the modernization of the economics, the housing fund, the communal services, the favorable habitat, the homeowners, the innovative development, the innovative culture, the priority areas.*

Information about the authors

Nikulina Olga Mikhailovna, PhD, Assistant professor.

E-mail: nikom22@yandex.ru

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

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

Akimova Galina Zakharovna, PhD, Assistant professor.

E-mail: galina.akimova.2012@mail.ru

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

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

Received in October 2017

© Nikulina O.M., Akimova G.Z., 2017

Абакумов Р.Г., канд. экон. наук, доц.,
Наумов А.Е., канд. тех. наук, доц.,
Ходыкина И.В., магистрант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ДЕМПИНГ ЦЕН В ТЕНДЕРАХ НА СТРОИТЕЛЬНЫЕ ПОДРЯДЫ

AbakumovRG2000@mail.ru

В статье раскрывается определение и сущность демпинга цен на строительные подряды. Описано содержание и эффект применения демпинга подрядных организаций на этапе тендера. Проанализированы проблемы, возникающие в результате применения демпинга цен при реализации объекта строительства. Рассмотрена существующая законодательная база РФ, регулирующая данную область, выявлены недостатки. Предложены «антидемпинговые меры».

Ключевые слова: демпинг цен в строительстве, тендер, строительный подряд, законодательная база, «антидемпинговые меры».

Сегодня подрядные торги проводятся не только в традиционной форме, но и на электронных площадках, где размещается полная информация об их проведении. Казалось бы, данная система позволяет приносить наибольшую экономическую выгоду участникам тендера, однако, любая система имеет недостатки.

Тендер в строительстве – это торги на право заключения договора на выполнение проектно-сметных, строительных, строительно-монтажных, ремонтных и отделочных работ, а также на поставку материалов. Организация, которая объявляет такие конкурсы, является заказчиком. В качестве заказчика может выступать как государственное или муниципальное предприятие, так и частная организация или же физическое лицо. Примерно 30 % всех заявок приходятся на государственные тендеры, а около 70 % подрядных

торгов объявляются коммерческими организациями.

Государственные строительные тендеры проходят по строгим правилам, которые разработаны в соответствии с законодательством Российской Федерации (см. рис.1) [1]. Федеральные законы 44-ФЗ («О контрактной системе») и 223-ФЗ («О закупках»), направленные на регулирование данной сферы, теоретически обеспечивают, но не гарантируют участникам качественного исполнения процедуры подрядных торгов как со стороны заказчиков, так и со стороны исполнителей [2]. Если конкурс проводит коммерческая организация, то нормы, прописанные в законах, носят уже не обязательный, а рекомендательный характер.



Рис. 1. Заказчики, принимающие участие в тендерах на строительные подряды

Цель проведения тендера – выбор наиболее подходящего предложения в соответствии с требованиями заказчика. Такие конкурсы проводятся на бесплатной основе. В целом тендер представляет собой добровольное соревнование ряда исполнителей за получение заказа. Официально система строительных тендеров заработала

в России с 2006 года. С того самого момента данная система обязательна для государственных заказов.

Тендеры пользуются большой популярностью среди строительных компаний, прежде всего потому, что с их помощью заказчик находит исполнителя работ рациональным способом.

Итогом становится заключение контракта подрядчиком, который может выполнить заявленный объем работ качественно, в установленный срок и за оптимальную стоимость.

Для строительной компании «одержать победу в тендере» значит обеспечить себя работой и стабильным доходом на определенный срок. Более того, победители крупных строительных тендеров в случае успешной реализации проекта занимают лидирующие позиции в сфере строительного бизнеса. В то же время участие в таких конкурсах может стать положительным опытом и для проигравших организаций: даже отрицательный результат делает их узнаваемыми на рынке.

Строительные работы – это долгий, трудоемкий процесс, требующий привлечения серьезных профессиональных исполнителей. Поэтому и выбор компании, которая будет выполнять строительные работы, является делом ответственным, зачастую сопряженным с определенным финансовым риском. С момента появления строительных тендеров их эффективность часто ставится под сомнение. Одной из самых распространенных проблем при проведении тендера является демпинг цены.

Демпинг (от англ. dumping – сброс) – продажа товаров и услуг по искусственно заниженным ценам. Законодательством понятие демпинга, к сожалению, не определено. Поэтому

дать ему юридическую оценку не представляется возможным.

Тренд на удешевление продукции и услуг на строительном рынке отмечен на всех уровнях – начиная с заказчиков строительства, архитекторов, подрядчиков и заканчивая производителями светопрозрачных конструкций.

Демпинговые цены существенно ниже рыночных, а иногда даже ниже, чем себестоимость товара или услуги. Считается, что снижение цены на 15–20 % можно считать демпингом.

Демпинг проводится с различными целями (см. рис.2):

При срочной потребности в денежных средствах: получение заказа любой ценой для дальнейшего содержания фирмы, выплаты зарплаты работникам и покрытия расходов.

С целью установления контакта с заказчиком [3]. Захват новых рынков, как одна из главных целей использования демпинга.

С целью вымогательства денежных средств у заказчика.

Вытеснение конкурентов. Компания может заранее согласиться на определенные убытки и невыгодные для себя условия, чтобы отвоевать значительную долю рынка и затем поднять цены – компенсируя свои потери за счет большей прибыли [4].



Рис.2. Цели использования демпинга подрядчиком

Согласно исследованиям, проведенными специалистами НИУ ВШЭ, в 2010 году на электронных площадках было объявлено 142 450 аукционов в электронной форме по правилам действующего на тот момент 94-ФЗ. Было проанализировано 32 283 аукциона (22,66 %), из них завершённые аукционы составили 31 220 (96,7 %), аукционы со статусом «заказчик отказался» – 1 063 (3,3 %). Объектами данного исследования являлись аукционы, на которых было выявлено снижение начальной цены контракта от 30 до 50%.

Из всего объема проанализированных процедур снижение цены от 30 до 50 % зафиксировано в 4,9 % случаев. Процент «демпинговых аукционов» из завершённых аукционов в группе «Строительный подряд и ПИР» составил 7,8 %. Из 487 рассмотренных контрактов: 1) успешно реализованные контракты – 62,4 %: исполнены раньше срока 20,7 %; исполнены в срок 41,7 %; 2) потенциально проблемные контракты: исполняются 2,0 %; 3) проблемные контракты – 35,6 %: исполнены не в срок 13,8 %; исполняются с нарушением сроков 14,2 %; расторгнуты 7,6 % (см. рис. 3) [5].

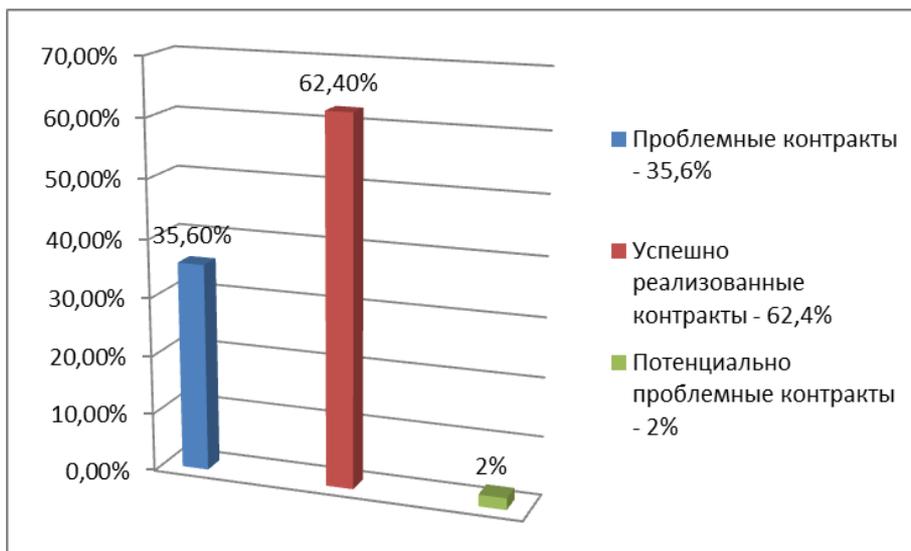


Рис.3. Анализ «демпинговых» контрактов на электронных площадках по данным исследования специалистов НИУ ВШЭ

В 2014 году с понижением реальной цены контракта более чем на 25 % было зафиксировано 6,6 % государственных контрактов, в 2015 году – 5,9 %. Это свидетельствует о том, что «антидемпинговые меры», установленные в 44-ФЗ, в какой-то степени помогают справляться с проблемой демпинга цен. Однако действующие ограничения не снижают рисков заказчика. Опрошенные эксперты полагают, что данный порог нужно снизить до 10 %. Такая скидка может

сигнализировать о демпинге или некорректном определении начальной цены [6].

Вследствие этого возникает острая необходимость совершенствования «антидемпинговых мер». По 44-ФЗ эти меры выражаются в повышенном обеспечении контракта (в полуторном размере): если участник снизил цену более чем на 25 %, то заказчик обязан запросить повышенное обеспечение контракта (см. табл.1).

Таблица 1

«Антидемпинговые меры» в соответствии с 44-ФЗ

Снижение участником цены контракта	Начальная цена контракта	Информация о добросовестности	Размер обеспечения
Менее < 25 %	Независимо от начальной цены	Не требуется	ПР (Первоначальный размер обеспечения, установленный в аукционной документации)
25 % и > более	Более 15 млн. руб.	Не требуется	ПРх1,5 (Не менее чем в размере аванса, если контрактом предусмотрена его выплата)
		Не представлена	
	15 млн. руб. и менее	Представлена	ПР (Первоначальный размер обеспечения, установленный в аукционной документации)

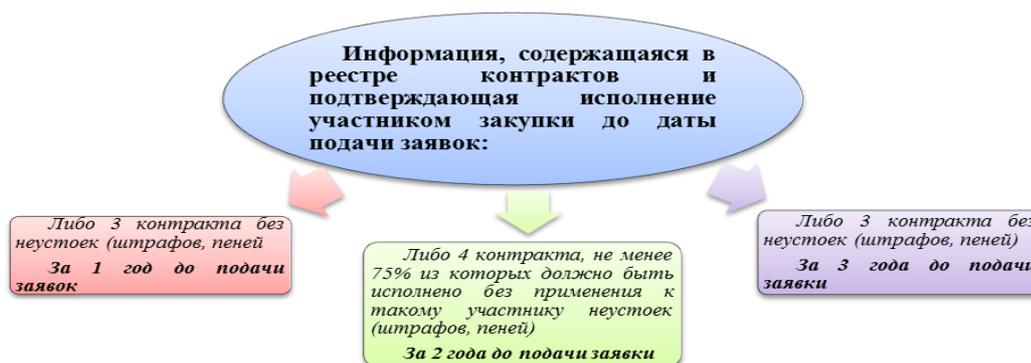


Рис. 4. Информация, подтверждающая добросовестность участника тендера в соответствии с 44-ФЗ

44-ФЗ предусмотрены так называемые критерии «добросовестного поставщика/подрядчика» (см. рис.4). Общее условие для всех участников тендера – цена одного из контрактов

должна составлять не менее чем 20% цены, по которой участником предложено получить контракт [3].

Компании, участвующие в тендере, видят свои плюсы и минусы в применении демпинга цен (см. табл. 2).

Таблица 2

Плюсы и минусы демпинга цен для участника в тендере на строительный подряд

Плюсы	Минусы
Возможность продвижения на строительном рынке при сильных позициях конкурентов.	Меньшие показатели деятельности компании – сокращение доходности и рентабельности.
Эффективное продвижение продукции. Демпинг не требует дополнительных инвестиций и затрат.	Используя демпинг, компания настраивает против себя профессиональное сообщество.
	У заказчика может сформироваться негативное мнение о подрядчике и предоставленных им услугах, так как большинство покупателей уверены – цена говорит о качестве продукта.

На данный момент система проведения тендеров несовершенна. Безусловно, это справедливый способ продвижения для добросовестных компаний с хорошей репутацией. Но отсутствие полного контроля над системой с разных сторон приводит к дальнейшим негативным последствиям [1].

Уровень квалификации организаций, участвующих в тендере, является одним из ключевых факторов обеспечения качества строительной продукции. Квалификация – понятие, включающее совокупность показателей, характеризующих способность и готовность компании выполнить соответствующий объем работ по контракту. К данным показателям относятся:

- материальные, финансовые, профессиональные и прочие ресурсы, имеющиеся в распоряжении подрядчика;
- опыт выполнения подобных проектов генподрядной организацией;
- репутация подрядчика на строительном рынке, оцениваемая на основании данных о его финансовом положении, степени удовлетворенности предыдущих заказчиков, выявленных нарушениях законодательства и регламентов проведения подрядных торгов, участия в судебных разбирательствах.

Для того чтобы избежать возникновения проблемных ситуаций на этапе реализации проекта, включая проблему демпинга цен, необходимо предусмотреть обязательное использование процедуры предварительной квалификации при организации любых закупок в сфере строительства за исключением закупок малых и повторяющихся работ, а также применить следующие меры:

1) использовать методический подход к выбору победителя тендера по критерию максимального обеспечения исполнения контракта, в основе которого лежит обоснованная стоимость строительства, рассчитанная с высокой точностью, и не подлежащая изменению в результате торгов.

2) внедрить механизм, позволяющий «отсечь» претендентов, заявивших необоснованно заниженные цены путем введения в конкурсную документацию требований снижения стоимости строительства не в целом по смете, а по каждому виду работ, и введением дополнительной функции для конкурсной комиссии по проверке обоснованности заявленной стоимости по видам работ [3].

Обостряется роль современной законодательной базы и контролирующих органов (в особенности для коммерческих структур). Для решения данной проблемы необходимо внести соответствующие предложения по совершенствованию нормативной базы. Конечно, какой бы хорошей ни была законодательная база, она ничего не стоит без адекватной работы контролирующих органов. В этой связи рассматривается вариант создания специальной комиссии, отвечающей за мониторинг и правильный расчет стоимости контрактов. Ее основной целью будет являться определение справедливой, актуальной стоимости товара или услуги. Основная задача комиссии – выявить предложения ниже и выше нормы и отклонить, не рассматривая. Также необходимо внедрить в данную рабочую группу соответствующих специалистов. Для более эффективной работы такой комиссии возможно массовое объединение производителей качественных материалов и услуг в ассоциации, союзы [8].

Во избежание спорных ситуаций и сомнений в отношении предоставляемых подрядчиком услуг необходимо повысить их качество. Если конкурент снижает цены, то, скорее всего, страдает качество и сервис. Следовательно, всегда есть возможность улучшить данные показатели, не прибегая к демпингу, доказав потребителям, что ваш товар того стоит.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон от 05.04.2013 № 44-ФЗ (ред. от 07.06.2017) «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд».

2. Федеральный закон от 18.07.2011 № 223-ФЗ (ред. от 07.06.2017) «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц».

3. Шелайкина А.Н., Абакумов Р.Г. Развитие методологических основ управления рисками инвестиционно-строительных проектов // Инновационная наука. 2017. № 1-1. С. 120–122.

4. Дорошенко Ю.А., Голубоцких М. Конкурентный потенциал как ресурсная составляющая конкурентной устойчивости предприятия // Белгородский экономический вестник. 2017. № 1(85). С. 21–26.

5. Дорошенко Ю.А., Голубоцких М. Факторы конкурентной устойчивости и оценка их влияния на предприятия промышленности строительных материалов // Белгородский экономический вестник. 2017. №1 (85). С. 26–31.

6. 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.

7. Дорошенко Ю.А., Малыхина И.О., Брежнев А.Н. Модель инициирования инвестицион-

ных проектов как инструмент активизации инвестиционно-инновационной деятельности региона // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 6. С. 178–181.

8. Дорошенко Ю.А., Климашевская А.А. Технологическая модернизация предприятий как условие инновационно-инвестиционного развития регионов // Актуальные проблемы экономического развития сборник докладов VII Международной научно-практической конференции. 2016. С. 75–79.

9. Дорошенко Ю.А., Малыхина И.О. Теоретико-методологические подходы к определению основ развития инвестиционно-инновационной деятельности региона // Актуальные проблемы экономического развития сборник докладов VII Международной научно-практической конференции. 2016. С. 85–89.

10. Дорошенко Ю.А., Малыхина И.О. Важнейшие технологии развития инвестиционно-инновационной деятельности регионов России // Белгородский экономический вестник. 2016. №2 (82). С. 21–26.

11. Дорошенко Ю.А., Климашевская А.А. Технологическая модернизация предприятий как условие инновационного развития Белгородской области // Белгородский экономический вестник. 2016. № 2 (82). С. 3–7.

12. <http://integross.net/tender-kak-odna-iz-osnovnyx-problem-v-stroitelstve/>

13. <https://www.vedomosti.ru/realty/articles/2015/10/25/614198-goszakupok-stroitelnie-raboti>

14. https://otc.ru/academy/articles/28072016_veb

15. <https://www.kom-dir.ru/article/156-demping>

16. <https://www.hse.ru/pubs/share/direct/document/59435884>

17. <http://www.radidomapro.ru/ryedktzij/gosudartsvo/poekty/minegkonomrazvitiia-snizit-porog-dempinga-na-stroj-22792.php>

Информация об авторах

Абакумов Роман Григорьевич, кандидат экономических наук, доц. кафедры экспертизы и управления недвижимостью.

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

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

E-mail: AbakumovRG2000@mail.ru

Наумов Андрей Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой экспертизы и управления недвижимостью.

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

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

E-mail: andrena@mail.ru

Ходыкина Инна Васильевна, магистрант.

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

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

E-mail: vidana013@yandex.ru

Поступила в октябре 2017 г.

© Абакумов Р.Г., Наумов А.Е., Ходыкина И.В., 2017

Abakumov R.G., Naumov A.E., Khodykina I.V.

DEMPING PRICES IN TENDERS FOR CONSTRUCTION CONTRACTS

The article reveals the definition and essence of the dumping of prices for construction contracts. The content and effect of the dumping of contractors at the tender stage is described. The problems arising as a result of the use of price dumping in the sale of a construction object are analyzed. The existing legislative base of the Russian Federation regulating the given area is considered, shortcomings are revealed. Proposed "anti-dumping measures"

Keywords: *dumping of prices in construction, tender, construction contract, legislative base, "anti-dumping measures"*.

Information about the authors

Abakumov Roman Grigorievich, PhD, Assistant professor.

E-mail: AbakumovRG2000@mail.ru

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

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

Naumov Andrey Evgenievich, PhD, Assistant professor.

E-mail: andrena@mail.ru

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

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

Khodykina Inna Vasilievna, Master student

E-mail: Kat_isto@mail.ru

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

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

Received in October 2017

© Abakumov R.G., Naumov A.E., Khodykina I.V., 2017

DOI: 10.12737/article_5a27cb9857a949.84634369

Хорошун Н.А., канд. социол. наук, доц.,
Шамаева О.П., канд. социол. наук, доц.,
Дорошев Б.А., студент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

КОНКУРЕНТНАЯ РАЗВЕДКА С ПОМОЩЬЮ ЯНДЕКС.ДИРЕКТ

nara-rita@yandex.ru

В настоящее время по объемам привлекаемого трафика Яндекс.Директ занимает второе место среди систем контекстной рекламы, однако по ряду свойств он уступает Google AdWords. Повысить качество и количество приходящего трафика можно с помощью правильной настройки Яндекс.Директа. Помочь правильно его настроить может конкурентная разведка. В ходе конкурентной разведки можно выявить типы конкурентов и отталкиваясь от этого формировать свои рекламные поисковые запросы. То насколько эффективно распределен рекламный бюджет во многом зависит от грамотной настройки Яндекс.Директа. В зависимости от тематики предлагаемых услуг и продукции Яндекс устанавливает индекс релевантности на основе которого формируется цена запроса. В перспективе, внедрение и развитие конкурентной разведки с помощью Яндекс.Директ приводит к увеличению прибыли компании посредством улучшения качества и уникальности контекстной рекламы, а также значительно экономит финансовые и временные ресурсы.

Ключевые слова: Яндекс.Директ, семантика, поисковый запрос, контекстная реклама, конкурентная разведка.

Введение. Нас каждый день окружает контекстная реклама, рекламные баннеры на улицах и сайтах, но мы даже не задумываемся сколько на этом зарабатывают рекламодатели. В России не так много наружной рекламы, как в США и ЕС, но большинство предпринимателей уже дают 70 % своей рекламы в интернете [1, С. 85]. Место на интернет ресурсах не так ограничено, как на улицах, что влечет удешевление интернет рекламы по сравнению с наружной.

Яндекс.Директ – мощнейший инструмент контекстной рекламы в России [2, С. 121].

Правильно настроенная рекламная кампания в Яндексе позволит получать огромное количество заявок, которые при грамотном обращении превратятся в клиентов, а клиенты – в деньги. Но надо понимать, что в Директе предприниматель не одинок, через Яндекс уже давно рекламируются конкуренты. Ниже показано, как реклама в Яндекс.Директ отображается в поиске.

Цена неточности в настройке Директа может оказаться очень высокой – десятки, сотни тысяч рублей, так что будем учиться на чужих ошибках. Для этого нам и понадобится конкурентная разведка, она позволит оттолкнуться от результатов конкурентов, а не начинать с нуля [3].

Методика. В данной работе были использованы следующие методы теоретического исследования: анализ, синтез, индукция и дедукция.

Основная часть. Без знания своих конкурентов нельзя произвести правильную конкурентную разведку, поэтому разберём их основные типы.

Основные типы конкурентов:

Упёртый. Стоит до последнего. Ставки громадные настолько, что цена клиента дороже, чем с него можно заработать. Но он всё равно не двинется с места.

Невидимка. Его не видно, и создаётся впечатление, что и вовсе нет. Чаще он рекламируется в рекламной сети Яндекса, где потенциал намного больше, чем в поиске. Поэтому никогда не стоит забывать о Невидимке.

Хитрец. Он думает, что умнее всех, использует несколько сайтов для Директа. Поджигает конкурентов, поднимает ставки, тратя бюджет.

Профи. Он действительно делает всё, как надо, но таких, как он – мало. И главная задача конкурентной разведки – найти этих лидеров. Тех, у кого можно взять лучшее [4, С.38].

После того, как мы узнали типы конкурентов, необходимо выяснить, что покажет нам конкурентная разведка [13, С.69].

Что покажет конкурентная разведка?

- Семантику – ключевые слова, по которым показываются объявления. Исходя из этого, мы сможем расширить нашу рекламную кампанию и привлечь новых клиентов.

- Тексты объявлений. Мы поймём, какие слова и фразы больше влияют на поток клиентов.

- Стратегию по позициям – где стоят объявления в поиске, на трёх верхних или на четырёх нижних позициях. Чем выше стоит объявление, тем больше вероятность, что клиент заметит рекламу.

- Стратегию по аудитории – пол, возраст. Если в продаже прыжки с парашютом, то тратить

деньги на показ объявлений дедушкам и бабушкам будет малоэффективно.

- **Время** – когда показываются объявления. Если магазин работает до 21:00, то, показывая рекламу ночью, есть риск зря потратить рекламный бюджет.

- **Географию** – где показываются объявления. Магазин работает только в Москве, а Директ настроен на всю Россию. Опять же лишняя трата денег.

- **Бюджет** – с помощью специальных сервисов (таких, как СайтРепорт или SpyWords) можно выяснить, сколько конкурент тратит на рекламу в Яндекс.Директе, как она меняется в зависимости от разных факторов. Это позволит увидеть слабые места конкурента и сэкономить рекламный бюджет [6, С.138].

Теперь перейдём к тому, как анализировать конкурентов. Механика конкурентного анализа. Берём три популярных запроса в определенной тематике.

В первую очередь, мы должны выбрать такие запросы, которые отображают, что клиент собирается купить этот товар или услугу, а не просто интересуется ими. Так мы сразу будем работать с запросами, которые приносят наибольшую прибыль. Например, «Где можно купить наушники в Мытищах?» – сразу видим, что у клиента есть большая потребность в покупке наушников, а не просто интерес [5, С.180].

Переходим в раздел «Показать все», который находится под правым баннером, и видим список из всех, кто рекламируется по этому запросу.

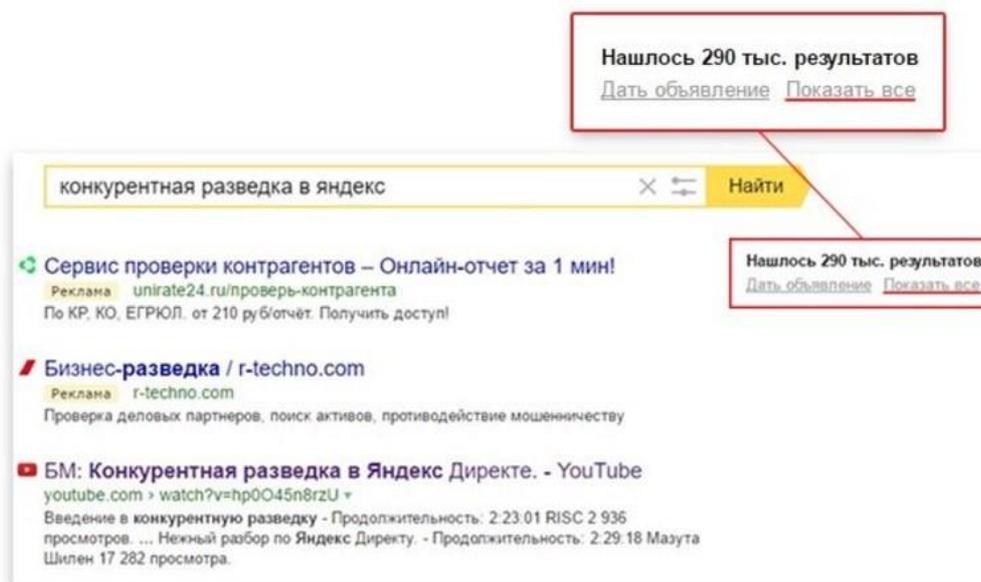


Рис. 1. Демонстрация возможности «Показать все»

Далее выписываем топ-10 конкурентов, это наше «поле боя». Теперь нужно понять, что же представляют из себя конкуренты. Далее, мы будем изучать рекламные объявления и лендинги конкурентов [7, С.64].

- Объявление ведёт на посадочную страницу или на сайт?

Первое, что вы должны посмотреть – куда лётся трафик. Как правило, у посадочных страниц выше конверсия, а значит, и стоимость одного клиента гораздо ниже.

- Есть ли UTM-метка?

Смотрим в адресной строке браузера, там, где название сайта. Всё, что следует после названия сайта и знака вопроса – это UTM метка. С её помощью можно посмотреть, с каких рекламных кампаний и ключевых слов приходят клиенты [8, С.30].

Адаптивный ли контент?

В зависимости от поискового запроса может меняться контент на сайте. Допустим, добавляя к запросу прибавку «в Самаре», на сайте может появиться специальная надпись или акция для жителей города. Весьма интересная функция, позволяющая привлекать всё больше новых клиентов.

- Адаптирован ли сайт или лендинг под мобильные устройства?

Часто бывает, что мобильная версия открывается наполовину или весь текст смещён в одну сторону. Прочитать информацию в таком случае невозможно. Никогда не стоит забывать про мобильную версию, если нет желания потерять огромную часть трафика [9, С.134].

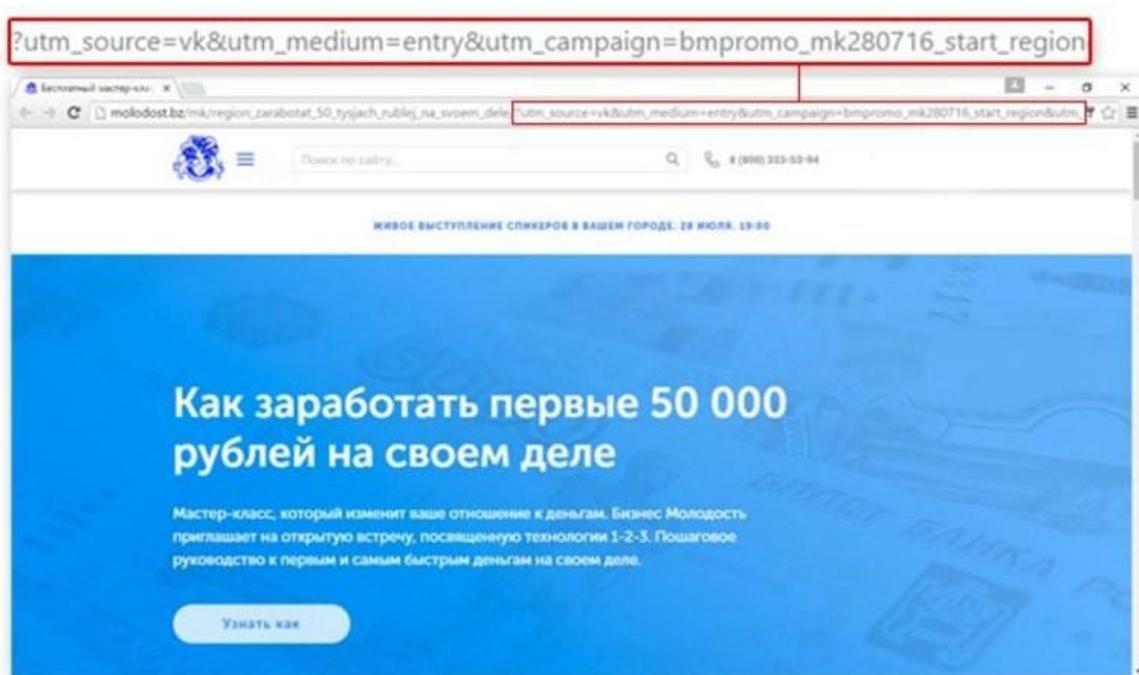


Рис. 2. UTM метка в адресной строке браузера



Рис. 3. Адаптивность сайтов

- Адаптирована ли вёрстка для разных браузеров?

Открывается ли сайт в разных браузерах? Если да, то он должен отображаться одинаково. Стоит обратить на это внимание, в противном случае есть шанс потерять аудиторию, например, браузера Explorer [15, С.143].

- Подключена ли Яндекс.Метрика или Google Analytics?

Эти счётчики позволяют узнавать много информации о сайте, на основе которой можно сделать сайт лучше и получать новые заявки [10, С.152].

- Наличие подменных номеров Яндекса и CallTracking

Подменный номер – это номер, указанный на сайте, чтобы отслеживать звонки, которые поступили при помощи рекламы. Своеобразная UTM метка для звонков. Чтобы проверить, есть ли подменный номер у конкурента, необходимо просто открыть его сайт в режиме инкогнито. Если номер поменялся, значит, он подменный [11, С.317].

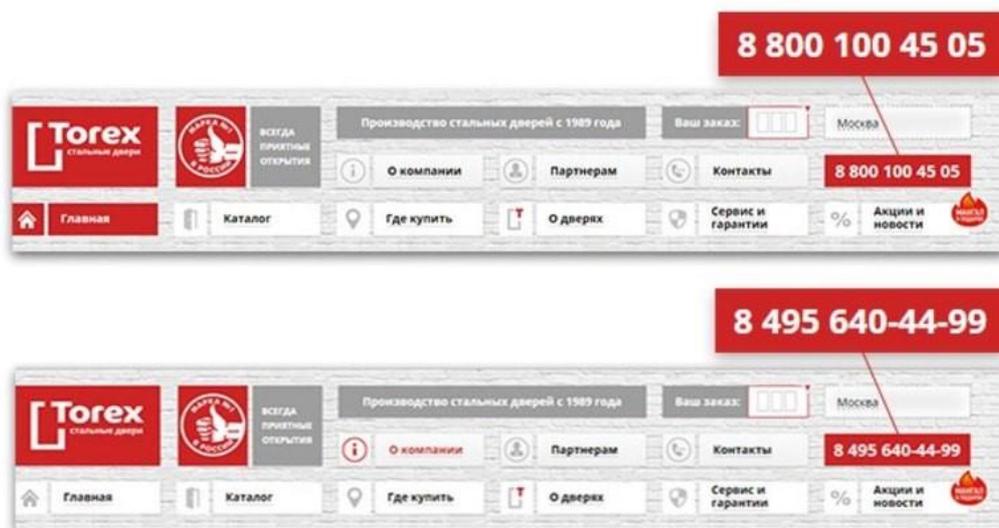


Рис. 4. Проверка подменного URM номер

«Карма домена»

Если в прошлом вы уже имели не самый удачный опыт рекламы в Яндекс, то будьте уверены, что он это запомнил и завысит вам ставки. Это означает, что вам придется тратить больше денег на рекламу. Проверьте карму своего домена и сравните с конкурентами [14, С.180].

Зайдите в Яндекс.Директ, создайте тестовую кампанию. После создайте одинаковые объявле-

ния, указывая самые дорогие запросы, желательно не из вашей тематики. Например, вы торгуете рыбой, укажите рекламу пластиковых окон. Одинаковый заголовок, текст объявления, всё одинаковое, кроме адреса сайта. Представьте, будто вы хотите запустить трафик на ваших конкурентов, и впишите адреса их сайтов. Сравните цену на одинаковые объявления для разных сайтов. Чем выше цена, тем «карма домена» хуже [12, С.137].

цена 1-го спецразмещения	2 500.10	2 500.10
цена 2-го спецразмещения	1 595.40	1 138.60
вход в спецразмещение	1 070.00	1 070.00
цена 1-го места	864.10	305.00
вход в гарантию	69.80	69.80

цена 1-го спецразмещения	2 500.10	2 500.10
цена 2-го спецразмещения	1 469.90	1 049.10
вход в спецразмещение	985.90	985.90
цена 1-го места	729.00	257.30
вход в гарантию	58.90	58.90

Рис. 5. Сравнение цен объявлений на разных сайтах

Выводы. Грамотно руководствуясь ошибками конкурентов, появляется возможность платить меньше, чем они, но стоять выше в рекламных позициях. Например, платить за клик 100 рублей, но получать больше клиентов, чем те, кто платят 150 или 200.

Потратьте день на изучение конкурентов и их объявлений, и вы посмотрите совсем другими глазами на рекламу в Яндекс.Директ. Это позволит сэкономить ваши средства, привлечь больше клиентов и увеличить вашу прибыль в несколько раз.

В этой статье собрана лишь маленькая часть от всех возможностей и плюсов правильной настройки Яндекс.Директ, которая влияет на прибыль. Но ознакомившись с ней, создается общее представление о контекстной рекламе, указанные выше методики позволяют получить реальное видение положения компании на рынки и положение её конкурентов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Демура Н.А. К вопросу о классификации факторов экономического роста и развития // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 5. С. 130–134.
2. Демура Н.А. Основные подходы к управлению развитием предприятия // Социально-гуманитарные знания. 2014. №8. С. 266–273.
3. Делать дело [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://delatdelo.com/pomoshh-malomu-biznesu/podderzhka/programmy/gos/pomoshh-malomu-biznesu-ot-gosudarstva.html> (дата обращения 05.09.16)
4. Значение экономических терминов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki> (дата обращения 05.09.16)
5. Хорошун Н.А., Шамаева О.П. Кадровая политика как часть стратегически ориентированной политики организации // Инновационная наука. 2016. № 1-3 (13). С. 178–183.
6. Совершаева С.В. Контекстная реклама как инструмент интернет маркетинга на российском рынке: анализ основных систем размещения // Проблемы современной экономики. 2013. №1 (45). С. 138 - 142.
7. Романова А. И. Конкурентоспособность предприятия: методы оценки, стратегии повышения // Современная конкуренция. 2007. №5. С. 46 – 48.
8. Дубцова А.Э., Петрова О.А. Контекстная реклама // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2010. №6. С. 30 – 34.
9. Макарова Е.А. Особенности контекстной рекламы в интернете // Актуальные вопросы экономических наук. 2012. №25-1.
10. Гилев Н.А. Контекстная реклама - инструмент повышения эффективности маркетинговых коммуникаций в Интернете // КЭ. 2010. №8. С. 152 - 154.
11. Климов П.С. Контекстная реклама –основной вид рекламы в интернете. Создание контекстного объявления // Актуальные вопросы экономических наук: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Уфа, июнь 2014 г.). Уфа: Лето, 2014. С. 108–111.
12. Оковкина О.Н., Чупайда А.М. Пути повышения конкурентоспособности предприятия // Экономический журнал. 2010. №19. С.137 - 140.
13. Курманов В.В. Современные тенденции развития интернет-маркетинга и электронной торговли в России // Вестник ЮУрГУ. Серия: Экономика и менеджмент. 2013. №3. С. 169 - 176.
14. Андрейченко Н.В., Полякова Е.Ю. Social networking for successful branding and PR-activities // Пространство экономики. 2011. №3-2. С. 180 - 182.
15. Жуков А.В. Обоснование способов и средств интернет-продвижения товара по этапам жизненного цикла // Экономические исследования. 2011. №4. С. 143–146.

Информация об авторах

Хорошун Нарине Агасиевна, доцент кафедры социологии и управления

E-mail: nara-rita@yandex.ru

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

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

Шамаева Ольга Петровна, доцент кафедры социологии и управления

E-mail: nara-rita@yandex.ru

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

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

Дорошев Богдан Александрович, студент.

E-mail: vasgenama@mail.ru

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

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

Поступила в октябре 2017 г.

© Хорошун Н.А., Шамаева О.П., Дорошев Б.А., 2017

Khoroshun N.A., Shamaeva O.P., Doroshev A.B.**COMPETITIVE INTELLIGENCE VIA YANDEX.DIRECT**

At present volumes of traffic Yandex.direct is the second largest contextual advertising systems, however, for some properties it is inferior to google adwords. To improve the quality and quantity pricekamagra traffic using correct settings for Yandex.direct. Help to configure it correctly can competitive intelligence. In the course of competitive intelligence, you can identify the types of competitors and building on this to form their advertising and search queries. How effectively do distributed your advertising budget largely depends on proper set up Yandex.direct. Depending on the topics offered products and services Yandex establishes the relevance index on the basis of which a price request. In the future, the introduction and development of competitive intelligence via Yandex.direct leads to the increase of the company's profits by improving the quality and uniqueness of contextual advertising, but also saves financial and time resources.

Keywords: *Yandex.direct, semantics, search query, contextual advertising, competitive intelligence, construction organization.*

Information about the authors

Khoroshun Narine Agasievna, Assistant professor.

E-mail: nara-rita@yandex.ru

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

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

Shamaeva Olga Petrovna, Assistant professor.

E-mail: nara-rita@yandex.ru

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

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

Doroshev Bogdan Alexandrovich, Bachelor student.

E-mail: vasgenama@mail.ru

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

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

Received in October 2017

© Khoroshun N.A., Shamaeva O.P., Doroshev A.B., 2017

DOI: 10.12737/article_5a27cb9994a3d3.42680194

¹Тумин В.М., д-р экон. наук, проф.,²Бухонова С.М., д-р экон. наук, проф.,²Молчанова В.А., канд. экон. наук, доц.¹Московский политехнический университет²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ПРИОРИТЕТЫ РОССИЙСКОГО ФИНАНСОВОГО СЕКТОРА В УСЛОВИЯХ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО РОСТА ЭКОНОМИКИ

Molchanova_VA@mail.ru

Российская экономика проявила большую, чем ожидалось многими экспертами, устойчивость к двойному потрясению, вызванному снижением цен на нефть и санкциями. Наблюдаются обнадеживающие признаки преодоления рецессии и входа в новый экономический цикл. На основе анализа сложившейся ситуации в банковском секторе авторы рассматривают приоритетные направления финансовой политики, необходимые для формирования фундамента, обеспечивающего реализацию модели экономического роста. Авторы акцентируют внимание на двух ключевых приоритетах: обеспечения гарантий надежности банков и возможности внедрения прорывных банковских инноваций. Особое внимание уделено изменениям законодательной базы и механизма оздоровления проблемных банков.

Ключевые слова: конкурентоспособность финансового сектора, санация банков, надежность банков, система урегулирования проблемных банков, финтех-инфраструктура.

Введение. Антироссийские санкции, повлекшие проблемы импортозамещения, способствовали формированию стимулирующих развитие условий в ряде отраслей, в первую очередь в аграрном секторе, фармацевтике, отдельных высокотехнологичных отраслях. Речь идет о большей доступности кредитов, снижении процентов за счет бюджетных субсидий, сильных налоговых стимулах, бюджетных инвестициях. Действенными оказались и ответные меры финансовой политики - гибкий обменный курс, поддержка ликвидности банковской системы, ограниченное бюджетное стимулирование, постепенная дедолларизация экономики.

Минэкономразвития прогнозирует рост ВВП РФ в 2017 год на 2,1 %. Прогноз по росту ВВП РФ на 2018 год повышен до 2,1 %, на 2019 год – 2,2 %, на 2020 год – до 2,3 %. Ранее Минэкономразвития ожидало, что экономика России будет расти в 2018–2020 годах ежегодно на 1,5 %

Центральный банк имеет несколько менее оптимистические взгляды и прогнозирует рост в диапазоне 1,3–1,8 процента [5].

Благоприятные тенденции отмечаются и в последнем докладе Всемирного Банка по экономике России "От рецессии к восстановлению", посвященного анализу экономического развития с прогнозом на 2017–2019 годы [12].

Эксперты сходятся во мнении, что дальнейшее восстановление российской экономики будет проходить медленно.

Экономика по-прежнему функционально зависит от динамики сырьевых цен. Но именно повышение цен на нефть вдвое с низкого уровня в 26 долл. США за баррель в январе 2016 года до более 50 долл. США за баррель в мае 2017 года и заложило фундамент для подъема. Теперь важно максимально использовать этот «попутный ветер» для восстановления и роста экономики.

Однако всплеск геополитической напряженности, недостаточные объемы инвестиций вследствие отсутствия структурных реформ или более медленное, чем ожидается, восстановление банковской системы могут сказаться на темпах подъема и среднесрочных перспективах.

Высокую инвестиционную активность будет сдерживать не только снижение числа источников инвестиций, но и неопределенность в финансовом секторе, существенные риски в банковском секторе при низкой кредитной активности.

В обращении Президента России к участникам XXVI Международного финансового конгресса «Финансы для развития» отмечена необходимость «внедрять передовые, отвечающие мировым стандартам технологии, которые повысят конкурентоспособность российского финансового сектора... Это открывает новые возможности для инвестиционной и предпринимательской активности» [9].

Основная часть. Под давлением финансовой изоляции российского рынка, его отрезанности от международных рынков капитала финансовый сектор неизбежно трансформируется. Рынок сужается, финансовые ресурсы стали дороже

ввиду отсутствия импорта дешевых ресурсов, внутренние ресурсы ограничены, и как следствие

прежняя система финансовых институтов и посредников сегодня должна объективно сократиться.

Таблица 1

Показатели деятельности банковского сектора (на начало года)

Показатели	2008	2010	2013	2014	2015	2016	2017	2017*
Действующие кредитные организации	1136	1058	956	923	834	733	623	589
Совокупные активы (пассивы) банковского сектора, млрд. руб.	20125	29430	49510	57423	77653	83000	80063	80778
в % к ВВП	60,8	75,4	74,0	80,9	98,0	99,7	93,0	
Собственные средства (капитал) банковского сектора, млрд. руб.	2671	4621	6113	7064	7928	9009	9 387	9 614
в % к ВВП	8,1	11,8	9,1	9,9	10,0	10,8	10,9	
Достаточность капитала Н1.0, %	15,5	20,9	13,7	13,5	12,5	12,7	13,1	12,9
Рентабельность активов, %	3,0	0,7	2,3	1,9	0,9	0,3	1,2	1,7
Рентабельность капитала, %	22,7	4,9	18,2	15,2	7,9	2,3	10,3	14,4

* на 1.07.2017 //составлено по данным [10]

Экономика восстанавливается после двухлетней рецессии, и банковский сектор, несмотря на наличие проблем, демонстрирует признаки нарастающей стабильности. Показатели деятельности банковского сектора в течение последнего года улучшались (табл.1). Проводится последовательное оздоровление банковской системы. В 2016 году ЦБ РФ закрыл 110 кредитных организаций по сравнению со 101 в 2015 году. За первое полугодие 2017 года были отозваны лицензии на осуществление банковской деятельности у 34 российских банков. Это проблемные банки, бизнес-модель которых ориентирована на высокорискованное кредитование заемщиков, в том числе нерезидентов, связанных с конечными бенефициарами кредитной организации, банки, не соблюдающие требования законодательства и нормативных актов ЦБ РФ в области противодействия легализации (отмыванию) доходов, полученных преступным путем, и финансированию терроризма, неспособные своевременно исполнять обязательства перед кредиторами.

Рентабельность банков повышается с сохранением существенных различий между организациями. Прибыль банковского сектора за первые шесть месяцев 2017 года достигла 770 млрд рублей, это в два раза выше, чем за аналогичный период прошлого года [5]. Это источник роста капитала банковской системы.

Коэффициент достаточности капитала оставался в целом стабильным около 13 процентов при минимальном нормативном уровне в 8 процентов. При этом коэффициент общего капитала первого уровня (СЕТ1) составил 9,2 процента по сравнению с обязательной нормой по постепенно вводимой системе Базель-III на уровне 4,5 про-

цента. Банковское финансирование за счет депозитов характеризовалось умеренным ростом, и в настоящее время банковская система имеет структурный профицит ликвидности. Кредитная деятельность в розничном сегменте перестала сокращаться, а в экономике в целом сохраняла положительные темпы роста, хотя и на низком стагнирующем уровне, при росте объема кредитов в среднем на 2 процента в год с начала 2016 года.

ЦБ РФ предпринимает меры для поддержания финансовой стабильности. С помощью недавно созданной Службы анализа рисков ЦБ РФ начал использовать некоторые элементы обзора качества активов для всей банковской системы, и ожидается, что этот обзор будет завершен к концу 2018 года. Центральный банк также ужесточил макропруденциальные требования, чтобы уменьшить долларизацию за счет установления более высоких весов по риску для капитала в отношении валютных кредитов банков; укрепил процедуры стресс-тестов; ввел организованные в несколько уровней основы надзора для банков; определил надбавку к капиталу для десяти отечественных банков, имеющих системную значимость [7].

Текущие экспертные оценки состояния банковского сектора, как правило, осторожны. Показательно заявление вице-премьера РФ А. Дворковича, отметившего, что «состояние банковского сектора не оказывает негативного влияния на российскую экономику». Но, если подтвердится устойчивый характер наблюдаемой тенденции роста экономики, желаемой стабилизации будет недостаточно, неопределенность в финансовом секторе может стать сдерживающим фактором.

Фокус должен смещаться на вопросы развития конкуренции, новых технологий, финансовой доступности.

«Проведение текущих реформ финансового сектора для содействия повышению емкости финансовой системы и поддержания роста экономики» отмечены в числе главных приоритетов финансовой политики, необходимых для формирования фундамента, обеспечивающего реализацию модели экономического роста [7].

В данной статье хотелось бы остановиться на двух ключевых, с нашей точки зрения, приоритетах: обеспечения гарантий надежности банков и возможности внедрения прорывных банковских инноваций.

Санацию банков в России возродили в 2008 году для борьбы с банковским кризисом. С того времени в реструктуризацию различных кредитных организаций вложено более триллиона рублей [8]. Не являются единичными и случаи повторной санации проблемных банков из-за краха их первичного санатора, что влечет за собой не только дополнительные затраты, но и репутационные риски (риски неправильной оценки и выбора санатора). В текущем году Банк России объявил об инициативах, нацеленных на усиление надзора за банковским сектором, сокращение мошенничества и укрепление механизма урегулирования несостоятельных банков.

Принят закон, вносящий поправки в действующие основы урегулирования проблемных банков [2]. Вступающее в силу с середины июня законодательство вносит изменения и заменяет собой систему урегулирования действующих проблемных банков, работу которой обеспечивало Агентство по страхованию вкладов (АСВ), на систему, обслуживаемую ЦБ РФ.

Новая система позволит ЦБ РФ осуществлять вливания капитала, но только после списания собственного капитала акционеров, вместо предоставления через АСВ кредитов по ставкам ниже рыночных. Допускаются ограниченные возможности обмена долга на участие в капитале для субординированных обязательств, принадлежащих лицам, которые занимают управленческие должности и/или осуществляют контроль над банком.

Новым законом создается Фонд консолидации банковского сектора (ФКБС), финансируемый и управляемый ЦБ РФ, который будет финансировать операции окончательного урегулирования. Фонд и управляющая компания действуют на основании законов «Об инвестиционных фондах», «О рынке ценных бумаг» и «О несостоятельности (банкротстве)».

Фонд находится под управлением единственного участника в лице ООО «Управляющая компания Фонда консолидации банковского сектора», чьим собственником является Банк России. Для ФКБС не предусмотрено прямого механизма финансирования со стороны федерального правительства, и его размеры будут определяться отдельно для каждого случая. И наконец, ЦБ РФ получит большинство в совете директоров АСВ, чтобы более полно контролировать реструктуризацию банков, проходящих в настоящее время процедуру урегулирования.

Эти инициативы включают более пристальный надзор за аудиторами банков, усиление ответственности руководства банков за предоставление неточной отчетности, наличие представителя Банка России во всех банках, подлежащих надзору, и установление специального фонда рекапитализации банков, который заменит собой действующий в настоящее время и менее эффективный механизм оздоровления банков через Агентство по страхованию вкладов. Таким образом, Банк России предлагает перейти с кредитного механизма финансового оздоровления на капитальный, когда вместо льготного кредита проблемный банк докапитализируется ЦБ РФ.

Введение нового режима регулирования для банков позволит Банку России высвободить некоторые ресурсы и сосредоточить внимание на надзоре за более крупными и сложными финансовыми организациями.

Однако, несмотря на то, что управляемая ЦБ РФ открытая система урегулирования проблемных банков имеет выраженные положительные характеристики, по мнению экспертов МВ Фона пока не в полной мере соответствует международным стандартам. Основные недостатки введенного механизма детально рассмотрены в материалах июньского Доклада Международного Валютного Фонда [7]. Возможно, новый механизм не идеален, но это однозначно существенный шаг вперед в направлении обеспечения стабильности банковского сектора.

Пилотным проектом в апробации нового механизма оздоровления проблемных банков стала санация банка «Открытие».

«Открытие» - системно значимый банк, входящий в топ-10 российских банков, являлся (до августа 2017 года) крупнейшим по активам частным игроком на российском банковском рынке. Банкротство «Открытия» в масштабах российской банковской системы могло бы быть сопоставимо с ситуацией с инвестбанком Lehman Brothers, рухнувшим в сентябре 2008 года и спровоцировать полномасштабный кризис банковского сектора.

Санатором выступит сам Банк России. В банке назначена временная администрация, в состав которой вошли сотрудники ЦБ и управляющей компании ФКБС. Именно к этой УК в управление и будет переведен пакет акций банка, который получит ЦБ как новый собственник и санатор. Доля регулятора составит не менее 75 %, до 25 % останутся у предыдущих собственников, но только в том случае, если временная администрация не выявит у банка отрицательный капитал [6].

Санация банка «Открытие» будет проходить в два этапа, продолжительностью предположительно шесть – восемь месяцев, в то время как санация по стандартной схеме может длиться 10–15 лет.

Мораторий на удовлетворение требований кредиторов не вводится, механизм конвертации средств кредиторов в акции (bail-in) не применяется.

Сумма средств на оздоровление не раскрывается, ее еще предстоит оценить временной администрации, но, по экспертным оценкам, оздоровление может стать крупнейшим по объему вкладываемых средств. Это первый случай санации банка из числа системно значимых кредитных организаций (до этого крупнейшим случаем санации считался Банк Москвы). Новый механизм финансового оздоровления банков предполагает продажу банка новому владельцу после завершения процедуры оздоровления. Возможно, что успешность первого проекта ФКБС можно будет оценить уже в следующем году.

Влияние технологий на финансовый сектор постоянно усиливается. Россия здесь продвигается в русле глобальных трендов. И отчасти даже опережая некоторые из этих трендов: например, мобильные приложения у российских банков уже очень продвинутые, а в том, что касается развития финансовых технологий, то, по оценке Ernst&Young, российский рынок сейчас третий в мире [6]. Поддержка финтеха и предотвращение киберпреступлений в финансовой сфере – приоритетные задачи Банка России.

Стратегической целью на среднесрочную перспективу является создание национальной финтех-инфраструктуры. Это те необходимые элементы, которые будут иметь ценность и будут востребованы всеми участниками рынка, которые обеспечат удобство входа на рынок для игроков разных размеров. Национальная инфраструктура будет способствовать конкуренции на этом рынке, возникновению нескольких финансовых экосистем и в итоге – более дешевых и качественных продуктов для граждан [14].

По уровню проникновения финтех-услуг Россия сегодня в ряду мировых лидеров. Финтех-

услуги в России популярнее, чем в развитых странах. Доля пользователей финтех-услуг среди людей, активно пользующихся интернетом, составляет 43 %. Выше только в Китае (69 %) и Индии (52 %). В США для сравнения 33%, Германии – 35% [9]. Потенциал роста финтех-отрасли как в сфере переводов и платежей, так и в области финансового планирования, накопления и инвестиций, займов, страхования.

Особое внимание в банковском бизнесе занимают blockchain-технологии, это «новый интернет для финансовой отрасли».

Изучением возможностей blockchain в финансовой сфере занимаются международные консорциумы HyperLedger и R3 CEV, участниками которых являются крупнейшие банки и инвестиционные компании мира. В России создание своего консорциума в 2016 году инициировал Банк России; в его состав входят Сбербанк, Qiwi, Бинбанк, банк «Открытие», Тинькофф Банк, Альфа-банк и ряд других участников рынка. В задачи организации входят изучение и внедрение технологий распределенных регистров (blockchain), облачных технологий, управления большими массивами данных (BigData) и развитие системы упрощенной идентификации. В апреле 2016 года в Банке России был создан департамент финансовых технологий, проектов и организации процессов, который занимается мониторингом, анализом и оценкой возможного использования перспективных технологий и инноваций на финансовом рынке.

Интерес к технологии огромен, реализованы успешные пилоты в разных областях. Центральный банк России разрабатывает блокчейн-систему «Мастерчейн» на основе Ethereum. Планируется, что она позволит в онлайн-режиме проводить платежи, верифицировать данные о клиенте или условия сделки, а также создавать другие финансовые сервисы. В России создается Ассоциация блокчейна и криптовалют (РАБИК), которая объединит участников рынка блокчейн-технологий, владельцев криптовалют и инвесторов. Корпоративный университет Сбербанка, являющийся «дочкой» банка, планирует открыть курсы по блокчейну. Внешэкономбанк и Ethereumfoundation подписали соглашение о партнерстве, предусматривающее, в том числе, сотрудничество в области блокчейна и подготовку специалистов для этой сферы. Сбербанк и ПАО «Северсталь» развивают сотрудничество в сфере технологических инноваций и анонсировали прототип, позволяющий проводить международные аккредитивные сделки с использованием технологии блокчейн. «Альфа-банк» и S7 Airlines запустили платформу на основе кодов

блокчейн-платформы Ethereum для проведения торговых операций.

Выводы. Сегодня мы видим начало финансовой технологической революции, способной кардинально изменить бизнес-модели компаний в различных областях, трансформировать финансовые институты.

Роль регулятора в данной сфере исключительно высока.

Расширяется использование традиционными финансовыми институтами новых технологий, что влечет за собой увеличение рисков не только финансовой, но и технологической природы. И регулятор должен превентивно иметь единые стандарты работы с базами данных, качеством данных, требования к моделям, которые применяются, к аутсорсингу данных, требования к информационной безопасности. Это огромный пласт работы, и сейчас, когда в экономике и в финансовой системе ситуация стабилизировалась, появились реальные возможности фокусироваться на вопросах инноваций и развития.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон «О банках и банковской деятельности» (в редакции Федерального закона от 3 февраля 1996 года N 17-ФЗ) (с изменениями на 26 июля 2017 года). [электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/9004805>
2. Федеральный закон от 01.05.2017 № 84-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». [электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201705010003?index=0&rangeSize=1>
3. Бухонова С.М., Дорошенко Ю.А., Максимчук Е.В. Некоторые аспекты развития рынка криптовалюты биткойн. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. №7. С. 206–214.
4. Ведев А. Необходима стабилизация финансового сектора // Центр стратегических разработок. – 2017. – 31 августа. [электронный ресурс]. URL: <http://csr.ru/news/neobhodima-stabilizatsiya-finansovogo-sektora/>
5. Выступление Председателя Банка России Э. Набиуллиной на XXVI Международном финансовом конгрессе 13 июля 2017 года [электронный ресурс]. URL: http://www.cbr.ru/press/st/press_centre/Nabiulina_170713/
6. Дементьева С., Божко М. Оздоровление по-новому: как ЦБ будет спасать банк «Открытие» // РБК – 2017. – 29 августа. [электронный ресурс]. URL: http://www.rbc.ru/finances/29/08/2017/59a57a229a7947e0229a99b8?from=center_1
7. Доклад Международного Валютного Фонда для консультаций 2017 года в соответствии со статьей IV. – 2017. – Июнь. [электронный ресурс]. URL: www.imf.org/media/Files/Publications/CR/2017/Russian/cr17197r
8. Константинов Д. Санация банков в России: оправданы ли расходы на оздоровление // Forbes. – 2017. – 14 апреля. [электронный ресурс]. URL: <http://www.forbes.ru/biznes/342457-sanaciya-bankov-v-rossii-opravdany-li-rashody-na-ozdorovlenie>
9. Материалы XXVI Международного финансового конгресса «Финансы для развития». – 2017. – 12-14 июля. [электронный ресурс]. URL: <http://ibcongress.com/>
10. Обзор банковского сектора Российской Федерации» (Интернет-версия) выпуски 112-178 [электронный ресурс]. URL: <https://www.cbr.ru/analytics/?PrfId=bnksyst>
11. Пресс-релизы Сбербанка [электронный ресурс]. URL: http://www.sberbank.ru/ru/press_center/all/article_news
12. Российская Федерация. Экономика России: от рецессии к восстановлению. Доклад об экономике России. №37. Всемирный Банк. – 2017. [электронный ресурс]. URL: <http://documents.vsemirnyjbank.org/curated/ru/884071497517672466/pdf/116237-WP-P161778-PUBLIC-RUSSIAN-RERusforweb.pdf>
13. Сегодня идеальная ситуация для любого реформатора. Интервью Президента, Председателя Правления Сбербанка Г. Грефа // Ведомости. – 2016. – 28 декабря (№4234) [электронный ресурс]. URL: <https://www.vedomosti.ru/finance/characters/2016/12/27/671482-idealnaya-situatsiya>
14. Стратегия развития финансового рынка Российской Федерации на период до 2020 года. [электронный ресурс]. URL: https://www.cbr.ru/sbrfr/archive/fsfr/archive_ffms/ru/press/russia2020/strategy2020/index.html
15. ЦБ озглавил санации // Ведомости. – 2017. – 26 июня (№ 4349) [электронный ресурс]. URL: <https://www.vedomosti.ru/finance/articles/2017/06/26/695921-tsb-departament>

Информация об авторах

Тумин Валерий Максимович, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры менеджмента.

E-mail: vm@tumin.net

Московский политехнический университет.

Адрес: Россия, 107023, Москва, ул. Большая Семеновская, д. 38.

Бухонова София Мирославовна, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры финансового менеджмента.

E-mail: Licheva_irina@mail.ru

Белгородский государственный университет им. В.Г. Шухова.

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

Молчанова Вера Алексеевна, кандидат экономических наук, доцент кафедры финансового менеджмента.

E-mail: Molchanova_VA@mail.ru

Белгородский государственный университет им. В.Г. Шухова.

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

Поступила в октябре 2017 г.

© Тумин В.М., Бухонова С.М., Молчанова В.А., 2017

Tumin V.M., Bukhonova S.M., Molchanova V.A.
PRIORITIES OF THE RUSSIAN FINANCIAL SECTOR IN THE CONDITIONS OF POTENTIAL GROWTH OF THE ECONOMY

Based on the analysis of the current situation in the banking sector, the authors consider the priority areas of financial policy necessary for the formation of a foundation that ensures the implementation of the model of economic growth. The authors focus on two key priorities: ensuring the reliability of banks and the possibility of introducing breakthrough banking innovations. Particular attention is paid to changes in the legislative framework and the mechanism for the recovery of problem banks.

Keywords: *financial sector competitiveness; sanitation of banks; reliability of banks; system for resolving problem banks; fintech-infrastructure.*

Information about the authors

Tumin Valeryj Maksimovich, Ph.D., Professor.

E-mail: vm@tumin.net

Moscow Polytechnic University

Russia, 107023, Moscow, Bolshaya Semenovskaya str., 38.

Buhonova Sofiya Miroslovovna, Ph.D., Professor.

E-mail: Licheva_irina@mail.ru

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

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

Molchanova Vera Alekseevna, Ph.D., Assistant professor.

E-mail: Molchanova_VA@mail.ru

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

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

Received in October 2017

© Tumin V.M., Bukhonova S.M., Molchanova V.A., 2017

DOI: 10.12737/article_5a27cb9acb2d94.65782439

Чикина Е.Д., канд, экон. наук, доц.,
Янченко Е.Ю., канд. экон. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА КРЕДИТНОГО РИСКА КОММЕРЧЕСКОГО БАНКА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ЭММ И ПРОГРАММ MATHCAD И EXCEL

atchikina@mail.ru

Настоящая работа посвящена анализу и оценке риска кредитного портфеля коммерческого банка с применением методов экономико-математического моделирования. В статье рассмотрены два подхода к управлению кредитным риском – с позиции централизованного управления (выполнение норм, установленных ЦБРФ), а также подход децентрализованного управления, связанный с разработками моделей и методов оценки качества кредитного портфеля на основе экспертных суждений. Анализ апробирован с помощью данных финансовой отчетности реально действующей кредитной организации и программных продуктов Mathcad (автоматизированное программирование с математическими вычислениями) и Microsoft Excel (электронные таблицы). Особо рассматриваются случаи, когда возникает необходимость учитывать большое количество факторов, по-разному влияющих на принимаемые решения.

Ключевые слова: *достаточность капитала банка, дисперсия и семивариация кредитного портфеля, качество кредитного портфеля, кредитный риск, моделирование и программные продукты Mathcad и Excel, нормативы ЦБРФ, централизованное и децентрализованное управление.*

Введение. Методы математических задач представляются широким классом моделей. Их использование позволяет осуществить экономические, финансовые, производственные, банковские и другие виды расчетов при условии обеспечения оптимального результата при заданных ограничениях и выбранных критериях оценки результата.

Моделирование финансово-экономических процессов в банковской деятельности – это итерационный процесс, каждый этап которого решает определенные задачи, поставленные аналитиком. Центральное место процесса занимает расчет математической модели, который может быть представлен в виде системы математических отношений, описывающих изучаемый объект или явление [1, 2]. Расчет математической модели дает возможность проанализировать все изменения, происходящие внутри изучаемого объекта или явления, а также исследовать среду его окружения; выявить факторы, которые благоприятно или нет отражаются на нем. Некоторые факторы, которые имеют значительное влияние, в модели могут быть представлены как события, существенно влияющие на объект исследования.

Процесс управления коммерческим банком с применением методов экономико-математического моделирования позволяет оценить качество кредитного портфеля банка, минимизировать риски, сопутствующие кредитным операциям, выбрать оптимальные доходобразующие направления.

Необходимо отметить, что при использовании экономико-математических моделей у аналитика или ЛПР (лица, принимающего решение) появляется возможность сделать предварительный отбор наиболее оптимальных вариантов решений или решений, наиболее близких к оптимальным. Однако нельзя не отметить, что нет таких решений, которые были бы полностью оптимальны или, как говорят, оптимальны «абсолютно». Так или иначе, каждое решение, которое будет получено в результате экономико-математического моделирования, будет оптимально по одному или нескольким критериям, и не оптимально по каким-либо другим критериям. Невозможно учесть все, что происходит в банковской деятельности и за ее пределами. Методы моделирования не всеильны, однако, как мы говорили выше, дают возможность аналитику принимать решения с особо тщательным подходом, с учетом различных вариантов развития событий.

В качестве примера исследования был взят коммерческий банк АО «Россельхозбанк» – один из крупнейших банков России, который специализируется на финансировании предприятий агропромышленного комплекса. Данный банк стал объектом исследования по ряду причин. Так, например, в период 2014–2015 гг. АО «Россельхозбанк» среди лидеров (Сбербанк, ВТБ, Газпромбанк) показал самый слабый результат по МСФО. В тот период он единственный закрыл свой отчетный год с убытками. Причинами отсутствия прибыли банка явились опе-

рации с ценными бумагами, а также рост его отчислений в резервы на возможные потери по ссудам и другим задолженностям ссудного характера. В результате, по мнению аналитиков, качество кредитного портфеля АО «Россельхозбанк» значительно ухудшилось. Также в отчетности банка появились сведения об увеличении сумм просроченных кредитов и кредитов, требующих особого внимания. Таким образом, опираясь только на данные финансовой отчетности [3, 4], определить, как такая негативная ситуация отразится на величине кредитного риска, судить сложно, сколько потребуется досоздания резервов – неизвестно. Однако в настоящей работе, применяя моделирование и программирование, мы можем проанализировать и оценить величину кредитного риска, и показать, что риски кредитной деятельности велики даже в том случае, если сто процентов акций банка принадлежат государству.

Основная часть. Анализ, оценка, моделирование и оптимизация кредитного портфеля – это важные этапы банковской деятельности. От них зависит величина принимаемого банком риска, уровень доходов, планируемых банком от размещения средств в кредитные операции, размер ликвидной позиции банка, качество его активных операций, особенно кредитных.

В мировой банковской практике в целях оптимизации кредитного портфеля банка существуют требования для снижения кредитного риска с помощью качественных и количественных показателей. Так, например, нормативы, установленные Центральным Банком (Н1.0, Н2, Н3, Н4, Н6, Н7, Н9, Н10.1), являются обязательными к выполнению каждой кредитной организацией. Нарушение нормативов влечет за собой применение ЦБР различных санкций, штрафов, взысканий и отзыв лицензии на осуществление банковской деятельности [5, 6, 7, 8].

В связи со сказанным, выделяют два подхода к управлению кредитным риском – с позиции централизованного управления (выполнение норм, установленных ЦБР), а также подход децентрализованного управления. Децентрализованное управление связано с разработками моделей и методов оценки качества кредитного портфеля на основе экспертных суждений, а также анализа и оценки величины кредитного риска. Эти методы у каждого банка свои, они различны по структуре и качеству.

Рассмотрим оба подхода более подробно, чтобы показать взаимосвязь их применени.

В табл. 1 представлены требования к капиталу банка, разработанные ЦБРФ, называемые нормативами достаточности [9, 10]. Проблема

определения достаточности капитала банка является основным спорным вопросом среди банковских и надзорных органов. Кредитные организации предпочитают обходиться минимальными собственными средствами, чтобы увеличить доходобразующие активы, а надзорные органы требуют от банков увеличения капитала, т.к. это позволяет снизить риск банкротства банка. В тоже самое время и банкирам, и надзорным органам известно, что банкротство связано никак не с величиной капитала, а с уровнем менеджмента. Чем выше профессионализм управления, тем меньше собственного капитала требуется для эффективного функционирования [11, 12].

Термин «достаточность» – это общая надежность банка, защита его от рисков и угроз, страховка от негативных факторов влияния. Достаточность определяется отношением капитала к активам, взвешенным с учетом риска. По нормативным требованиям считается, что, чем выше размер активных (рисковых) операций, тем больше собственного капитала банк должен иметь, чтобы сформировать защитный буфер против убытков. Заниженный уровень собственных средств свидетельствует о высокой доле ответственности банка перед его вкладчиками и кредиторами. Кроме того, банковские пассивы легко подвержены паническим настроениям клиентов, любое политическое событие может спровоцировать значительный отток капитала.

Сказанное демонстрирует необходимость выполнения банками требований по нормативам достаточности, установленных Банком России. Так, банки должны поддерживать соотношения [9, 13]:

- базового капитала (Н1.1) к сумме кредитного, операционного и рыночного рисков на уровне выше обязательного минимального значения равного 5,5 %;
- основного капитала (Н1.2) к сумме кредитного, операционного и рыночного рисков на уровне выше обязательного минимального значения равного 6,5 %;
- собственных средств (капитала) (Н1.0) к сумме кредитного, операционного и рыночного рисков на уровне выше обязательного минимального значения равного 8 % (ранее норматив был 10,0 %). Данный норматив является основным, общим коэффициентом достаточности, характеризующим совокупный норматив надежности банка.

Рассмотрим выполнение нормативов на примере АО «Россельхозбанк» (табл. 1).

Следует отметить, что в табл. 1 под словом «ранее» представлены критериальные значения нормативов, которые действовали в период 2015–2016 гг. – это именно тот период, который

мы взяли в качестве исследования. Сейчас общий коэффициент надежности должен соответствовать 8 % (строка 3 табл.1), ранее требования к Н1.0 было жестче и, несмотря на это, в течение представленного периода АО «Россельхозбанк»

соблюдал все нормативы достаточности не только в полном объеме, а почти вдвойне превышая требуемый уровень. Это положительно характеризует деятельность банка с позиции надежности и устойчивости к рискам.

Таблица 1

Нормативы достаточности капитала банка АО «Россельхозбанк»

№ п/п	Наименование показателя	Норматив	01.01.16	01.01.15
1	Н1.1	4,5 % (ранее 5 %)	9,0 %	10,5 %
2	Н1.2	6,5 % (ранее 6 %)	9,0 %	10,5 %
3	Н1.0	8 % (ранее 10 %)	16,3 %	13,0 %

В табл. 2 рассмотрим нормативы ликвидности, которые также необходимы для исследования централизованного подхода. «В целях контроля за состоянием ликвидности банка, то есть его способности обеспечить своевременное и полное выполнение своих денежных и иных обязательств, вытекающих из сделок с использованием финансовых инструментов, устанавливаются нормативы мгновенной, текущей, долгосрочной ликвидности, которые регулируют (ограничивают) риски потери банком ликвидности и определяют отношение сумм между активами и пассивами с учетом сроков и других факторов» [9].

Так, например, «Н2 (норматив мгновенной ликвидности) позволяет банку регулировать риск потери ликвидности в течение одного операционного дня» [9]. Норматив определяется отношением высоколиквидных активов к сумме обязательств до востребования. Инструкцией 180-И

определен норматив для Н2 в размере $\geq 15\%$.

Н3 (норматив текущей ликвидности) позволяет банку регулировать риск потери ликвидности в течение 30 календарных дней. Норматив определяется соотношением суммы высоколиквидных активов банка и ликвидных (до 30 календарных дней) к сумме обязательств до востребования и до 30 календарных дней. Норматив Н3 определен в размере $\geq 50\%$.

И последний норматив, определяющий долгосрочную ликвидность банка, – это Н4. Норматив регулирует риск потери ликвидности банка в долгосрочной перспективе и «определяется соотношением суммы кредитных требований банка с оставшимся сроком до даты погашения года к сумме собственных средств банка и обязательств (пассивов) с оставшимся сроком до даты погашения свыше года» [9, 13]. Норматив Н4 определен в размере $\leq 120\%$.

Таблица 2

Нормативы ликвидности АО «Россельхозбанк»

Наименование	Норматив	01.01.2016	01.01.2015
Н2	мин 15 %	148,3 %	55,8 %
Н3	мин 50 %	284,8 %	103,1 %
Н4	макс 120 %	67,9 %	86,9 %

Как демонстрируют значения, представленные в табл.2., все нормативы ликвидности у банка успешно выполняются, что говорит о достаточно прочной ликвидной позиции банка в те-

чение одного операционного дня, а также в течение месяца и долгосрочной перспективе. Далее рассмотрим нормативы кредитного риска (табл.3).

Таблица 3

Нормативы кредитных рисков АО «Россельхозбанк»

Наименование показателя	Норматив, %	Годы			Изменение 2016г. /2014г.
		2014	2015	2016	
Н6	max 25.00	13,2	23	22,5	9,3
Н7	max 800.00	66,5	185,10	130,11	63,61
Н9.1	max 50.00	0,00	0,00	0,00	–
Н10.1	max 3.00	1,7	1,00	0,96	-0,74

Табл.3 демонстрирует нормативы кредитных рисков. В банковской практике нормативы

кредитных рисков отражают процесс рационаиро-

вания кредитного портфеля как метод минимизации кредитного риска. Отметим, что под «рационализацией кредитного портфеля» понимается установление гибких или жестких лимитов кредитования по сумме, срокам, видам процентных ставок и прочим условиям предоставления ссуд; установление лимитов по отдельным заемщикам или классам заемщиков; определение лимитов концентрации кредитов в руках одного или группы связанных заемщиков» [9, 14, 15].

Рационализация кредитного портфеля осуществляется по двум направлениям. С одной стороны, банк должен выполнять нормативы, которые установлены ЦБРФ, с другой – должен создавать внутрибанковскую систему ограничений кредитного риска. Так, например, в зависимости от установленных лимитов и степени кредитоспособности кредитный эксперт отбирает потенциальных заемщиков, анализирует степень соответствия возможной сделки всем требованиям ЦБРФ, а в завершение процесса рационализации – применяет систему внутрибанковских ограничений. Такой нормативный подход, разработанный Центральным Банком, используется каждой кредитной организацией для сокращения потерь по ссудам и снижения опасности наступления риска.

В анализируемом нами банке все нормативы кредитных рисков находятся в пределах допустимых значений, что говорит о низком уровне кредитного риска. Н6 – это норматив максимального размера риска на одного заемщика или группу связанных заемщиков. Такое рационализирование ограничивает риск предоставления крупных кредитов одному заемщику или группе связанных заемщиков, чтобы в случае ухудшения кредитоспособности заемщика и возможного невозврата средств в банк не наступил риск ликвидности. В АО «Россельхозбанк» Н6 приближен к критическому, но не превосходит его максимальный уровень (наибольшее значение было в размере 22 % в 2015г.). Динамика норматива отрицательная, следовательно, банк снижает максимальный размер кредитного риска.

Показатель максимального размера крупных кредитных рисков (Н7) также находится в пределе допустимого размера. Значит, в АО «Россельхозбанк» крупный кредитный риск (сумма кредитов, гарантий и поручительств в пользу одного клиента) не превышает 5 процентов собственного капитала банка.

Н9.1 – «Норматив максимального размера кредитов, банковских гарантий и поручительств, предоставленных банком своим участникам» равен 0, так как банк не предоставляет кредиты, банковские гарантии и поручительства своим акционерам, соответственно, кредитный риск на

акционеров банка не распространяется.

Норматив Н10.1 ограничивает совокупный кредитный риск в отношении всех инсайдеров банка, т.е. лиц, которые способны каким-либо образом воздействовать на принимаемые банком решения по выдаваемым кредитам. Такое рационализирование определяется тем, что решения о выдаче кредитов инсайдерам и акционерам банка могут быть нецелесообразными, продиктованными личными интересами.

Как видно, в АО «Россельхозбанк» централизованный подход как метод минимизации кредитного риска отражает оптимальную позицию и способствует сокращению потерь по выданным кредитам.

Рассмотрим далее децентрализованный подход управления кредитным риском.

Децентрализованные методы управления кредитным портфелем, как мы говорили выше, это методы и модели, которые индивидуально разрабатываются банками. Однако все разработанные модели должны быть представлены в Центральный Банк для анализа и контроля за деятельностью каждой кредитной организации.

Рассмотрим модель, которая довольно успешно используется финансовыми аналитиками и экспертами.

Модель оценки риска кредитного портфеля банка состоит из ряда расчетных показателей таких, как: возможная (ожидаемая) величина убытков по кредитному портфелю, средневзвешенный кредитный риск по портфелю, дисперсия как мера кредитного риска, среднее квадратическое отклонение риска кредитного портфеля банка, семивариация кредитного риска. Отразим формализацию модели (1-11), а также рассчитаем данные показатели на примере кредитного портфеля АО «Россельхозбанк» в программах Excel и Mathcad.

1. Возможная (ожидаемая) величина убытков по кредитному портфелю:

$$S_p = \sum_{i=1}^n S_i p_i(c) \quad (1)$$

где S_i – суммарная величина i -го кредита, $i = 1, 2, \dots, n$; $p_i(c)$ – вероятность возникновения потерь по i -му кредиту.

2. Средневзвешенный риск по кредитному портфелю:

$$L = \sum_{i=1}^n p_i(c) \cdot \frac{S_i}{S} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i(c) S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} = \frac{S_p}{S} \quad (2)$$

3. Дисперсия (вариация) как мера кредитных рисков по отношению к кредитному портфелю банка:

$$V(p) = \sum_{i=1}^n (P_i(c) - L)^2 \cdot \frac{S_i}{S}, \quad (3)$$

где $S = \sum_{i=1}^n S_i$

4. Среднеквадратическое отклонение риска кредитного портфеля коммерческого банка.

$$v(p) = \sqrt{V(p)} \quad (4)$$

Отметим, что дисперсия и среднеквадратическое отклонение характеризуют меру распределения кредитных рисков кредитного портфеля банка относительно его средневзвешенного риска. Эти показатели отображают дифференцированность кредитного портфеля банка относительно риска. В тоже время дисперсия и среднеквадратическое отклонение отображают меру распределения кредитных рисков как в положительную (значения меньше средневзвешенного портфельного риска), так и в отрицательную (значение больше средневзвешенного портфельного риска) сторону. Следовательно, по этим показателям отсутствует возможность однозначной оценки степени кредитного риска. С этой целью целесообразно использовать показатель семивариации кредитного риска.

Позитивная семивариация имеет следующий вид:

$$PSV = \sum_{i=1}^n t^2 \times \frac{S_i}{S} \quad (5)$$

где: n – объем кредитного портфеля; t – отклонения кредитных рисков в портфеле кредитов банка от средневзвешенного кредитного риска, т. е.:

$$t = \begin{cases} 0, p_i(c) \geq L \\ p_i(c) - L, p_i(c) < L \end{cases} \quad (6)$$

Негативная семивариация как степень кредитного риска относительно кредитного портфеля банка:

$$SV = \sum_{i=1}^n l^2 \times \frac{S_i}{S}, \quad (7)$$

где: n – объем кредитного портфеля; l – дополнительные отклонения кредитных рисков кредитного портфеля от средневзвешенного кредитного риска, т. е.:

$$l = \begin{cases} 0, p_i(c) \leq L \\ p_i(c) - L, p_i(c) > L \end{cases} \quad (8)$$

Отсюда находим позитивное и негативное семиквадратическое отклонение:

$$psv = \sqrt{PSV} \quad (9)$$

$$nsv = \sqrt{NSV} \quad (10)$$

Следовательно, чем больше позитивная семивариация кредитных рисков по отношению к кредитным договорам, формирующим кредитный портфель, и чем меньше их негативная семивариация, тем ниже степень кредитного риска.

Для расчета степени риска кредитного портфеля используется также коэффициент асимметрии:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S} \times (p_i(c) - L)^3}{\sqrt{V^3(p)}} \quad (11)$$

Следовательно, чем меньше коэффициент асимметрии, тем меньше степень кредитного риска.

Рассмотренная модель оценки кредитного риска, которая может быть применена в деятельности банка, позволяет проанализировать и оценить степень кредитного риска коммерческого банка. Среднеквадратическое отклонение характеризует меру распределения кредитного риска относительно средневзвешенной величины по портфелю. Семивариация может быть позитивной и негативной. Чем больше позитивная семивариация (и меньше негативная семивариация), тем ниже степень кредитного риска банка. Это означает, что сформированных резервов у коммерческого банка будет вполне достаточно, чтобы покрыть незапланированные убытки, связанные с плохой кредитоспособностью заемщиков.

Рассмотрим представленную модель на примере АО «Россельхозбанк». Для этого, как мы уже говорили, будем использовать системы прикладных программ Mathcad (система автоматизированного проектирования с математическими вычислениями) и Microsoft Excel (программа для работы с электронными таблицами) [16]. Также необходимо отметить, что все расчеты, которые осуществлялись нами в настоящей работе, базировались на материалах, представленных на официальных сайтах АО «Россельхозбанк» (www.rshb.ru) и Банка России (www.cbr.ru). Сведения, касающиеся кредитного портфеля банка, содержались в оборотной ведомости кредитной организации (форма 101 с оборотами). Кроме того, мы использовали данные о «Качестве кредитного портфеля» банка, представленные в Годовом Отчете банка с аудиторским заключением.

Итак, на основании Положения 590-П ЦБРФ (ранее 254-П) всех заемщиков коммерческого банка необходимо классифицировать по пяти позициям $i = 1, 2, \dots, 5$, а именно: I – стандартные, II – нестандартные, III – сомнительные, IV – проблемные, V – безнадежные. Величина расчетного резерва по классифицированным ссудам p_i (%) принимается согласно табл. 4.

Проведем расчеты за период 2014-2016гг. В данных расчетах будем использовать программное обеспечение Mathcad.

Таблица 4

Категории качества и объемы кредитного портфеля АО «Россельхозбанк»

Размер расчетного резерва, p_i (с), % от суммы основного долга по ссуде		Категория качества					Всего, млн. руб.
		I Стандартные	II Нестандартные	III Сомнительные	IV Проблемные	V Безнадежные	
Нормативы ЦБ РФ, %		0	от 1 до 20	от 21 до 50	от 51 до 100	100	
2014	%	0	11	26	63	100	
	млн. руб.	0,00	304,70	856,10	69,90	237,30	1 468,00
2015	%	0	14	27	58	100	
	млн. руб.	0,00	318,00	992,40	69,40	260,00	1 639,80
2016	%	0	17	23	65	100	
	млн. руб.	0,00	402,10	1 234,40	57,60	272,00	1 966,10

1.1. Определим возможную (ожидаемую) сумму убытков по кредитному портфелю за 2014 год:

год:

$$Sp = 304.70 * 0.11 + 856.10 * 0.26 + 69.90 * 0.63 + 237.30 = 537.44 \text{ млн. руб.}$$

1.2 Определим средневзвешенный кредитный портфельный риск:

$$Vp = \frac{1}{1468} * ((0,11 - 0,366)^2 * 304,7 + (0,26 - 0,366)^2 * 856,1 + (0,63 - 0,366)^2 * 69,9 + (1 - 0,366)^2 * 237,3) = 0,0884$$

1.4 Определим среднеквадратическое отклонение:

$$\vartheta = \sqrt{0,0884} = 0,2974$$

Таким образом, значение кредитного риска

$$t1 = -0,3661; t2 = -0,2561; t3 = -0,1061; t4 = 0; t5 = 0;$$

$$PSV = \frac{1}{1468} * (((-0,3661)^2 * 0) + ((-0,2561)^2 * 304,70) + ((-0,1061)^2 * 856,10) + ((0)^2 * 69,9)) + ((0)^2 * 237,30)) = 0,0202$$

$$l1 = 0; l2 = 0; l3 = 0; l4 = 0,2639; l5 = 0,6339$$

$$NSV = 0^2 * \frac{0}{1468} + 0^2 * \frac{304.7}{1468} + 0^2 * \frac{856.1}{1468} + 0.264^2 * \frac{69.9}{1468} + 0.634^2 * \frac{237.3}{1468} = 0,068$$

1.6 Определим позитивное и негативное среднее семиквадратическое отклонение.

$$psv = \sqrt{0,0202} = 0,1421$$

$$a = \frac{0}{1468} * (0 - 0,3661)^3 + \frac{304.7}{1468} * (0,11 - 0,3661)^3 + \frac{856.1}{1468} * (0,26 - 0,3661)^3 + \frac{69.9}{1468} * (0,63 - 0,3661)^3 + \frac{237.3}{1468} * (1 - 0,3661)^3 = 1.4395$$

Все остальные года (2015, 2016гг.) сделаем по аналогии.

$$Si = 304.70 + 856.10 + 69.90 + 237.30 = 1468.00 \text{ млн. руб.}$$

$$L = 537.44 / 1468.00 = 0.3661$$

1.3 Рассчитаем дисперсию (вариацию) рисков по данному кредитному портфелю:

кредитного портфеля банка за 2014г., имеет отклонение от среднего значения 0,2974, т.е. значение кредитного риска можно сгруппировать в интервал:

$$(0,3661 - 0,2974; 0,3661 + 0,2974).$$

1.5. Определим позитивную и негативную семивариации кредитных рисков:

$$nsv = \sqrt{0,0683} = 0,2613$$

1.7 Рассчитаем коэффициент асимметрии:

$$S1 := 0 \quad S2 := 318 \quad S3 := 992.4 \quad S4 := 69.4 \quad S5 := 260$$

$$P1 := 0 \quad P2 := 0.14 \quad P3 := 0.27 \quad P4 := 0.58 \quad P5 := 1$$

$$Sp := S1 \times P1 + S2 \times P2 + S3 \times P3 + S4 \times P4 + S5 \times P5 = 0.00 \times 0.00 + 318.00 \times 0.14 + 992.40 \times 0.27 + 69.40 \times 0.58 + 260.00 = 612.72$$

$$S_{\Sigma} := S1 + S2 + S3 + S4 + S5 = 0.00 + 318.00 + 992.40 + 69.40 + 260.00 = 1639.80$$

$$L_{\Sigma} := \frac{Sp}{S_{\Sigma}} = \frac{612.7200}{1639.8000} = 0.3737$$

$$Vp := \left[(P1 - L)^2 \times \frac{S1}{S} + (P2 - L)^2 \times \frac{S2}{S} + (P3 - L)^2 \times \frac{S3}{S} + (P4 - L)^2 \times \frac{S4}{S} + (P5 - L)^2 \times \frac{S5}{S} \right] = (0 - 0.374)^2 \times \frac{0}{1639.8} + (0.14 - 0.374)^2 \times \frac{318}{1639.8} + (0.27 - 0.374)^2 \times \frac{992.4}{1639.8} + (0.58 - 0.374)^2 \times \frac{69.4}{1639.8} + (1 - 0.374)^2 \times \frac{260}{1639.8} = 0.081$$

$$\theta := \sqrt{Vp} = \sqrt{0.0811} = 0.2848$$

$$T1 := \begin{cases} 0 & \text{if } P1 \geq L \\ P1 - L & \text{otherwise} \end{cases} = 0 - 0.373655323819978 = -0.3737 \quad T2 := \begin{cases} 0 & \text{if } P2 \geq L \\ P2 - L & \text{otherwise} \end{cases} = 0.1400 - 0.3737 = -0.2337$$

$$T3 := \begin{cases} 0 & \text{if } P3 \geq L \\ P3 - L & \text{otherwise} \end{cases} \rightarrow 0.2700 - 0.3737 = -0.1037 \quad T4 := \begin{cases} 0 & \text{if } P4 \geq L \\ P4 - L & \text{otherwise} \end{cases} \rightarrow 0.0000 = 0.0000 \quad T5 := \begin{cases} 0 & \text{if } P5 \geq L \\ P5 - L & \text{otherwise} \end{cases} \rightarrow 0.0000 = 0.0000$$

$$PSV := \left[(T1^2 \times \frac{S1}{S}) + (T2^2 \times \frac{S2}{S}) + (T3^2 \times \frac{S3}{S}) + (T4^2 \times \frac{S4}{S}) + (T5^2 \times \frac{S5}{S}) \right] = (-0.3737)^2 \times \frac{0}{1639.8} + (-0.2337)^2 \times \frac{318}{1639.8} + (-0.1037)^2 \times \frac{992.4}{1639.8} + 0^2 \times \frac{69.4}{1639.8} + 0^2 \times \frac{260}{1639.8} = 0.0171$$

$$I1 := \begin{cases} 0 & \text{if } P1 \leq L \\ P1 - L & \text{otherwise} \end{cases} = 0 = 0 \quad I2 := \begin{cases} 0 & \text{if } P2 \leq L \\ P2 - L & \text{otherwise} \end{cases} = 0 = 0 \quad I3 := \begin{cases} 0 & \text{if } P3 \leq L \\ P3 - L & \text{otherwise} \end{cases} = 0.0000 = 0.0000$$

$$I4 := \begin{cases} 0 & \text{if } P4 \leq L \\ P4 - L & \text{otherwise} \end{cases} = 0.5800 - 0.3737 = 0.2063 \quad I5 := \begin{cases} 0 & \text{if } P5 \leq L \\ P5 - L & \text{otherwise} \end{cases} = 1.0000 - 0.3737 = 0.6263$$

$$NSV := \left(I1^2 \times \frac{S1}{S} + I2^2 \times \frac{S2}{S} + I3^2 \times \frac{S3}{S} + I4^2 \times \frac{S4}{S} + I5^2 \times \frac{S5}{S} \right) = 0^2 \times \frac{0}{1639.8} + 0^2 \times \frac{318}{1639.8} + 0^2 \times \frac{992.4}{1639.8} + 0.206^2 \times \frac{69.4}{1639.8} + 0.626^2 \times \frac{260}{1639.8} = 0.064$$

$$psv := \sqrt{PSV} = \sqrt{0.0171} = 0.1307 \quad nsv := \sqrt{NSV} = \sqrt{0.064} = 0.253$$

$$a := \frac{\left[\frac{S1}{S} \times (P1 - L)^3 + \frac{S2}{S} \times (P2 - L)^3 + \frac{S3}{S} \times (P3 - L)^3 + \frac{S4}{S} \times (P4 - L)^3 + \frac{S5}{S} \times (P5 - L)^3 \right]}{\sqrt{Vp}^3} = \frac{0}{1639.8} \times (0 - 0.3737)^3 + \frac{318}{1639.8} \times (0.14 - 0.3737)^3 + \frac{992.4}{1639.8} \times (0.27 - 0.3737)^3 + \frac{69.4}{1639.8} \times (0.58 - 0.3737)^3 + \frac{260}{1639.8} \times (1 - 0.3737)^3}{\sqrt{0.0811}^3} = 1.5669$$

$$S1 := 0 \quad S2 := 402.1 \quad S3 := 1234.4 \quad S4 := 57.6 \quad S5 := 272$$

$$P1 := 0 \quad P2 := 0.17 \quad P3 := 0.23 \quad P4 := 0.65 \quad P5 := 1$$

$$Sp := S1 \times P1 + S2 \times P2 + S3 \times P3 + S4 \times P4 + S5 \times P5 = 0.00 \times 0.00 + 402.10 \times 0.17 + 1234.40 \times 0.23 + 57.60 \times 0.65 + 272.00 = 661.71$$

$$S_{\Sigma} := S1 + S2 + S3 + S4 + S5 = 0.00 + 402.10 + 1234.40 + 57.60 + 272.00 = 1966.10$$

$$L_{\Sigma} := \frac{Sp}{S_{\Sigma}} = \frac{661.7090}{1966.1000} = 0.3366$$

$$Vp := \left[(P1 - L)^2 \times \frac{S1}{S} + (P2 - L)^2 \times \frac{S2}{S} + (P3 - L)^2 \times \frac{S3}{S} + (P4 - L)^2 \times \frac{S4}{S} + (P5 - L)^2 \times \frac{S5}{S} \right] = (0 - 0.337)^2 \times \frac{0}{1966.1} + (0.17 - 0.337)^2 \times \frac{402.1}{1966.1} + (0.23 - 0.337)^2 \times \frac{1234.4}{1966.1} + (0.65 - 0.337)^2 \times \frac{57.6}{1966.1} + (1 - 0.337)^2 \times \frac{272}{1966.1} = 0.077$$

$$\theta := \sqrt{Vp} = \sqrt{0.0766} = 0.2767$$

$$T1 := \begin{cases} 0 & \text{if } P1 \geq L \\ P1 - L & \text{otherwise} \end{cases} = 0 - 0.33659178068257 = -0.3366 \quad T2 := \begin{cases} 0 & \text{if } P2 \geq L \\ P2 - L & \text{otherwise} \end{cases} = 0.1700 - 0.3366 = -0.1666$$

$$T3 := \begin{cases} 0 & \text{if } P3 \geq L \\ P3 - L & \text{otherwise} \end{cases} \rightarrow 0.2300 - 0.3366 = -0.1066 \quad T4 := \begin{cases} 0 & \text{if } P4 \geq L \\ P4 - L & \text{otherwise} \end{cases} \rightarrow 0.0000 = 0.0000 \quad T5 := \begin{cases} 0 & \text{if } P5 \geq L \\ P5 - L & \text{otherwise} \end{cases} \rightarrow 0.0000 = 0.0000$$

$$PSV := \left[(T1^2 \times \frac{S1}{S}) + (T2^2 \times \frac{S2}{S}) + (T3^2 \times \frac{S3}{S}) + (T4^2 \times \frac{S4}{S}) + (T5^2 \times \frac{S5}{S}) \right] = (-0.3366)^2 \times \frac{0}{1966.1} + (-0.1666)^2 \times \frac{402.1}{1966.1} + (-0.1066)^2 \times \frac{1234.4}{1966.1} + 0^2 \times \frac{57.6}{1966.1} + 0^2 \times \frac{272}{1966.1} = 0.0128$$

$$I1 := \begin{cases} 0 & \text{if } P1 \leq L \\ P1 - L & \text{otherwise} \end{cases} = 0 = 0 \quad I2 := \begin{cases} 0 & \text{if } P2 \leq L \\ P2 - L & \text{otherwise} \end{cases} = 0 = 0 \quad I3 := \begin{cases} 0 & \text{if } P3 \leq L \\ P3 - L & \text{otherwise} \end{cases} = 0.0000 = 0.0000$$

$$I4 := \begin{cases} 0 & \text{if } P4 \leq L \\ P4 - L & \text{otherwise} \end{cases} = 0.6500 - 0.3366 = 0.3134 \quad I5 := \begin{cases} 0 & \text{if } P5 \leq L \\ P5 - L & \text{otherwise} \end{cases} = 1.0000 - 0.3366 = 0.6634$$

$$NSV := \left(I1^2 \times \frac{S1}{S} + I2^2 \times \frac{S2}{S} + I3^2 \times \frac{S3}{S} + I4^2 \times \frac{S4}{S} + I5^2 \times \frac{S5}{S} \right) = 0^2 \times \frac{0}{1966.1} + 0^2 \times \frac{402.1}{1966.1} + 0^2 \times \frac{1234.4}{1966.1} + 0.313^2 \times \frac{57.6}{1966.1} + 0.663^2 \times \frac{272}{1966.1} = 0.064$$

$$psv := \sqrt{PSV} = \sqrt{0.0128} = 0.1131 \quad nsv := \sqrt{NSV} = \sqrt{0.0638} = 0.2525$$

$$a := \frac{\left[\frac{S1}{S} \times (P1 - L)^3 + \frac{S2}{S} \times (P2 - L)^3 + \frac{S3}{S} \times (P3 - L)^3 + \frac{S4}{S} \times (P4 - L)^3 + \frac{S5}{S} \times (P5 - L)^3 \right]}{\sqrt{Vp}^3} = \frac{0}{1966.1} \times (0 - 0.3366)^3 + \frac{402.1}{1966.1} \times (0.17 - 0.3366)^3 + \frac{1234.4}{1966.1} \times (0.23 - 0.3366)^3 + \frac{57.6}{1966.1} \times (0.65 - 0.3366)^3 + \frac{272}{1966.1} \times (1 - 0.3366)^3}{\sqrt{0.0766}^3} = 1.8687$$

Следует отметить, что Mathcad является программой для профессионального использования, поэтому обычный аналитик без специализированных знаний и умений не сможет использовать ее в анализе кредитного риска. Покажем возможность апробации модели в более распространенной программе - MS EXCEL. Пример расчета кредитного риска представлен на первое января 2016 г., остальные годы рассчитаны по аналогии.

Еще раз отметим, что данные по категориям качества кредитного портфеля были взяты нами из годовой финансовой отчетности АО «Россельхозбанк» с аудиторским заключением и из специальных форм отчетности, не относящихся к раскрываемым (форма 115). Портфель по категориям качества и риск убытков представлен в табл.5.

Таблица 5

Портфель по категориям качества и риск убытков

Вид ссудной задолженности	Величина актива, млн. руб. (S_i)	Величина возникновения убытков, % ($p_i(C)$)
Стандартные	0,00	0
Нестандартные	402,10	17
Сомнительные	1 234,40	23
Проблемные	57,60	65
Безнадежные	272,00	100
Итого	1 966,10	

Таблица 6

Расчет ожидаемой величины убытков кредитного портфеля АО «Россельхозбанк»

Категория качества	$S_i * p_i(C)$, млн. руб.
I категория качества (высшая)	0,00
II категория качества	68,36
III категория качества	283,91
IV категория качества	37,44
V категория качества (низшая)	272,00
Итого	661,71

Средневзвешенный кредитный портфельный риск.

L	0,33659178	33,66
---	------------	-------

Таблица 7

Расчет дисперсии рисков кредитного портфеля АО «Россельхозбанк»

Категория качества	$p_i(C) - L$	$(p_i(C) - L)^2$	S_i/S	$((p_i(C) - L)^2) * (S_i/S)$
I категория качества (высшая)	-0,33656	0,11327	0,00000	0,00000
II категория качества	-0,16656	0,02774	0,20452	0,00567
III категория качества	-0,10656	0,01135	0,62784	0,00713
IV категория качества	0,31344	0,09825	0,02930	0,00288
V категория качества (низшая)	0,66344	0,44015	0,13834	0,06089
Итого				0,07657

Рассчитанное значение риска по кредитному портфелю

V_p	0,0766
-------	--------

Рассчитанное значение среднеквадратического отклонения риска кредитного портфеля в долях и процентах.

$v(p)$	0,276720	27,67
--------	----------	-------

Сгруппированные в интервал значения кредитного риска портфеля.

$L - v(p) ; L + v(p)$	5,98	61,33
-----------------------	------	-------

Таблица 8

Расчет положительной семивариации риска кредитного портфеля АО «Россельхозбанк»

Категория качества	Отклонение кредитного риска от средневзвешенного кредитного риска (t_i)	t_i^2	$t_i^2 * (S_i/S)$
I категория качества (высшая)	-0,33656	0,11327	0,00000
II категория качества	-0,16656	0,02774	0,00567
III категория качества	-0,10656	0,01135	0,00713
IV категория качества	0,00000	0,00000	0,00000
V категория качества (низшая)	0,00000	0,00000	0,00000
Итого			0,01280

Положительная семивариация

PSV	0,01280
-----	---------

Представим расчет негативной семивариации риска кредитного портфеля АО «Россельхозбанк». Напомним, что в соответствии с Поло-

жением ЦБРФ № 590 (ранее 254-П) первая категория качества имеет нулевой риск, но и данные по такому портфелю у банка отсутствуют.

Таблица 9

Расчет негативной семивариации риска кредитного портфеля АО «Россельхозбанк»

Категория качества	Отклонение кредитного риска от средневзвешенного кредитного риска (I_i)	I_i^2	$I_i^2 \cdot (S_i/S)$
I категория качества (высшая)	0,00000	0,00000	0,00000
II категория качества	0,00000	0,00000	0,00000
III категория качества	0,00000	0,00000	0,00000
IV категория качества	0,31344	0,09825	0,00288
V категория качества (низшая)	0,66344	0,44015	0,06089
Итого			0,06377

Негативная семивариация

NSV	0,06377
-----	---------

Позитивное и негативное среднее среднеквадратическое отклонение

psv	0,1131
nsv	0,2525

Таблица 10

Вспомогательный расчет для определения коэффициента асимметрии риска кредитного портфеля АО «Россельхозбанк»

Категория качества	$p_i(C) - L$	$(p_i(C) - L)^3$	S_i/S	$((p_i(C) - L)^3) \cdot (S_i/S)$
I категория качества (высшая)	-0,33656	-0,03812	0,000000	0,00000
II категория качества	-0,16656	-0,00462	0,204517	-0,00095
III категория качества	-0,10656	-0,00121	0,627842	-0,00076
IV категория качества	0,31344	0,03079	0,029297	0,00090
V категория качества (низшая)	0,66344	0,29202	0,138345	0,04040
				0,03960

Коэффициент асимметрии риска кредитного портфеля АО «Россельхозбанк»

a	1,8687
---	--------

Аналогично сделаем расчеты за 2014 и 2015 года и все данные занесем в сводную таблицу 11.

Таблица 11

Сводные данные по кредитному риску портфеля АО «Россельхозбанк»

	L	Vp	v(p)	PSV	psv	NSV	nsv	a
2014	0,3661	0,0884	0,2974	0,0202	0,1421	0,0683	0,2613	1,4395
2015	0,3737	0,0811	0,2848	0,0171	0,1307	0,0640	0,2530	1,5669
2016	0,3366	0,0766	0,2767	0,0128	0,1131	0,0638	0,2525	1,8687

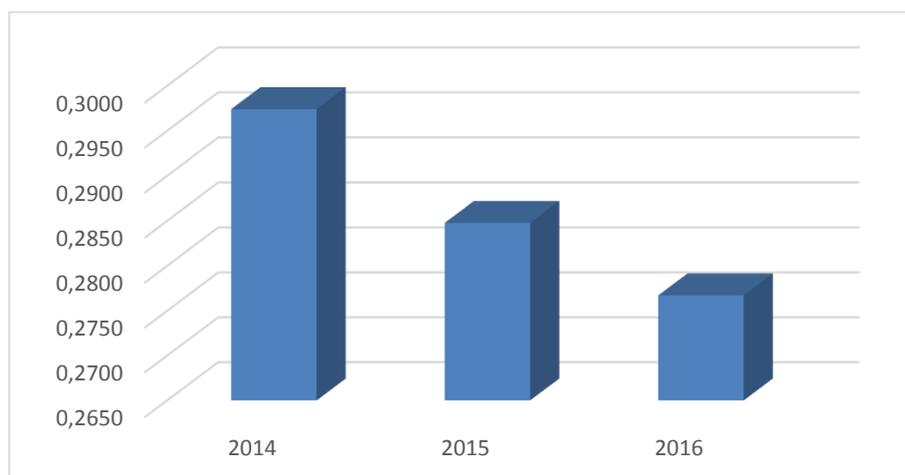


Рис. 1. График среднеквадратического отклонения кредитного риска АО «Россельхозбанк»

График демонстрирует, что среднеквадратическое отклонение кредитного риска в АО «Россельхозбанк» уменьшается с 29,74 % в 2014 году до 27,67 % в 2016 году, что говорит об укреплении

устойчивости и сбалансированности его кредитного портфеля. Также наблюдается снижение тренда семивариации (положительной и отрицательной), значит происходит ослабление влияния положительных и отрицательных факторов на

кредитный портфель, а это еще раз подтверждает, что банк становится более устойчивым к рискам.

Заключение. Подводя итоги настоящей работы, можем отметить следующее: кредитный портфель коммерческого банка представляет собой структурируемую совокупность различных видов кредитов, предоставленных банком, и отражает социально-экономические и денежно-кредитные отношения между банком и его клиентами. Результат анализа и оценки кредитного риска может быть получен при помощи экономико-математических моделей и методов. Кредитный эксперт на базе ЭММ может выявить величину кредитного риска, возникающую в результате не выполнения, несвоевременного или неполного выполнения заемщиком своих обязательств, а также оценить степень влияния риска на доходность и устойчивость кредитной организации. Минимизация рисков ведет к стабильности банковской деятельности.

Выводы. Выделяют две системы управления кредитным риском – централизованную (выполнение норм, установленных ЦБР) и децентрализованную.

Важным в формировании оптимального и сбалансированного кредитного портфеля банка является следующее: отбор качественных заемщиков; выполнение пруденциальных норм и правил, установленных ЦБР (оценка кредитного риска банка с позиции обязательных нормативов); анализ возможных ожидаемых убытков от кредитных операций коммерческого банка; расчет средневзвешенного кредитного риска, дисперсии, среднеквадратического отклонения, позитивной и негативной семивариации риска кредитного портфеля банка.

Использование математических методов и моделей позволяет выявить позитивные и негативные тенденции в деятельности банка, определить величину возможного убытка в результате снижения качества кредитного портфеля, выявить степень кредитного риска и его влияние на доходность банка, осуществить выбор оптимальных или близких к ним вариантов решений по заданным критериям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хазанова Л.Э. Математические методы в экономике : учебн. пособие. 3-е изд. М.: Волтерс Клувер, 2005. 144 С.
2. Абчук В.А. Экономико-математические методы: Элементарная математика и логика. Методы исследования операций. СПб.: Союз, 1999. 320 С.
3. Официальный сайт Банка России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://cbr.ru>
4. Официальный сайт АО «Россельхозбанк» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.rshb.ru>
5. Федеральный закон "О Центральном банке Российской Федерации (Банке России)" от 10.07.2002 N 86-ФЗ (последняя редакция от 18.07.17г.)
6. Федеральный закон "О банках и банковской деятельности" от 02.12.1990 N 395-1-ФЗ (последняя редакция от 26.07.17г.)
7. "Положение о порядке формирования кредитными организациями резервов на возможные потери по ссудам, ссудной и приравненной к ней задолженности" (утв. Банком России 28.06.2017 N 590-П) (вместе с "Порядком оценки кредитного риска по портфелю (портфелям) однородных ссуд")
8. "Положение о порядке формирования кредитными организациями резервов на возможные потери" (утв. Банком России 20.03.2006 N 283-П) (ред. от 04.08.2016) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.02.2017)
9. Инструкция Банка России от 28.06.2017 N 180-И "Об обязательных нормативах банков" (от 12.07.2017 N 47383)
10. "Положение о методике определения величины собственных средств (капитала) кредитных организаций ("Базель III")" (утв. Банком России 28.12.2012 N 395-П) (ред. от 04.08.2016)
11. Глаголев С.Н., Бухонова С.М., Сидорин Ю.М. Принципы финансирования региональных инвестиционных проектов с участием кредитных организаций // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. №6. С. 182-188.
12. Doroshenko Y.A., Bukhonova S.M., Somina I.V., Manin A.V. Modernization of model for initiation of investment projects as a factor of balanced maintenance of region's investment-innovational activity // Journal of Applied Engineering Science. 2014. №4. С. 265–272.
13. Справочная правовая система КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.consultant.ru>
14. Агафонова М.В. Формирование кредитного портфеля современного коммерческого банка // Современные наукоемкие технологии. 2009. №6.
15. Костюченко Н.С. Анализ кредитных рисков: учебное пособие. СПб.: ИТД «Скифия», 2010. 440 С.
16. Чикина Е.Д., Шевченко М.В. Апробация экономико-математических моделей в деятельности предприятий с применением

программ Microsoft Excel и Mathcad // Вестник технологического университета им. В.Г. Шухова. Белгородского государственного 2016. № 6. С. 255–262.

Информация об авторах

Чикина Елена Дмитриевна, кандидат экономических наук, доцент кафедры финансового менеджмента
E-mail: atchikina@mail.ru
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Янченко Евгения Юрьевна, кандидат экономических наук, доцент кафедры финансового менеджмента
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в октябре 2017 г.

© Чикина Е.Д., Янченко Е.Ю., 2017

Chikina E.D., Yanchenko E.U.

THE ANALYSIS AND ASSESSMENT OF CREDIT RISK OF COMMERCIAL BANK USING THE METHODS OF ECONOMIC-MATHEMATICAL MODELING AND MATHCAD AND EXCEL PROGRAMS

The focus of this paper is on the analysis and assessment of loan portfolio risk of commercial bank using the methods of economic-mathematical modeling. There are two approaches to management of credit risk which considered in this article – from a position of the centralized management (following regulations established by CBRF) and also the approach of the decentralized management connected with development of models and methods of assessment of the loan portfolio quality based on expert judgements. The analysis is approved by financial reporting information of real credit organization and Mathcad software products (the automated programming with mathematical calculations) and Microsoft Excel (spreadsheets). Especially considered that cases when you need to consider a large number of factors which have different influence on your decision-making.

Keywords: *sufficient bank capital, dispersion and seven-variation of portfolio credit, portfolio credit quality, credit risk, modelling and Mathcad and Microsoft Excel software products, standards CBRF, centralized and decentralized management.*

Information about the authors

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

Yanchenko Evgeniya Yur'yevna, PhD.
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in October 2017

© Chikina E.D., Yanchenko E.U., 2017

*Леонова О.В., ведущий специалист
центра международного образования и сотрудничества
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНОСТРАННОГО ЧАСТНОГО КАПИТАЛА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИННОВАЦИОННО-ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПОТРЕБНОСТЕЙ НАЦИОНАЛЬНЫХ ХОЗЯЙСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ

intecun@yahoo.com

В настоящее время инновационная и инвестиционная деятельность российских предприятий часто приобретает четко выраженные международные характеристики. Важнейшие инновационные и инвестиционные проекты, актуальные для динамичного социально-экономического развития страны, в ряде случаев, осуществляются с участием иностранного частного капитала. В ходе исследования уточнены характеристики потенциала использования иностранного частного капитала в национальных инновационных и инвестиционных проектах. Изучена существующая информация об инвестициях в российскую экономику. Обоснована необходимость разработки и внедрения методических подходов определения потенциала использования иностранного частного капитала в отечественной экономике. Охарактеризованы перспективные направления реализации потенциала иностранного частного капитала для финансирования инноваций.

***Ключевые слова:** инновации, инвестиции, национальные инновационные и инвестиционные проекты, иностранный частный капитал, потенциал использования иностранного частного капитала, направления реализации потенциала иностранного частного капитала, финансирование инноваций.*

Введение. Динамично развивающиеся в национальной и мировой хозяйственной системе процессы заставляют теоретиков и практиков постоянно пересматривать и корректировать свои взгляды и подходы к различным сторонам экономического развития. Так в настоящее время в отечественной экономике активизировались процессы импортозамещения, растет производство важнейших видов промышленной и сельскохозяйственной продукции, гарантирующих экономическую безопасность, создаются и внедряются оригинальные инновационные технологии, закладывающие фундамент развития в 21-м веке. Участие иностранного частного капитала в осуществлении инновационно-инвестиционных проектов (ИИП) в стране отражает реалии современного мирового хозяйства, укрепляет экономику участников международной экономической деятельности, повышает ее эффективность. Несмотря на попытки некоторых западных стран экономически изолировать Россию растет ее роль в таких интеграционных структурах как АТЭС, СНГ, ОЧЭС, БРИКС, ЕврАзЭС и других [1]. При этом далеко не полностью реализован потенциал использования частного иностранного капитала, в том числе капитала из стран, входящих в вышеупомянутые объединения, хотя этот потенциал непосредственно влияет на конкурентоспособность как экономики в целом, так и отдельно взятых предприятий [2]. В более широком смысле можно говорить об определенной связи

потенциала использования иностранного частного капитала и инновационного потенциала как важнейшего элемента определяющего будущее страны [3]. В этой связи необходимо активизировать участие иностранного частного капитала в осуществлении ИИП в отечественной экономике.

Методология. Развитие экономики России требует полноценного удовлетворения инновационно-инвестиционных потребностей национальных хозяйственных комплексов, что может быть обеспечено в процессе реализации потенциала иностранного частного капитала. Глубокое исследование проблем иностранного финансирования отечественного народного хозяйства связано с изучением особенностей международного разделения труда и его влияния на развитие страны. Этой проблеме посвящены труды отечественных и зарубежных ученых, которые основаны на конкретной международной и отечественной хозяйственной практике. Доказано, что динамичное инновационно-инвестиционное развитие любой национальной экономики основано на сбалансированном подходе в использовании национального и иностранного капитала, что способствует решению общегосударственных и региональных задач экономического роста. Анализ показывает, что привлечение иностранного частного капитала способно реализовать ряд преимуществ по сравнению с использованием лишь национального капитала. Поэтому следует развивать и конкретизировать научно-теоретические положения, раскрывающие значение потенциала

использования иностранного частного капитала для решения проблем инновационно-инвестиционного развития страны.

Основная часть. В центре внимания современной инновационной и инвестиционной науки находятся наиболее значимые проблемы развития экономики, такие как инвестиционный анализ и инвестиционный менеджмент, экономическое обоснование инвестиций и др. [4, 5, 6, 7, 8]. Одновременно обеспечение инновационно-инвестиционных потребностей национальных хозяйственных комплексов требует раскрытия потенциала используемого для этого капитала. Понимая капитал как «фонды», «ресурсы», «источники финансирования» и т. д., и с позиции собственника капитала мы выделили государственный капитал, формируемый путем вложения государственных ресурсов и частный капитал, создаваемый при оплате уставного капитала физическими лицами, их группой или принадлежащим им предприятием. Известно, что в рыночной экономике инновационно-инвестиционное развитие часто осуществляется за счет частного капитала [9]. Поэтому важное место при финансировании национальных ИИП играет иностран-

ный капитал, выступающий в форме иностранного частного капитала. Перспективными также представляются различные формы смешанного капитала, наиболее сбалансированным вариантом которого представляется национальный частный капитал с участием иностранного частного капитала, что позволяет эффективно инвестировать в инновационно-инвестиционную деятельность предприятий.

Следует отметить, что совокупные инвестиции в отечественную промышленность в последние годы росли вне зависимости от экономического кризиса и экономических санкций западных стран, хотя по видам экономической деятельности просматривались определенные различия в плане инвестиций в основной капитал. В табл. 1 представлены данные, иллюстрирующие параметры этого процесса применительно к организациям с участием иностранного капитала [10]. Как видно за 2010-2014 годы инвестиции в основной капитал организаций с участием иностранного капитала выросли по промышленности в целом в 1,4 раза, в добыче полезных ископаемых – в 1,2 раза, в обрабатывающих производствах – в 1,5 раза, в производстве и распределении электроэнергии, газа и воды – в 1,7 раза.

Таблица 1

Инвестиции в основной капитал организаций с участием иностранного капитала по видам экономической деятельности, в фактических ценах, млн. руб.

	2010	2011	2012	2013	2014
Всего по промышленности:	770395	983535	1108251	1175499	1069309
в том числе по видам экономической деятельности:					
- добыча полезных ископаемых	294807	354309	421383	420531	354253
- обрабатывающие производства	380642	502694	560477	593641	552091
- производство и распределение электроэнергии, газа и воды	94946	126532	126391	161327	162965

В этой связи следует отметить, что, во-первых, с 2010 года, до введения экономических санкций в отношении нашей страны наблюдался устойчивый рост абсолютной величины вышеуказанных инвестиций вплоть до 2013 года. Во-вторых, несмотря на снижение этого показателя в 2014 году данные инвестиции значительны, что свидетельствует о большой роли организаций с участием иностранного капитала в национальном инвестиционном процессе. В-третьих, производство и распределение электроэнергии, газа и воды по-прежнему представляет существенный интерес для организаций с участием иностранного капитала, объем реальных инвестиций здесь вырос по абсолютной величине в 1,7 раза, по доле в промышленности – 12,3 % до 15,3 %, причем этот рост сохранялся и в 2014 году по сравнению с 2013 годом.

Значение организаций с участием иностранного капитала в реализации национальных ИИП связано с тем, что имеет место недостаток прямых иностранных инвестиций в отечественную экономику. Если в 2011 году объем прямых иностранных инвестиций в российское народное хозяйство был равен 55084 млн. долларов, то в 2015 году лишь 6478 млн. долларов, что связано в первую очередь с экономическими санкциями против страны. Если Соединенное Королевство (Великобритания) инвестировало в 2013 году в национальную экономику 18927 млн. долларов, то уже в 2014 году лишь 120 млн. долларов или в 157,7 раза меньше. Другая проблема – в последние годы прямые инвестиции в страну идут в основном из оффшорных зон (Багамы, Виргинские острова (Брит.), Джерси, Бермуды) [10]. Далее обозначим подходы для определения потенциала использования частного иностранного капитала

в целях обеспечения инновационно-инвестиционных потребностей национальных хозяйственных комплексов.

Следует подчеркнуть, что в современной экономической литературе представлены различные определения экономического потенциала вообще. Не анализируя подробно все эти определения, отметим, что наиболее обоснованной представляется точка зрения, в соответствии с которой фундамент экономического потенциала составляют средства, запасы, источники, имеющиеся в наличии, которые могут быть мобилизованы, приведены в действие, использованы для достижения определенной цели. В этом плане емким и содержательным представляется определение экономического потенциала одного из известных авторов, который считает, что экономический потенциал – это совокупная способность экономических ресурсов, имеющихся в наличии, обеспечить производство максимально возможного объема полезностей, соответствующих потребностям общества на данном этапе его развития. Величина экономического потенциала определяется количеством и качеством экономических ресурсов, которые имеются в наличии и могут быть вовлечены в общественное производство, а также условиями, обеспечивающими наиболее эффективное их использование [11]. На основе данного определения удобно вырабатывать подходы для определения потенциала использования частного иностранного капитала в целях обеспечения инновационно-инвестиционных потребностей национальных хозяйственных комплексов. По нашему мнению, этот потенциал представляет собой совокупность тех возможностей, средств и инструментов, которые появляются у предприятия с возникновением частного иностранного капитала. В потенциал использования частного иностранного капитала, по нашему мнению, входят следующие составляющие:

- 1) потенциал базовой структуры акционерного капитала;
- 2) организационный потенциал;
- 3) потенциал формирования сбалансированной структуры заемного капитала;

$$\text{Пичик} = (\text{Пбсак} + \text{Пор} + \text{Пфссзк} + \text{Пипип} + \text{Прп}) \times \text{М}, \quad (1)$$

где Пичик – потенциал использования частного иностранного капитала в целях обеспечения инвестиционных потребностей национальных хозяйственных комплексов; Пбсак – потенциал базовой структуры акционерного капитала; Пор – организационный потенциал; Пфссзк – потенциал формирования сбалансированной структуры заемного капитала; Пипип – потенциал инвестиционной привлекательности инновацион-

4) потенциал инвестиционной привлекательности инновационных проектов;

5) потенциал репутации предприятия.

Потенциал базовой структуры акционерного капитала (Пбсак) означает возможность сформировать сбалансированную структуру акционерного капитала с участием иностранного капитала в момент организации предприятия. Изначальное присутствие в акционерном капитале иностранного инвестора создает благоприятные возможности для привлечения в дальнейшем иностранного заемного капитала. Организационный потенциал (Пор), представляет собой потенциал корпоративного управления, который может изменяться в ту или иную сторону и реализовываться по различным направлениям. Потенциал формирования сбалансированной структуры заемного капитала (Пфссзк) состоит в способности предприятия наращивать денежные потоки заемного типа в соответствии с представлением о наиболее предпочтительной структуре заемного капитала. Наращивание этих потоков – увеличение Пфссзк и наоборот. Потенциал инвестиционной привлекательности инновационных проектов (Пипип) предполагает способность хозяйствующего субъекта генерировать высокодоходные ИИП, при увеличении количества указанных проектов фиксируется рост потенциала, при уменьшении Пипип снижается. Потенциал репутации предприятия (Прп) может быть количественно определен через гудвилл и зафиксирован как часть нематериальных активов предприятия, зависящая от положительного имиджа, наличия стабильных деловых связей, известности фирменного наименования и фирменной марки. Прп зависит от отношения к предприятию со стороны покупателей, клиентов, партнеров, органов управления. Он также связан с оценкой качества и надежности продукции предприятия, оценкой его товарного знака, оценкой менеджмента и т. д.

Таким образом, потенциал использования частного иностранного капитала в целях обеспечения инвестиционных потребностей национальных хозяйственных комплексов можно формализовано выразить следующим образом:

ных проектов; Прп – потенциал репутации предприятия; М – мультипликатор синергетического эффекта от объединения потенциалов, влияющих на использование иностранного частного капитала.

Известно, что общий принцип объединения любых потенциалов состоит в достижении суммарной результативности. Если $M > 1$, то объединение осуществлено рационально и управление

им эффективно. Возможна оценка и путем сравнения потенциалов при различных вариантах структурирования капитала предприятия. Приведенная выше формула характеризует Пичик с качественной стороны, она показывает, что каждый из отдельно взятых потенциалов (Пбсак, Пор, Пфссзк, Пипип, Прп) вносит свой вклад в создание синергетического эффекта, мультипликатор синергетического эффекта (М) определяет степень роста потенциала использования иностранного частного капитала в целях обеспечения инвестиционных потребностей национальных хозяйственных комплексов. Среди специалистов, использующих в экономических исследованиях потенциалистский подход существуют различные мнения по поводу генерирования эффекта мультипликатора промежуточными потенциалами. Представляется, что формирование потенциала использования иностранного частного капитала в целях обеспечения инвестиционных потребностей хозяйственных комплексов связано с эффектом мультипликатора, возникающего на основе всех рассмотренных потенциалов.

Выводы. По нашему мнению, потенциалистский подход к исследованию использования иностранного частного капитала в целях обеспечения инновационно-инвестиционных потребностей хозяйственных комплексов довольно продуктивен и позволяет выявить существенные аспекты этого использования. При этом необходимо решить следующие научно-методические проблемы для привлечения иностранного частного капитала.

Во-первых, разграничить собственность на капитал при учреждении предприятия и собственность на капитал при получении заемного финансирования, что позволит осмыслить потенциал использования иностранного частного капитала.

Во-вторых, дать количественную оценку потенциала иностранного частного капитала в целях обеспечения инвестиционных потребностей национальных хозяйственных комплексов с учетом оценки всех формирующих его потенциалов.

В-третьих, обозначить в первом приближении проблему эффективности ИИП с использованием иностранного финансирования в рамках потенциалистского подхода.

На основе сформулированных результатов исследований могут получить дальнейшее развитие и конкретизацию методические подходы,

раскрывающие потенциал использования иностранного частного капитала для обеспечения инвестиционных потребностей национальных хозяйственных комплексов, что даст возможность реализовывать эффективные ИИП в рамках отечественного народного хозяйства и промышленности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Растворцева С.Н., Усманов Д.И. Анализ включенности России в глобализационные процессы (часть 2) // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 11. С. 256-262.
2. Дорошенко Ю.А., Климашевская А.А. Анализ научно-технического потенциала предприятий промышленности строительных материалов в контексте оценки необходимости проведения технологической модернизации в отрасли // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 1. С. 214-218.
3. Кузьмина О.Е. Инновационный потенциал как неотъемлемый компонент оценки эффективности деятельности предприятия // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 4. С. 215-219.
4. Блау С.Л. Инвестиционный анализ: Учебник для бакалавров. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2016. 256 с.
5. Брусков П.Н., Филатова Т.В., Лахметкина Н.И. Инвестиционный менеджмент: Учебник. М.: ИНФРА-М, 2014. 333 с.
6. Дасковский В.Б., Киселев В.Б. Новый подход к экономическому обоснованию инвестиций. М.: Канон+РООИ «Реабилитация», 2016. 400 с.
7. Инвестиции: учебник для бакалавров / А.Ю. Андрианов, С.В. Валдайцев, П.В. Воробьев. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Проспект, 2016. 592 с.
8. Селиверстов Ю.И. Инвестиции: учебное пособие. Белгород, Изд-во БГТУ, 2015. 151 с.
9. Doroshenko Y.A., Shevelev A. A., Somina I.V. The Private Capital and Investment Financing // World Applied Sciences Journal. 2013. Vol. 25. № 1. P. 124-132.
10. Российский статистический ежегодник. 2016: Стат. сб. / Росстат. М., 2016. 725 с.
11. Дорошенко Ю.А. Экономический потенциал территории. СПб: Химия, 1997. 237 с.

Информация об авторах

Леонова Ольга Викторовна, ведущий специалист центра международного образования и сотрудничества.

E-mail: intecun@yahoo.com

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

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

Поступила в октябре 2017 г.

© Леонова О.В., 2017

Leonova O.V.

**THE POTENTIAL OF USING FOREIGN PRIVATE CAPITAL FOR INNOVATIVE
AND INVESTMENT REQUIREMENTS FOR NATIONAL ECONOMY COMPLEXES
PROVIDING**

Currently, the innovative and investment activities of Russian enterprises often have taken expressive international features. The main innovative and investment projects of actual social and economical development of country have been realized with foreign private capital participation. The characteristic features for potential of using foreign private capital in national innovative and investment projects have been specifying. The information about investment for Russian economic has been studied. The necessity for the development and introduction of methodic of definition for potential of using foreign private capital in national economic has been substantiated. Some perspective generations for realization potential of foreign private capital for financing of innovations has been characterized.

Keywords: *innovations, investment, national innovative and investment projects, foreign private capital, potential of using foreign private capital, generations for realization potential of foreign private capital, financing of innovations.*

Information about the authors

Leonova Olga Viktorovna, leading specialist of the Center for International Education and Cooperation

E-mail: intecun@yahoo.com

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

Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova str., 46.

Received in October 2017

© Leonova O.V., 2017

DOI: 10.12737/article_5a27cb9cb80c06.12102862

¹Шматко А.Д., д-р экон. наук, проф.,²Селиверстов Ю.И., д-р экон. наук, проф.¹Балтийский государственный технический университет
«Военмех» им. Д.Ф. Устинова (г. Санкт-Петербург)²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ В РОССИИ: РЕГИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТ***

urisel@mail.ru

В статье рассмотрено состояние научно-технического развития России с позиций теории эндогенного роста. Проанализированы показатели инновационной активности двух региональных систем (Центрально-Черноземный экономический район, Северо-Западный федеральный округ). Установлено, что имеет место территориальное неравенство финансирования инновационной деятельности и, как следствие, аналогичные показатели инновационной деятельности. Делается вывод о необходимости проведения региональными органами власти и управления системной работы в области развития научно-технического потенциала территорий.

Ключевые слова: инновационная деятельность, финансирование, патент, научно-технический потенциал, регион.

Введение. В современных условиях важнейшим источником экономического роста является научно-технологический прогресс. В развитых странах мира (США, Японии, Германии, Франции и др.) основой экономики является производство высокотехнологичной продукции. Так, удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров в таких странах составляет порядка 15–25 %, в то время как в России этот показатель достигает только 6–9% и, не смотря на декларации о необходимости перевода экономики на путь инновационного развития, продолжает сокращаться [1].

В настоящее время для всех уже очевидно, что действующая в стране экономическая модель, основанная на экспорте углеводородов (со всеми вытекающими решениями в сфере кредитно-денежной, промышленной, социальной политики), себя полностью исчерпала, необходим переход к новой модели экономического роста, основанной на развитии высоких технологий. Для сокращения сырьевой зависимости России необходимо повысить свое присутствие на мировых рынках высоких технологий, которое серьезно минимизировалось в связи с утратой конкурентоспособности во многих сферах. Достижение данных результатов возможно лишь за счет развития научно-технологического потенциала страны и отдельных ее регионов.

В то же время осуществление научно-технического развития в стране сталкивается с рядом проблем, носящих системный характер, о чем свидетельствуют низкие значения показателей развития науки и технологий. Например, доля внутренних затрат на исследования и разработки в процентах к ВВП составляет 1,4 % (в Японии – 3,6 %, США – 2,75 %, Китае – 2,1 %), численность

персонала, занятого исследованиями и разработками по сравнению с 1990 г. сократилась в 2,2 раза и составляет 58 чел. на 10 тыс. населения (для сравнения за данный период рост в Китае составил более 6 раз, а в Германии в 2014 г. данный показатель составил 72 чел. на 10 тыс. населения). Уровень инновационной активности предприятий РФ – 10 % (Германия – 67 %, Франция – 52 %).

Таким образом, повышение эффективности использования существующего научно-технологического потенциала (далее – НТП) в целях повышения конкурентоспособности российской экономики является актуальной задачей, и для ее решения со стороны органов государственной власти и управления необходима реализация конкретных шагов.

Научно-методологический аспект. Изучение заявленной проблемы актуально в целом для мировой науки и лежит в русле дискуссионных вопросов современной теории эндогенного роста, берущей свое начало в работах П. Ромера. Важный вклад в ее развитие внесли Ф. Агийон и П. Хоуитт, Дж. Гроссман и Э. Хелпман, Р. Лукас, П. Ромер и другие авторы [6–9]. Главным в этих теоретических разработках является то, что технический прогресс рассматривается в качестве эндогенного фактора экономического роста, определяемого внутренними причинами. Значимым следствием является роль региональной среды, а именно качество человеческого потенциала и уровень развития производственного сектора. Это объясняется двумя основными обстоятельствами.

С одной стороны, прямое взаимодействие человека требует близости, а это означает, что

распространение знаний, в первую очередь, происходит на местном уровне. Это приводит к тому, что региональная среда выступает наиболее благоприятным местом для их распространения (Р. Лукас). Близость способствует переливу знаний, которые концептуально отличаются от информации (Б. Одрич). В особенности это касается тех случаев, когда знания имеют неопределенный характер (например, генерируются в процессе поисковых и фундаментальных исследований). Чем выше средний уровень человеческого капитала, тем больше вероятность того, что такие контакты приведут к расширению знаний индивидов и повышению человеческого капитала (Дж. Рауч). Кроме того, посредством встреч и обсуждений, люди не только передают друг другу знания, но и изменяют их, и, следовательно, создают новые знания.

С другой стороны, «переливы» знаний являются неотъемлемым свойством внутрифирменных исследований и разработок: ничто не мешает фирмам пользоваться идеями, заложенными в присутствующих на рынке товарах, а также накопленным запасом общественных знаний. Это приводит к появлению либо «горизонтальных инноваций», в результате которых имеющийся запас знаний используется в качестве основы для новых видов продукции (П. Ромер), либо «вертикальных инноваций», посредством которых конкурирующие фирмы совершенствуют качество своих продуктовых линеек (Г. Гроссман, П. Агийон). В первом случае распространение знаний является преимущественно межотраслевым, а во втором – оно осуществляется, главным образом, в пределах одной отрасли. В связи с этим одним из ключевых факторов генерации и распространения знаний взаимодействие в рамках межфирменных инновационных сетей или общих инновационных систем, свойством которых является географическая близость (Б. Одрич и П. Фелдман; М. Андерсон и К. Карлсон).

Таким образом, научно-технологическое развитие является важнейшим фактором как экономического роста регионов, так и экономического роста Российской Федерации в целом.

Основная часть. Сопоставляя научно-технологическое развитие России с ведущими мировыми экономиками, стоит отметить следующие факты. В странах ОЭСР за последнее десятилетие XX века доля высокотехнологичных товаров в экспорте произведенной продукции составила 20-25%, что в два раза больше значений предыдущих показателей. В инновационном строительстве Россия пока не преуспела. Так международная школа INSEAD, Корнельский университет (Cornell University) и Всемирная организация

интеллектуальной собственности (World Intellectual Property Organization, WIPO) в своем аналитическом докладе «Глобальный индекс инноваций 2017» установили, что Россия из 127 стран занимает 45 место, что на 2 позиций ниже, чем в предыдущем году. Среди 35 ведущих европейских государств наша страна занимает 31 место. Необходимо отметить, что по субиндексу ресурсов инноваций (занятость женщин с высшим образованием, количество выпускников вузов с научным и инженерным образованием, численность работников, занятых в сфере наукоемких услуг и др.) Россия с 2014 года стабильно улучшает свои позиции. Однако по субиндексу результатов инноваций (инновационные связи, качество регулирования, приток прямых иностранных инвестиций, сделки с венчурным капиталом и др.) страна за год опустилась на четыре позиции [3].

В процессе исследования нами были проанализированы показатели инновационной деятельности регионов Центрально-Черноземного экономического района (Белгородская, Воронежская, Курская, Липецкая, Орловская и Тамбовская области) и Северо-Западного федерального округа (за исключением города Санкт-Петербурга). Результаты статистического анализа, выполненного авторами на основании данных Росстата [5], представлены в таблицах 1–6.

Из приведенных данных видно, что уровень инновационной активности организаций (табл. 1) находится на критически низком уровне в большинстве исследованных субъектов РФ (в среднем до 10%). Кроме того, наблюдаются низкие значения удельного веса инновационной продукции в общем объеме отгруженной продукции (табл. 6). По результатам проведенного анализа стоит выделить ряд закономерностей и основных тенденций научно-технологического развития регионов РФ.

Во-первых, наличие существенного территориального неравенства в финансировании НИОКР (около 6 млрд. рублей в год в Воронежской области и 250 – 300 млн. рублей в Вологодской и Псковской областях – табл. 2), а также по затратам на технологические инновации (более 10 млрд. рублей в год в Ленинградской и Липецкой областях и менее 300 млн. рублей в Республике Карелия и Псковской области – табл. 3). Как следствие, аналогичная картина наблюдается по показателям разработки и использования передовых производственных технологий (табл. 4) и патентной активности регионов (табл. 5). Безусловно складывающаяся ситуация увеличивает отставание страны в целом от ведущих западных

экономик по показателям инновационной активности и доле отгруженной инновационной продукции в ВВП.

Таблица 1

Показатели инновационной активности организаций в регионах

Регион	Организации, выполнявшие научные исследования и разработки			Инновационная активность организаций*			
	2013	2014	2015	2013	2014	2015	2016
Центрально-Черноземный экономический район							
Белгородская обл.	15	16	22	9,6	11,5	12,7	14,1
Воронежская обл.	56	53	63	10,0	10,3	11,0	11,6
Курская обл.	16	15	18	10,7	9,9	7,3	6,5
Липецкая обл.	12	13	27	17,5	18,6	20,0	19,2
Орловская обл.	14	14	19	8,4	8,4	9,6	7,4
Тамбовская обл.	27	25	30	8,8	9,1	9,6	10,6
Северо-Западный федеральный округ							
Республика Карелия	17	17	22	8,1	7,7	7,2	6,4
Республика Коми	21	24	28	8,8	8,9	5,2	4,5
Архангельская обл.	32	32	36	5,4	5,0	5,8	4,9
Вологодская обл.	17	17	18	7,8	5,6	5,5	6,0
Калининградская обл.	14	12	16	5,1	2,4	4,1	4,8
Ленинградская обл.	11	14	13	10,5	8,7	10,1	8,5
Мурманская обл.	29	29	31	13,5	10,2	9,4	7,2
Новгородская обл.	11	11	17	6,6	7,7	8,9	7,3
Псковская обл.	10	10	13	7,3	9,2	7,0	7,9

*Удельный вес организаций, осуществляющих инновации в общем числе обследованных организаций

Таблица 2

Внутренние затраты на научные исследования и разработки, млн. рублей

Регион	Всего			в т.ч. фундаментальные исследования			в т.ч. прикладные исследования		
	2013	2014	2015	2013	2014	2015	2013	2014	2015
Центрально-Черноземный экономический район									
Белгородская обл.	1465,6	1790,5	1921,1	158,0	292,8	296,4	414,5	479,5	517,8
Воронежская обл.	6172,2	6348,1	6379,8	317,7	408,6	459,9	1065,9	1361,6	1370,3
Курская обл.	3013,6	3466,0	2762,6	116,5	178,8	162,0	181,6	163,7	195,2
Липецкая обл.	233,0	287,5	410,5	27,3	42,7	48,0	63,5	66,9	82,4
Орловская обл.	474,5	397,4	526,0	118,5	139,8	112,7	126,6	167,6	220,4
Тамбовская обл.	1440,4	2297,0	2182,6	114,7	145,2	266,6	120,6	140,1	174,3
Северо-Западный федеральный округ									
Республика Карелия	897,7	985,9	1050,7	638,6	636,5	620,0	206,9	221,1	331,2
Республика Коми	2239,8	2152,4	2400,1	851,0	836,9	856,2	311,1	252,9	284,4
Архангельская обл.	1247,3	1460,6	1471,0	390,1	407,6	311,0	280,5	203,8	237,1
Вологодская обл.	362,7	366,4	377,3	119,0	121,8	122,7	125,8	142,7	79,9
Калининградская обл.	1074,3	1005,9	1146,8	395,8	325,2	396,1	299,7	282,3	364,6
Ленинградская обл.	5472,7	6708,8	7587,1	335,7	417,6	636,8	1960,0	1999,2	2287,4
Мурманская обл.	2518,7	2599,0	2513,4	1512,5	1538,2	1438,4	822,8	886,2	922,9
Новгородская обл.	1208,7	1093,0	1587,8	78,1	101,9	84,3	110,4	127,5	114,5
Псковская обл.	171,2	167,6	337,1	28,8	32,2	30,2	84,8	60,6	74,4

Таблица 3

Затраты на технологические инновации по регионам

Регион	Затраты на технологические инновации, млн. рублей				Удельный вес затрат на технологические инновации, %			
	2013	2014	2015	2016	2013	2014	2015	2016
Центрально-Черноземный экономический район								
Белгородская обл.	1107,4	4108,8	2392,9	20 339,0	0,2	0,8	0,4	2,6
Воронежская обл.	4720,8	5906,6	9978,7	7729,3	2,6	2,0	2,5	1,7
Курская обл.	7710,6	4545,8	1022,4	2236,5	0,8	2,2	0,4	0,7
Липецкая обл.	9892,1	11432,2	9726,5	15813,5	2,4	2,5	1,8	2,5
Орловская обл.	435,7	694,5	405,6	1539,7	0,5	0,8	0,5	0,9
Тамбовская обл.	1841,8	2341,0	3417,5	6827,9	2,1	2,4	2,9	3,7
Северо-Западный федеральный округ								
Республика Карелия	169,3	63,9	123,5	711,3	0,2	0,1	0,1	0,5
Республика Коми	1541,3	1762,8	853,5	1294,5	0,4	0,4	0,2	0,2
Архангельская обл.	7802,2	3399,4	1512,8	1080,8	1,7	0,9	0,3	0,3
Вологодская обл.	2408,8	2613,4	578,4	812,2	0,6	0,6	0,1	0,2
Калининградская обл.	442,2	249,3	1066,4	3856,4	0,1	0,1	0,3	0,9
Ленинградская обл.	83252,2	7011,3	12639,3	7180,1	16,7	1,3	1,8	0,8
Мурманская обл.	1702,2	2248,8	1239,0	1268,9	0,8	1,0	0,5	0,5
Новгородская обл.	2727,2	2445,3	1816,4	2381,2	2,1	1,8	1,1	1,3
Псковская обл.	348,9	200,6	203,2	774,9	0,6	0,4	0,3	0,8

Таблица 4

Показатели разработки и использования передовых производственных технологий по регионам

Регион	Разработаны передовые производственные технологии				Использованы передовые производственные технологии			
	2013	2014	2015	2016	2013	2014	2015	2016
Центрально-Черноземный экономический район								
Белгородская обл.	12	10	33	51	1421	1837	1970	2335
Воронежская обл.	59	31	25	26	1897	1974	2160	2275
Курская обл.	2	-	-	-	1314	1323	1293	1291
Липецкая обл.	1	2	1	1	3653	3174	3221	3401
Орловская обл.	-	-	-	1	1479	1559	1460	1647
Тамбовская обл.	-	-	-	-	1966	2069	2023	1981
Северо-Западный федеральный округ								
Республика Карелия	8	9	10	11	551	498	537	614
Республика Коми	1	-	1	2	529	564	710	779
Архангельская обл.	17	16	15	14	1384	1362	1426	1416
Вологодская обл.	5	7	9	9	2184	2379	2533	2624
Калининградская обл.	12	1	1	2	1044	812	795	854
Ленинградская обл.	15	11	13	12	1532	1642	1641	1695
Мурманская обл.	-	-	-	-	1106	1135	1201	1236
Новгородская обл.	23	23	25	33	1684	1864	1866	2092
Псковская обл.	2	2	1	3	1171	1292	1273	1317

Таблица 5

Показатели патентной активности регионов

Регион	Подано патентных заявок				Получено патентов			
	2013	2014	2015	2016	2013	2014	2015	2016
Центрально-Черноземный экономический район								
Белгородская обл.	267	323	275	287	210	209	267	220
Воронежская обл.	738	815	806	715	743	679	705	659
Курская обл.	370	372	406	471	270	243	431	322
Липецкая обл.	117	131	125	87	105	83	101	63
Орловская обл.	191	127	93	97	174	131	148	91
Тамбовская обл.	134	116	113	154	121	119	120	72
Северо-Западный федеральный округ								
Республика Карелия	81	66	81	98	55	58	53	50
Республика Коми	51	57	53	69	46	35	48	24
Архангельская обл.	107	139	145	90	79	75	89	77
Вологодская обл.	125	117	142	117	82	93	117	98
Калининградская обл.	96	88	93	88	82	83	69	60
Ленинградская обл.	176	164	133	178	94	88	111	83
Мурманская обл.	59	48	55	45	66	61	52	37
Новгородская обл.	96	105	62	90	75	102	69	49
Псковская обл.	75	84	72	69	49	66	55	40

Таблица 6

Объем инновационных товаров работ и услуг в регионах

Регион	2013		2014		2015		2016	
	млн. руб.	%*	млн. руб.	%	млн. руб.	%	млн. руб.	%
Центрально-Черноземный экономический район								
Белгородская обл.	21246,5	4,3	23098,3	4,4	29348,1	5,0	56411,5	7,3
Воронежская обл.	13520,8	4,6	24742,4	7,2	50120,6	12,4	27123,6	5,9
Курская обл.	8591,3	4,3	13363,3	6,5	15087,2	6,2	24698,8	7,6
Липецкая обл.	54860,5	13,3	63282,1	13,6	64830,1	12,3	66242,7	10,5
Орловская обл.	1143,8	1,4	885,1	1,0	748,5	0,9	869,7	0,5
Тамбовская обл.	2624,3	3,0	6278,0	6,3	7165,4	6,1	8332,2	4,5
Северо-Западный федеральный округ								
Республика Карелия	209,8	0,2	193,5	0,2	187,7	0,2	455,2	0,3
Республика Коми	22346,8	5,1	23191,2	5,3	16952,7	3,3	12762,4	2,3
Архангельская обл.	132732,2	28,9	5411,0	1,4	12152,2	2,7	2011,9	0,5
Вологодская обл.	17317,9	4,4	79138,5	18,6	109044,2	21,6	23912,0	4,3
Калининградская обл.	395,9	0,1	376,6	0,1	1271,4	0,4	994,7	0,2
Ленинградская обл.	14077,0	2,8	32776,6	5,9	13906,7	2,0	20565,3	2,3
Мурманская обл.	1815,9	4,6	8299,7	3,6	4373,0	1,7	3965,9	1,5
Новгородская обл.	5976,6	4,6	4835,8	3,6	6654,9	3,9	5681,9	3,0
Псковская обл.	544,8	1,0	384,4	0,7	712,4	1,1	1134,6	1,2

*в % от общего объема отгруженных товаров, выполненных работ, услуг

Во-вторых, для решения вышеизложенных проблем необходимо поступательное развитие научно-технологического потенциала во всех субъектах Российской Федерации с целью выравнивания значений основных показателей. Это, в свою очередь, требует выработки специфических

подходов для каждого отдельного субъекта согласно уровню развития научно-технологического потенциала территории.

В России стратегической целью государственной политики в области науки и технологий названо «обеспечение к 2020 г. мирового уровня

исследований и разработок и глобальной конкурентоспособности Российской Федерации на направлениях, определенных национальными научно-технологическими приоритетами» [4]. В Государственной программе «Развитие науки и технологий до 2020 года» отмечается, что «современные глобальные вызовы диктуют необходимость опережающего развития отдельных специфических направлений научных исследований и технологических разработок («чистая» энергетика, геномная медицина, новые технологии в сельском хозяйстве и т. д.)». Однако, как уже от-

мечалось, несмотря на обозначенные приоритеты, развитие научно-технологического потенциала России идет с заметным отставанием от ведущих мировых экономик, что, по мнению экспертов, является одной из важнейших проблем отечественного сектора исследований и разработок [2].

Безусловно, на федеральном уровне принимаются конкретные шаги, стимулирующие развитие научно-технологического потенциала (табл. 7), однако на данный момент говорить об их эффективности сложно.

Таблица 7

Перечень нормативно-правовых документов, регламентирующих цель и приоритеты научно-технологического развития РФ

№ п/п	Нормативно-правовой документ	Сроки действия	Направления регулирования научно-технологической деятельности
1.	Стратегия инновационного развития РФ на период до 2020 г.	2011–2016 гг.	Определение целей и задач инновационной политики Российской Федерации, а также меры её реализации
2.	Государственная программа Российской Федерации «Развитие науки и технологий» на 2013–2020 годы»	2013–2020 гг.	Формирование конкурентоспособного и эффективно функционирующего сектора исследований и разработок и обеспечение его ведущей роли в процессах технологической модернизации российской экономики.
3.	Государственная программа Российской Федерации «Экономическое развитие и инновационная экономика»	2014 – н.в.	Создание благоприятного предпринимательского климата и условий для ведения бизнеса. Повышение инновационной активности бизнеса. Повышение эффективности государственного управления.
4.	Федеральная целевая программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы»	2014–2020 гг.	Проведение и финансирование исследований, дающих выход на конкретные разработки и продукты. Она направляет ресурсы на проведение прикладных исследований по тем технологическим направлениям, которые являются приоритетными для российской экономики и способствуют повышению ее конкурентоспособности.
5.	Указ Президента РФ от 18.06.2012 № 878 «О создании Совет при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России»	2012 г. – н. в.	Координация деятельности федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов РФ, органов местного самоуправления, предпринимательского и экспертного сообществ в области модернизации экономики и инновационного развития России.
6.	Указ Президента РФ от 01.12.2016 г. № 642 «Об утверждении Стратегии научно-технологического развития России до 2035 г.»	2016–2035 гг.	Определение целей и задач научно-технологического развития РФ. Стратегия нацелена на получение технологий, способных ответить на основные вызовы, повысить долю инновационной продукции во внутреннем валовом продукте, вывести на новые рынки наукоемкие отечественные технологии, повысить результативность проводимых российскими учеными исследований.

Выводы. Таким образом, мы можем констатировать, что на федеральном уровне создан достаточный нормативно-правовой задел, позволяющий формировать и развивать научно-технологический потенциал. В то же время, без реализации соответствующих шагов со стороны региональных органов власти и управления сделать это представляется затруднительным. Требуется организация системной деятельности по разработке и реализации региональных программ развития НТП во всех субъектах РФ.

Анализ опыта регионов-лидеров указывает на необходимость проведения региональными органами власти и управления системной работы в области развития НТП. Утверждены и действуют соответствующие нормативно-правовые документы, а реализуемые в этих субъектах на данный момент меры носят системный характер.

Далее необходимо, основываясь на управленческом подходе к оценке эффективности государственного управления, провести оценку качества использования существующего ресурс-

ного потенциала научно-технологического развития субъектов РФ. Подходы, разработанные в рамках исследования НТП территорий, предоставят возможность для проведения достаточно подробного анализа состояния, уровня и эффективности научно-технологического развития на отдельно взятых территориях, а также в сравнении с другими регионами.

**Работа выполнена в рамках Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Индикаторы инновационной деятельности: 2015: стат. сб. М.: Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2015. 320 с.

2. Куракова Н.Г., Зинов В.Г., Цветкова Л.А. Национальная научно-технологическая политика «быстрого реагирования»: рекомендации для России: аналитич. доклад. М.: Дело, 2016. 160 с.

3. Глобальный инновационный индекс 2017 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: http://www.wipo.int/pressroom/ru/articles/2017/article_0006.html

4. Концепция Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: минобрнауки.рф/документы/2284/файл/609/12.05.21-фцп.ип.pdf

5. Россия в цифрах, 2017 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1135075100641

6. Aghion P., Howitt P. A model of growth through creative destruction // *Econometrica*. 1992. Vol. 60. № 2. P. 323–351

7. Grossman G., Helpman E. *Innovation and growth in the global economy*. Cambridge, MA: MIT Press, 1991.

8. Lucas R.E. On the mechanics of economic development // *Journal of Monetary Economics*. 1988. Vol. 22. № 1. P. 3–42.

9. Romer P.M. Endogenous technological change // *Journal of Political Economy*. 1990. Vol. 98. № 5. P. 71–102.

Информация об авторах

Шматко Алексей Дмитриевич, доктор экономических наук, профессор, зав. кафедрой экономики, организации и управления производством.

E-mail: eop@intbel.ru

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова. Россия, 190005, Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, д. 1.

Селиверстов Юрий Иванович, доктор экономических наук, профессор, зав. кафедрой экономики и организации производства.

E-mail: urisel@mail.ru

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

Поступила в октябре 2017 г.

© Шматко А.Д., Селиверстов Ю.И., 2017

Shmatko A.D., Seliverstov Y.I.

SCIENTIFIC AND TECHNICAL DEVELOPMENT IN RUSSIA: REGIONAL ASPECT

The state of scientific and technical development of Russia from the standpoint of the theory of endogenous growth is considered in article. The indicators of innovative activity of two regional systems (Central Black Earth Economic Region, North-West Federal District) are analyzed. It is established that there is territorial inequality of financing of innovative activity, and, as a consequence, similar indicators of innovative activity. The conclusion about the necessity of carrying out system work in the field of development of scientific and technical potential of the territories by regional authorities and management is drawn.

Keywords: *innovative activity, financing, patent, scientific and technical potential, region.*

Information about the authors

Shmatko Aleksey Dmitrievich, PhD, Professor.

E-mail: eop@intbel.ru

Baltic State Technical University "Voenmeh" D.F. Ustinov. Russia, 190005, St. Petersburg, st. 1 Krasnoarmeyskaya, 1.

Seliverstov Yury Ivanovich, PhD, Professor.

E-mail: urisel@mail.ru.

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

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

Received in October 2017

© Shmatko A.D., Seliverstov Y.I., 2017

Научное издание
«Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова»
№ 12, 2017 г.

Научно-теоретический журнал

Ответственный за выпуск Н.И. Алфимова
Компьютерная верстка А.В. Федоренко
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 11.10.17. Подписано в печать 11.12.17. Формат 60×84/8
Усл. печ. л. 31,96. Уч.-изд. л. 34,25.
Тираж 1000 экз. Заказ _____. Цена договорная.
Все публикуемые материалы представлены в авторской редакции.

Адрес редакции: г. Белгород, ул. Костюкова, 46, оф. 336 Лк.
Номер сверстан в редакции научно-теоретического журнала
«Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова».
Отпечатано в РИЦ БГТУ им. В.Г. Шухова

