

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

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВЕСТНИК

БГТУ им. В.Г. ШУХОВА

№ 5, 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

Логанина В.И., Фролов М.В., Арискин М.В.

ВЛИЯНИЕ ВИДА НАПОЛНИТЕЛЯ НА МЕХАНИЗМ ПЕРЕДАЧИ ТЕПЛА
В ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ШТУКАТУРКАХ

6

Золотых С.Н.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УКРЕПЛЕННЫХ ГРУНТОВ
В КОНСТРУКЦИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

11

Шейченко М.С., Алфимова Н.И., Вишневская Я.Ю.

СОВРЕМЕННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

15

Дребезгова М.Ю.

ОСОБЕННОСТИ ГИДРАТАЦИИ КОМПОЗИЦИОННОГО ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО
В ПРИСУТСТВИИ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРА SikaPlast 2135

20

Обернихин Д.В.

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ, ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ
И ДЕФОРМАТИВНОСТИ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
ТРАПЕЦИЕВИДНОГО СЕЧЕНИЯ

24

Малыхина В.С., Денисов А.Н.

СОВРЕМЕННОЕ ДЕРЕВЯННОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

30

Волков А.А., Лебедев В.М.

ЗАДЕЛ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И СИСТЕМОКВАНТЫ ПРОЦЕССОВ

37

Шукуров И.С., Оленьков В.Д., Пайкан В., Аманов Р.М.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРОДОВ
С УЧЕТОМ АЭРАЦИОННОГО РЕЖИМА ВОЗДУХА

41

Лебедев В.М., Мартынова Н.В.

ИНФОГРАФИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЗДАНИЙ

45

Джерелей Д.А.

НАУЧНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦЕНТРОВ ХРАНЕНИЯ
И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ НЕДЕЙСТВУЮЩИХ И УБЫТОЧНЫХ УГОЛЬНЫХ
ШАХТ ДОНБАССА

49

Кононова О.Ю., Андреева Н.В.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ АНОМАЛИЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ
С РЕДУКЦИЯМИ В ПРОГРАММНОМ ПРОДУКТЕ SURFER

54

Черныш А.С.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА НА БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ НАБИВНОЙ
СВАИ ПО ПРОЧНОСТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ГРУНТА

61

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Вареникова Т.А., Смирнова М.А., Дороганов В.А.

КОРУНДОВЫЕ ЛЕГКОВЕСНЫЕ ОГНЕУПОРЫ НА ОСНОВЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ
ВЯЖУЩИХ

64

Яшкина С.Ю., Дороганов В.А.

КЕРАМИЧЕСКИЕ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫЕ КОМПОЗИТЫ
ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТОГО СОСТАВА С ДОБАВКОЙ ОКСИДА ВИСМУТА

70

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Богданов В.С., Василенко О.С., Богданов Д.В., Фадин Ю.М.

РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КОНУСНОЙ ИНЕРЦИОННОЙ ДРОБИЛКИ

77

Бараковских Д.С., Шишкин С.Ф.

ДВИЖЕНИЕ ДВУХФАЗНОГО ПОТОКА В РАЗГОННОЙ ТРУБКЕ СТРУЙНОЙ МЕЛЬНИЦЫ

82

Герасимов М.Д., Горшков П.С., Бражник Ю.В., Грудина В.А.

РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ВАРИАЦИЙ НАСАДОК
(СОПЕЛ) ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОГО 3D ПРИНТЕРА

89

Гаврунов А.Ю., Богданов Н.Э., Карагодина К.И., Шеховцова Ю.А. ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В ВИБРАЦИОННОЙ МЕЛЬНИЦЕ НА УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД ЭНЕРГИИ	98
Фадин Ю.М., Богданов В.С., Юрьева М.В., Вечканов А.В. ВОЗВРАТНО-ПОТОЧНЫЕ ЦИКЛОНЫ. ИСТОКИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ	104
Дуюн Т.А., Бочарникова Г.В. ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА СБОРКИ КОЛЛЕКТОРА КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА	110
Бойко А.Ф., Клеймёнов К.Н., Чунихин А.Б. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА И ИЗНОСА ЭЛЕКТРОДА-ИНСТРУМЕНТА ОТ ЧАСТОТЫ ИМПУЛЬСОВ ПРИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ПРОШИВКЕ ПРЕЦИЗИОННЫХ МИКРООТВЕРСТИЙ	115
Качаев А.Е., Орехова Т.Н. ОПИСАНИЕ ВИХРЕВОГО ДВИЖЕНИЯ ДВУХФАЗНОГО ПОТОКА В ПНЕВМОСМЕСИТЕЛЕ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ	121
Юдин К.А., Дегтярь А.Н., Харин Н.П. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУНАПРАВЛЕННОГО ВРАЩАТЕЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МАТЕРИАЛ В СФЕРИЧЕСКОЙ СМЕСИТЕЛЬНОЙ КАМЕРЕ	126

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Игнатова Е.В., Мачача А.В., Дмитриева И.С. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КОРРЕКТИРОВКИ ДАННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ В АЛГОРИТМЕ ФОТОГРАММЕТРИИ	132
Басманова Ю.И., Филинских А.Д., Хвойнов В. Н. РАЗРАБОТКА КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ПОЛЬЗОВАТЕЛЯМИ НА ПРЕДПРИЯТИИ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ» – ФГУП ФНПЦ НИИИС ИМ. Ю.Е. СЕДАКОВА	139
Шаптала В.Г., Шатала В.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЧИСТКИ ГАЗОВ В ПЫЛЕОСАДИТЕЛЬНЫХ КАМЕРАХ ЦЕМЕНТНЫХ ПЕЧЕЙ	144
Поляков В.А., Бегдай С.Н. СОЛНЕЧНЫЙ КОЛЛЕКТОР В СИСТЕМАХ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ	151
Северин Н.Н., Радоуцкий В.Ю., Шаптала В.Г., Шаптала В.В. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА НА ПОЖАРНУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ	155
Сафина Г.Л., Галагуз Ю.П. АНАЛИЗ ТЕСТИРОВАНИЯ ПО МАТЕМАТИКЕ	160
Литвинов Д.А. О ПОСТРОЕНИИ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ЛИНЕЙНЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ	164

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Абакумов Р.Г., Наумов А.Е., Зобова А.Г. ПРЕИМУЩЕСТВА, ИНСТРУМЕНТЫ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ	171
Дорохова Е.И., Коренькова Г.В., Белых Т.В. ДОСТУПНОСТЬ ЖИЛЬЯ В БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ КАК ОДИН ИЗ ИНДИКАТОРОВ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНА	182
Гавриловская С.П. ВЫБОР И ОЦЕНКА ПОСТАВЩИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА	187
Костыря А.В., Сергеева Т.С. ОЦЕНКА РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ГОРОДА БЕЛГОРОДА ДО 2025 ГОДА НА 2016 ГОД	193

Трошин А.С., Али Шах Шахрам, Кротова С.С., Чернова И.А. ИНВЕСТИЦИОННАЯ ОСНОВА РАЗВИТИЯ РЕАЛЬНОГО СЕКТОРА ЭКОНОМИКИ НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ	199
Кондрашов И.Б. МЕТОДЫ И ИНСТРУМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬЮ	204
Карамышев А.Н. АНАЛИЗ МЕТОДОЛОГИЙ ПРОЦЕССНОГО УПРАВЛЕНИЯ, ПОЛНОСТЬЮ ОХВАТЫВАЮЩИХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ ПРЕДПРИЯТИЯ	214
Трунова И.В., Затолокина Н.М. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЕКРЕАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ТЕРРИТОРИИ ШЕБЕКИНСКОГО РАЙОНА И ГОРОДА ШЕБЕКИНО	218
Парфенюкова Е.А., Ширина Н.В. ВЫПОЛНЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ КАДАСТРОВЫХ РАБОТ В ПИЛОТНОМ РЕГИОНЕ	223
Кононова О.Ю., Затолокина Н.М., Мелентьев А.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ	227

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.12737/ article_590878fa86d286.40775685

*Логанина В.И., д-р техн. наук, проф.,**Фролов М.В., аспирант,**Арискин М.В., канд. техн. наук**Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

ВЛИЯНИЕ ВИДА НАПОЛНИТЕЛЯ НА МЕХАНИЗМ ПЕРЕДАЧИ ТЕПЛА В ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ШТУКАТУРКАХ

loganin@mail.ru

Рассмотрен механизм передачи тепла через теплоизоляционные штукатурки в зависимости от вида применяемого наполнителя. Приведены сведения об эффективности применения микросфер в отделочных составах, применяемых для теплоизоляции наружных стен зданий. Показано, что способность отделочного покрытия отражать тепло не зависит от используемого наполнителя. Рассмотрена структура пористости покрытий в зависимости от вида наполнителя. Установлено, что у покрытий на основе составов, наполненных микросферами, выше способность противостоять конвективной составляющей переносу теплоты, чем у покрытий на основе составов, наполненных вспученным перлитовым и вермикулитовым песком. Выявлено, что теплоизолирующая способность покрытий, включающих стеклянные полые или зольные алюмосиликатные микросферы, для условий эксплуатации А и Б отличается незначительно.

Ключевые слова: теплоизоляционные штукатурки, пористый наполнитель, механизм передачи тепла.

Введение. Известно, что тепло через отделочные покрытия наружных стен зданий передается 3 способами: теплопроводностью, конвекцией, излучением. Вблизи поверхности наружного ограждения и в пустотах внутри штукатурного слоя преобладает теплообмен посредством конвекции и излучением [1, 2]. В самом материале штукатурного состава основным видом теплопереноса является теплопроводность [3]. Значительного улучшить теплозащитные свойства отделочных покрытий можно за счет выбора оптимального высокопористого наполнителя для сухой строительной смеси (ССС) [4]. Для выбора наполнителя необходимо исследовать сложный процесс теплопереноса через отделочный слой.

Основная часть. В работе приведены результаты оценки теплоизоляционных свойств покрытий на основе ССС с применением различных пористых наполнителей. В качестве наполнителя использовали стеклянные полые микросферы, зольные микросферы алюмосиликатные, вспученный вермикулитовый песок, вспученный перлитовый песок.

Для оценки способности противостоять переносу тепла за счет теплового излучения был определен коэффициент излучения ϵ исследуемых образцов покрытия при помощи тепловизора Testo 882 и электронного термометра ТЭН-5 [5]. На рис. 1 представлены снимки исследуемых отделочных покрытий, сделанные тепловизором.

Установлено, что коэффициент излучения ϵ , а, следовательно, и способность отделочного покрытия отражать тепло, не зависит от используемого наполнителя. Для всех исследуемых покрытий коэффициент излучения составляет $\epsilon=0,93$.

Для выбора оптимального для разрабатываемой ССС наполнителя оценивалась также способность разрабатываемых покрытий задерживать тепло, переносимое в материале за счет теплопроводности и конвекции.

Степень замкнутости пор и размер пор оказывают значительное влияние на конвективную составляющую теплопереноса в материале. В крупных порах, сообщающихся друг с другом, возникают потоки воздуха, ухудшающие теплоизоляционные свойства материала. Поэтому для наружной отделки желательно использовать ССС, позволяющие получить покрытия, в которых преобладают мелкие замкнутые поры.[6]

В работе исследовались соотношения объема открытых и закрытых пор в разрабатываемых покрытиях. Результаты исследований представлены на рис. 2.

Установлено, что у покрытий на основе составов, наполненных вспученным вермикулитовым и перлитовым песком, преобладает открытая пористость. Открытая пористость увеличивает конвективную составляющую теплопереноса, создает условия для проникновения внутрь покрытий влаги. В поровой структуре покрытий

с применением микросфер преобладает закрытая пористость.

В работе оценивался размер открытых пор, для этого исследовалась кинетика их водопо-

глощения. На рис. 3. показаны значения водопоглощения по массе образцов исследуемых покрытий W_m в течение первых 4 часов влагонасыщения.

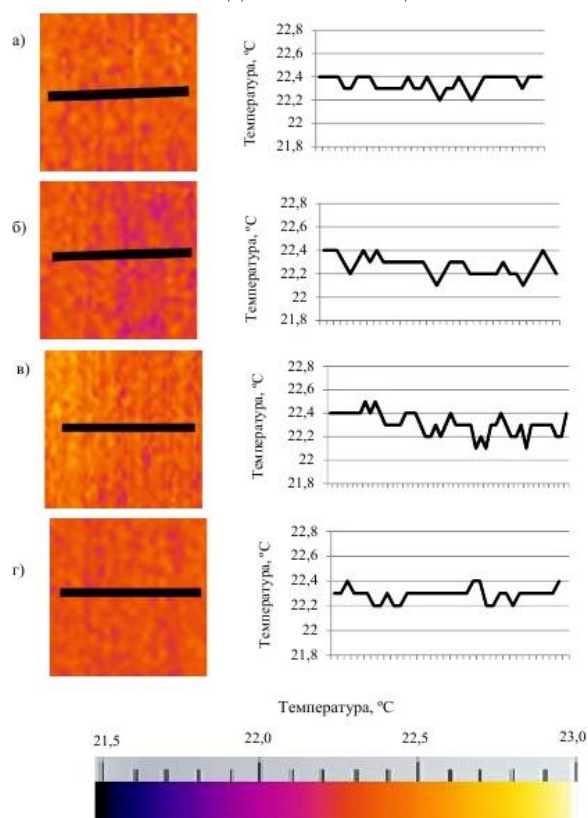


Рис. 1. Снимки отделочных покрытий и соответствующие снимкам линейные температурные профили, сделанные тепловизором. Наполнитель: а) полые стеклянные микросферы; б) зольные микросферы алюмосиликатные; в) вспученный вермикулитовый песок; г) вспученный перлитовый песок

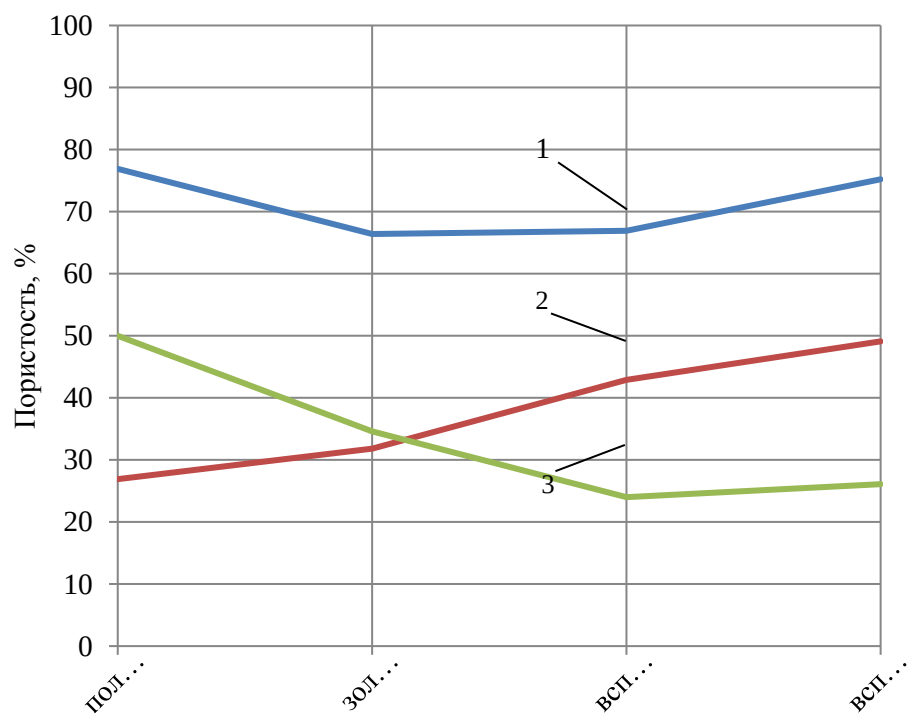


Рис. 2. Структура пористости покрытий в зависимости от вида наполнителя:
1 – общая пористость, 2 – открытая пористость, 3 – закрытая пористость

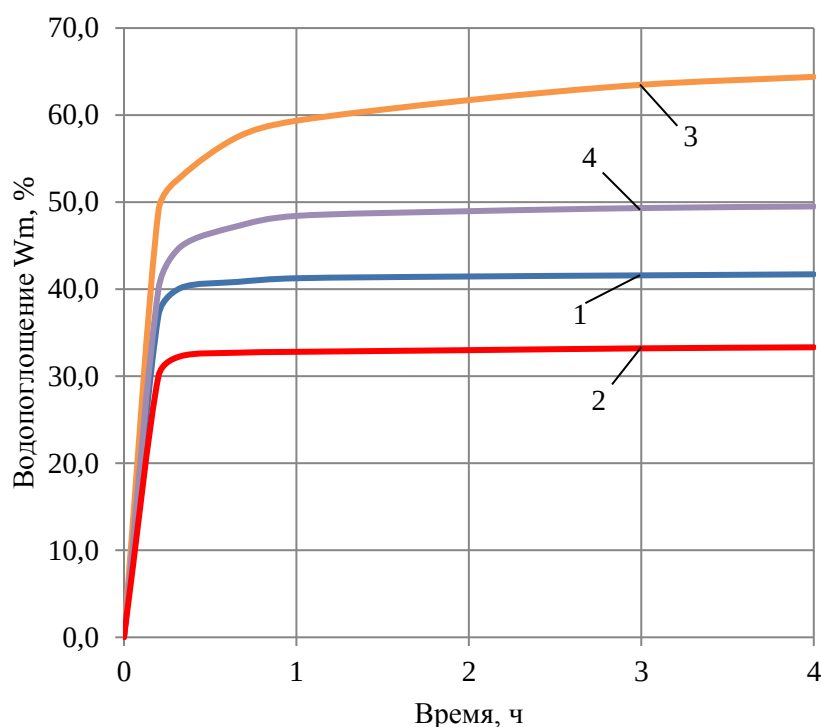


Рис. 3. Кинетика водопоглощения покрытий на основе составов, наполненных:
1 – полыми стеклянными микросферами; 2 – золистыми микросферами алюмосиликатными;
3 – вспученным вермикулитовым песком; 4 – вспученным перлитовым песком

Основной рост водопоглощения по массе W_m у всех образцов наблюдается в первые 20 минут увлажнения. В это время происходит активное насыщение водой мелких капиллярных пор. В дальнейшем рост водопоглощения значительно замедляется. После 20 минут увлажнения основной вклад в увеличение водопоглощения по массе W_m вносят условно-замкнутые сферические поры. Данные поры имеют большие раз-

меры, способствуют увеличению конвективной составляющей теплопереноса. Объем условно-замкнутых пор в материале зависит от водопотребности отделочного состава. Для определения водопотребности разрабатываемых ССС готовились равнопластичные составы с одинаковым содержанием высокопористых наполнителей – 40 % от массы извести. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1

Свойства растворяемых композитов

Вид наполнителя	Водоизвестковое отношение В/И	Прирост водопоглощения по массе W_m в промежутке времени от 20 минут до 24 часов, %
Полые стеклянные микросферы	1,3	2,08
Золевые микросферы алюмосиликатные	1,075	1,71
Вспученный вермикулитовый песок	1,83	11,61
Вспученный перлитовый песок	1,525	3,39

Установлено, что с увеличением количества воды затворения увеличивается объем условно-замкнутых пор. В покрытиях, наполненных микросферами, объем условно-замкнутых пор меньше. У данных покрытий выше способность противостоять конвективной составляющей переносу теплоты, чем у покрытий, наполненных вспученным перлитовым и вспученным вермикулитовым песком.

Способность материалов противостоять переносу теплоты посредством теплопроводности оценивалось коэффициент теплопроводности λ .

Он определялся при помощи прибора ИТП-МГ4 «100». Перед испытанием образцы отделочного покрытия высушивались до постоянной массы. Отделочное покрытие является капиллярно-пористым материалом и способно активно поглощать воду. Следовательно, его коэффициент теплопроводности λ следует принимать с учетом зоны влажности района строительства и влажностного режима помещения, т.е. для условий эксплуатации А и Б [7]. Результаты исследований приведены в таблице 2.

Таблица 2

Коэффициент теплопроводности отделочных покрытий

Вид наполнителя	Условия эксплуатации покрытия	Коэффициент теплопроводности покрытия λ , Вт/м·К
Полые стеклянные микросферы	В сухом состоянии	0,119
	А	0,135
	Б	0,14
Зольные микросферы алюмосиликатные	В сухом состоянии	0,176
	А	0,211
	Б	0,221
Вспученный вермикулитовый песок	В сухом состоянии	0,146
	А	0,195
	Б	0,209
Вспученный перлитовый песок	В сухом состоянии	0,161
	А	0,206
	Б	0,221

Установлено, что теплоизолирующая способность покрытий, включающих в составе стеклянные полые или зольные алюмосиликатные микросферы, незначительно зависит от условий эксплуатации. Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м·К, для условий эксплуатации Бу покрытий, наполненных полыми стеклянными микросферами, вырос по сравнению с коэффициентом теплопроводности для условий эксплуатации А на 3,7 %, у покрытий, наполненных зольными микросферами алюмосиликатными, вырос на 4,7 %. Теплоизолирующая способность штукатурных покрытий, включающих вспученный перлитовый или вермикулитовый песок, в значимо большей степени зависит от условий эксплуатации. Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м·К, для условий эксплуатации Бу покрытий, наполненных вспученным перлитовым песком, вырос по сравнению с коэффициентом теплопроводности для условий эксплуатации А на 6,8 %, у покрытий, наполненных вспученным вермикулитовым песком, вырос на 7,2 %.

Выводы. Установлено, что способность отделочного покрытия отражать тепло, переносимое за счет теплового излучения, не зависит от используемого наполнителя. При использовании микросфер получены покрытия, характеризующиеся высокой способностью противостоять переносу теплоты конвекцией. Выявлено, что коэффициент теплопроводности для условий эксплуатации А и Б у данных покрытий отличается незначительно.

На основании проведенных исследований предложена рецептура теплоизоляционной ССС, предназначенной для отделки наружных стен зданий из газобетона. ССС содержит известково-пушонку, молотые отходы производства газобетона, белый цемент, модифицирующую добавку на основе смеси силикатов кальция, редиспергируемый порошок, пластифицирующую добавку,

гидрофобизирующую добавку, стеклянные полые микросферы[8].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Протасевич А.М. Строительная теплофизика ограждающих конструкций зданий и сооружений. Изд. Высшая школа, 2015. 240 с.
2. Дьяконов В.Г., Лончаков О.А. Основы теплопередачи. Изд. Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2011. 230 с.
3. Кудинов И.В., Стефанюк Е.В. Теоретические основы теплотехники. Часть II. Математическое моделирование процессов теплопроводности в многослойных ограждающих конструкциях. Изд. Самарский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2013. 422 с.
4. Логанина В.И., Фролов М.В. Эффективность применения теплоизоляционной штукатурки с применением микросфер для отделки газобетонной ограждающей конструкции // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2016. №5. С. 55–62.
5. ГОСТ Р ИСО 18434-1-2013 Контроль состояния и диагностика машин. Термография. Часть 1. Общие методы. М.: Изд. Стандартиформ 39 с.
6. Горлов Ю.П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий. М.: Высш. шк., 1989. 384 с.
7. ГОСТ Р 54855-2011. Материалы и изделия строительные. Определение расчетных значений теплофизических характеристик. М.: Изд. Стандартиформ 8 с.
8. Логанина В.И., Фролов М.В., Рябов М.А. Теплоизоляционные известковые сухие строительные смеси для отделки стен из газобетона// Вестник МГСУ. 2016. №5. С.82–92.

Loganina V.I., Frolov M.V., Ariskin M.V.**INFLUENCE OF THE FILLER TYPE ON THE MECHANISM OF HEAT TRANSMISSION IN HEAT-INSULATING PLASTERS**

The mechanism of heat transfer through heat-insulating plasters is considered depending on the type of filler used. Information on the effectiveness of the use of microspheres in the finishing compositions used for the thermal insulation of the external walls of buildings is given. It is shown that the ability of the finishing coat to reflect heat does not depend on the filler used. The structure of porosity of coatings is considered depending on the type of filler. It has been found that coatings based on compositions filled with microspheres have a higher ability to withstand the convective component of heat transfer than coatings based on compositions filled with expanded perlite and vermiculite sand. It has been revealed that the insulating ability of coatings comprising glass hollow or ash aluminosilicate microspheres for operating conditions A and B differs insignificantly.

Key words: *heat-insulating plasters, porous filler, mechanism of heat transmission.*

Логанина Валентина Ивановна, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Управление качеством и технологии строительного производства».

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства.

Адрес: Россия, 440028, Пенза, улица Г. Титова, 28

E-mail: loganin@mail.ru.

Фролов Михаил Владимирович, аспирант.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства.

Адрес: Россия, 440028, Пенза, улица Г. Титова, 28

E-mail: mihail-frolovv@yandex.ru

Арискин Максим Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции».

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства.

Адрес: Россия, 440028, Пенза, улица Г. Титова, 28

E-mail: office@pguas.ru

Золотых С.Н., аспирант, ассистент
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УКРЕПЛЕННЫХ ГРУНТОВ В КОНСТРУКЦИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

sveta-zolotykh@yandex.ru

Для повышения провозной способности грузонапряженных направлений одной из ключевых задач развития ОАО «РЖД» до 2030 года является развитие тяжеловесного движения. Сегодня одним из наиболее уязвимых элементов железнодорожного пути является земляное полотно, которое в основном построено из глинистых грунтов. Проблемой повышения надежности работы земляного полотна из таких грунтов занимаются многие научно-исследовательские институты. Особую актуальность приобретают исследования по применению местных грунтов, путем их стабилизации. В ходе проведенных исследований композиционного материала из различных видов грунтов, с портландцементом и полимерно-минеральной композиции Nicoflok была установлена возможность использования комплексно укрепленных грунтов в конструкции железных дорог. Стабилизация местных грунтов обеспечит более высокие прочностные свойства, сохранит стабильность влажности грунтов ядра земляного полотна, снизит стоимость строительства железных дорог.

Ключевые слова: местные грунты, стабилизация, полимерно-минеральная композиция Nicoflok, земляное полотно, глинистые грунты.

Для повышения провозной способности грузонапряженных направлений одной из ключевых задач развития ОАО «РЖД» до 2030 года является развитие тяжеловесного движения при одновременном повышении скоростей с минимизацией затрат на эксплуатацию объектов инфраструктуры на всех стадиях жизненного цикла [1].

На сегодняшний день, одним из наиболее уязвимых элементов железнодорожного пути является земляное полотно. По оценкам специалистов на 7 % протяженности железных дорог наблюдаются дефекты и деформации земляного полотна, так как 70 % железных дорог устраиваются из глинистых грунтов, и в процессе эксплуатации происходят деформации и разрушения земляного полотна, так как глинистые грунты снижают прочностные характеристики с увеличением влажности [2].

Проблемой повышением надежности работы земляного полотна из глинистых грунтов занимаются многие научно-исследовательские институты [3–7]. Типовым решением этой задачи является устройство в конструкциях земляного полотна защитных слоев из дренирующих грунтов [8, 9], стоимость которых значительно возрастает с увеличением дальности транспортировки этих материалов, при этом не обеспечивается сохранение стабильной влажности земляного полотна в процессе его эксплуатации.

На сегодняшний день особую актуальность приобретают исследования, направленные на повышение надежности земляного полотна с применением местных грунтов [10].

Для того чтобы исключить сезонные ослабления верха земляного полотна и загрязнения

нижнего слоя балласта разжиженным глинистым грунтом, а также уменьшить прогиб рельса, целесообразно усиление верха земляного полотна за счет его стабилизации [11].

Устройство предлагаемых укрепленных слоев земляного полотна обеспечит не только высокую прочность и атмосферостойкость, но и значительно снизит стоимость строительства.

В данной статье рассматривается возможность использования различных видов укрепленных грунтов в конструкции земляного полотна. Оценка работоспособности производилась на основе результатов физико-механических характеристик композиционного материала, приготовленного из смеси различных видов грунтов с портландцементом типа ЦЕМІ класса 42,5Н и отечественной полимерно-минеральной композиции (ПМК), представляющей собой нерастворимый в воде тонкодисперсный порошок – ПМК «Nicoflok» [12].

Для исследования были приняты распространенные в Российской Федерации виды глинистых грунтов. Классификация исследуемых грунтов [13] по числу пластичности и содержанию песчаных частиц приведена в табл. 1.

Эксперимент проводился следующим образом: в воздушно-сухой грунт вводился цемент в разном процентном соотношении и ПМК «Nicoflok»; после увлажнения грунта до оптимальной влажности [14] и из смеси формировались образцы цилиндрической формы под нагрузкой 15 МПа [15]; изготовленным образцам были обеспечены условия нормального твердения. Сравнительные результаты определения физико-механических показателей приведены в табл.2

Таблица 1

Классификация исследуемых грунтов

№ пробы	W_L	W_p	I_p	Содержание песчаных частиц (2-0,5 мм), % по массе	Наименование грунта
1	35,1	20,5	14,6	2,15	суглинок тяжелый пылеватый
2	27,29	16,6	10,69	2,41	суглинок легкий пылеватый
3	20,02	14,15	5,87	5,34	супесь пылеватая

Таблица 2

Физико-механические характеристики композиционного материала

№	Наименование	Водонасыщение, %	Прочность на сжатие, МПа		Модуль деформации, МПа		Модуль деформации в уровне основной площадки, МПа	
		полное	капиляр.	полное	капиляр.	полное	$E_{тр}$	$E_{рас}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Супесь пылеватая (СП)								
1	СП+Ц4 % +N0,4 %	0,6	4,4	4,3	255	240	100	107
2	СП +Ц6 % +N0,6 %	0,4	6,3	5,8	340	325	100	113
3	СП +Ц8 % +N0,8 %	0,3	6,7	6,0	355	340	100	115
Суглинок легкий пылеватый (СГЛП)								
4	СГЛП +Ц4 % +N0,4 %	0,6	5,7	4,7	330	320	100	92
5	СГЛП +Ц6 % +N0,6 %	0,4	7,1	6,1	395	385	100	97
6	СГЛП +Ц8 % +N0,8 %	0,2	8,8	8,0	500	485	100	112
Суглинок тяжелый пылеватый (СГТП)								
7	СГТП +Ц4 % +N0,4 %	1,3	4,4	4,3	215	305	100	97
8	СГТП +Ц6 % +N0,6 %	0,7	6,2	5,0	315	370	100	101
9	СГТП +Ц8 % +N0,8 %	0,5	7,0	7,5	340	440	100	104

*примечание

 $E_{тр}$ – Значение нормируемого модуля для скоростных пассажирских и особогрузонапряженных железных дорог $E_{рас}$ – Эквивалентный модуль деформации в уровне основной площадки рассчитанный с учетом нижележащих слоев по результатам лабораторных испытаний

Сравнительный анализ свойств образцов грунта супеси и легкого суглинка, комплексно укрепленных цементом совместно с ПМК «Nico-flok» (№1-6), приведенный в табл. 2, указывает на невысокие значения показателя полного водонасыщения, что косвенно свидетельствует о низкой водопроницаемости применяемых материалов.

Уже при применении 4 % цемента, композит из супеси обеспечивает марку по прочности М40, а при 6 % и 8 % цемента М60, что позволяет применять в качестве верхнего слоя земляного полотна в II-V дорожно-климатических зонах.

Более высокие показатели прочности показал суглинок легкий. Здесь, при введении в состав 4 % цемента и 0,4 % ПМК «Nico-flok», марка материала по прочности (при полном водонасыщении) соответствует М40, при 6 % цемента и ПМК 0,6 % «Nico-flok» - марке М60, а при 8 % цемента и «Nico-flok» 0,8 % – марке М80. Это

также позволяет применять такие составы композита суглинка легкого в качестве верхнего слоя земляного полотна в II-V дорожно-климатических зонах.

При укреплении суглинка тяжелого пылеватого различным процентным отношением цемента совместно с «Nico-flok» (№ 7, 8, 9), показатели прочности позволяют устраивать верхний слой земляного полотна при 4% цемента в III-V дорожно-климатических зонах, а при 6 %, 8 % цемента и во II дорожно-климатической зоне.

Значения модулей деформации ($E_{деф}$) слоя укрепленного грунта из супеси повышаются при повышении содержания цемента с 240 МПа до 340 МПа (при полном водонасыщении), что превышает нормируемое значение $E_{нр} = 230$ МПа для песчано-гравийной смеси. Значения эквивалентных модулей деформации, учитывающие и прочностные характеристики грунта ядра земляного полотна, нормируемые в уровне основ-

ной площадки для железных дорог различной категории, позволяют использовать супесь пылеватую, укрепленную 6 % цемента 0,6 % «Nico-flok»; и 8 % цемента и 0,8 % «Nico-flok», соответственно, для железных дорог всех категорий, а при укреплении 4 % цемента и 0,4 % «Nico-flok» для дорог I, II и ниже категориях. Значения эквивалентных модулей деформации образцов из суглинка легкого в уровне основной площадки соответствует при 4 % цемента и «Nico-flok» 0,4 % для строительства дорог I и II категории, 6,8 % цемента и 0,6; 0,8 % «Nico-flok», соответственно, для железных дорог всех категорий. Показатели суглинка тяжелого в уровне основной площадки позволяет устраивать верхний слой земляного полотна при 4 и 6 % цемента на железных дорогах I и II категории, а при 8 % цемента - для железных дорог всех категорий.

Вышесказанное позволяет сделать выводы:

- устройство основной площадки с применением местных грунтов обеспечит более высокие прочностные свойства земляного полотна;
- водостойкость укрепленного слоя сохранит стабильность влажности грунтов ядра земляного полотна, что снизит риск потери его прочности и образования дефектов;
- применение местных грунтов взамен привозных дренирующих материалов в верхних слоях земляного полотна снизит стоимость строительства железных дорог.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Протокол заседания главных инженеров ОАО «РЖД» под председательством старшего вице-президента ОАО «РЖД» Гапановича В.А. от 13 апреля 2016 г. № ВГ – 180/ пр.
2. Коншин Г.Г. Рабочая зона в насыпи // Путь и путевое хозяйство. 2001. №2. С 32–36.
3. Обобщение мирового опыта тяжеловесного движения. Конструкция и содержание железнодорожной инфраструктуры. М., 2012. 568 с.
4. Entwerfen von Bahnanlagen im Spannungsfeld von Technik, Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit. Zierl Dietmar. ETR: Eisenbahntechnische Rundschau. 2013.62. №6. Pp. 60–64
5. Иванов П. В. Повышение несущей способности железнодорожного земляного полотна, воспринимающего вибродинамическую нагрузку, искусственным укреплением грунтов основной площадки: дисс....канд. тех. наук. Санкт Петербург 1999 г. 189 с.
6. Nasyp kolejowy na terenie Huty Miedzi Głogów, wykonany z innowacyjnego kruszywa pochodzenia pomiedziowego. Maciej Machowski, Andrzej Łopatka, Marek Tondera, Paweł Gambal et. al. Przegląd Górniczy. 2014. 70. №6. Pp.42–48
7. Спиридонов Э.С., Духовный Г.С., Логвиненко А.А., Хоружая Н.В. Научные подходы к оценке качества продукции строительства транспортных объектов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2009. № 3м. С. 113–116.
8. Колос А.Ф., Козлов И.С., Вишняков В.А. Современные конструкции верхнего строения пути для строительства скоростных и высокоскоростных железнодорожных линий // БРНИ. 2013. №1-2 (6-7). URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-konstruktsii-verhnego-stroeniya-puti-dlya-stroitelstva-skorostnyh-i-vysokoskorostnyh-zheleznodorozhnyh-linij> (дата обращения: 12.02.2017).
9. Уланов И.С. Особенности проектирования высокоскоростной магистрали Москва-Казань // Путь и путевое хозяйство. 2017. №1. С 15–18.
10. Абрамова Т.Т., Босов А.И., Валиева К.Э. Использование стабилизаторов для улучшения свойств связных грунтов // Геотехника. 2012. № 3. С. 4–28.
11. Шарапов С.Н., Исаенко Э.П. Рекомендации по усилению пути на линиях с тяжеловесным движением // Путь и путевое хозяйство. 2016. №7. С 2–7.
12. Сравнительный анализ эффективности применения стабилизирующих составов и полимерных добавок в конструкциях дорожных одежд автомобильных дорог. Под ред. А.Т. Максимова. СПб.: ООО «Никель», 2006. 24 с.
13. ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация. Введ. 1.01.2013. М.: Изд-во Стандартиформ, 2013. 42 с.
14. ГОСТ 22733-2016 Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. Введ. 01.01.2017. М.: Изд-во Стандартиформ, 2016. 12 с.
15. ГОСТ 23558-94. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия. М.: ФГУП «Стандартиформ», 2005. 8 с.
16. ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. М.: ФГУП «Стандартиформ», 2013. 35 с.

Zolotykh S.N.**RESEARCH OF THE POSSIBILITY OF USING STABILIZED SOIL
IN THE CONSTRUCTION OF THE SUBGRADE OF RAILWAYS**

To increase the carrying capacity of freight traffic, one of the key tasks of the development of JSCo «Russian Railways» until 2030 is the development of heavy traffic. Today one of the most vulnerable elements of a railway track is the roadbed which is generally constructed of clay soil. Many research institutes deal with a problem of increase in reliability of work of a road bed from such soil. Particularly important studies on the use of local soil by stabilization. During the conducted researches of composite material from different types of soil, with a portlandtsement and polymer-mineral composition Nicoflok the possibility of use of in a complex stabilized soil in a structure of the railway track has been established. Stabilization of local soil will provide higher strength properties, will keep stability of humidity of soil of a kernel of a road bed, will reduce the cost of railway construction.

Key words: local soils, stabilization, polymer-mineral composition Nicoflok, subgrade, clay soils

Золотых Светлана Николаевна, аспирант.

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

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

E-mail: lebedev.lebedev.v.m@yandex.ru

DOI: 10.12737/article_590878fa94e168.59204031

*Шейченко М.С., канд. техн. наук
Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение
«Средняя общеобразовательная школа № 17»*

*Алфимова Н.И., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Вишневская Я.Ю., канд. техн. наук, консультант
Департамент внутренней и кадровой политики Белгородской области*

СОВРЕМЕННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

alfimovan@mail.ru

В данной работе приведены области использования различных энергетических установок в жизнедеятельности человека. Приведены примеры традиционных и современных радиационно-защитных материалов, способных обеспечить необходимый уровень биологической защиты и выполнение современных требований норм радиационной безопасности при работе с такими установками. Приведены примеры ряда композиционных радиационно-защитных материалов на основе различных матриц и наполнителей. Приведены примеры композиционных материалов на основе, используемых в качестве строительного радиационно-защитного материала. Приведены некоторые характеристики композиционного материала на основе алюминиевой матрицы и железосодержащих наполнителей.

Ключевые слова: ионизирующее излучение, радиоактивные газы, биологическая защита, радиационно-защитный материал, композиционный материал, полимерный материал, металлическая матрица, наполнитель, алюминий, железосодержащий наполнитель, конструкционная нагрузка, строительное назначение.

Введение. На сегодняшний день во многих сферах жизнедеятельности человека используются различные энергетические установки, в том числе и те установки, при работе которых возможно испускание ионизирующего излучения различной природы. Ионизирующее излучение – это излучение, энергия которого достаточна для ионизации облучаемой среды (например, тканей тела человека). Человек может столкнуться со следующими разновидностями ионизирующего излучения: электромагнитное (рентгеновское и гамма-излучение) и корпускулярное (альфа-излучение, бета-излучение, нейтронное и протонное излучение, позитронное излучение и пр.), а также облучением от радиоактивных газов, таких как радон, торон, актинон (образуются в горных породах и минералах при альфа-распаде естественных радиоизотопов радия). Ионизирующее излучение, в отличие от других видов излучений, к примеру, таких как ультрафиолетового, светового, инфракрасного, микроволнового способно вызывать различные физико-химические изменения в клетках организма, вплоть до необратимых [1–2].

И действительно, различные энергетические установки уже широко применяются не только на ядерно-энергетических объектах, но и во многих производственных процессах, медицине. В

медицине на сегодняшний день применяют несколько видов радиотерапии: системная лучевая терапия (это лечение облучением всего организма, которое применяется, в частности в терапии злокачественных опухолей щитовидной железы); брахитерапия – лечение внутренним облучением (метод основан на облучении пораженного органа изнутри с помощью радиоактивных веществ, которые находятся в имплантатах); наружная радиотерапия (источник радиации воздействует на определенную часть организма снаружи); различные рентгенологические диагностические методы. Человек использует в своей жизнедеятельности γ -дефектоскопы, много разновидностей радиационных приборов технологического контроля, радиационные γ -установки, ускорители заряженных частиц, γ -терапевтические установки, бортовые атомные электростанции, радионуклидные источники тепловой и электрической энергии, энергоблоки [3–4].

Использование такого большого количества радиационных приборов и установок в жизнедеятельности, конечно выдвигает на первый план проблему обеспечения высокой степени биологической защиты, организации безопасной работы рабочего и обслуживающего персонала с таким оборудованием, а также контакта с таким оборудованием лиц из населения при строгом

выполнении требований обеспечения современных норм радиационной безопасности [3–4].

Целью настоящей работы является обзор результатов исследований и последних разработок в области создания современных композиционных радиационно-защитных материалов строительного назначения, способных обеспечить необходимый уровень биологической защиты при эксплуатации вышеперечисленного оборудования.

Основная часть. На сегодняшний день в области радиационно-защитного материаловедения используются такие традиционные материалы как: железосодержащие и вольфрамсодержащие (ослабляют потоки фотонного излучения); свинецсодержащие (ослабляют фотонное излучение); боросодержащие (поглощают тепловые нейтроны); тяжелые и серпентинитовые бетоны (наиболее широко распространенный строительный радиационно-защитный материал); гидриды металлов [4].

Кроме вышеперечисленных широко используемых радиационно-защитных материалов также в мировой практике широко использовались и такие полимер содержащие материалы как: отечественный материал "Неутростоп" (представляет собой защитные блоки, которые изготавливаются из полиэтилена высокой чистоты с определенными добавками и предназначены для защиты от нейтронного и гамма-излучения); зарубежный материал "Pb-B-Poly" (представляющий комбинацию свинца и бора в полиэтилене, содержит водород для торможения быстрых нейтронов, бор для захвата тепловых нейтронов и свинец для подавления гамма-излучения); зарубежный материал "Light-Lead" (предназначенный для защиты от гамма-излучения, представлял собой смесь свинца в инертном полимере); зарубежные гибкие свинцовые обмотки "Lead Blanket" (материал представляет собой гамма-защитный эластомер с высоким содержанием свинца) [4].

В последнее время были разработаны новые виды материалов, которые состоят из двух и более разнородных компонентов, обладающих различными физико-химическими и механическими свойствами. Такие композиционные материалы проектируются на разных основах: полимерных, бетонных, металлических основах. Это и кремнийсодержащие материалы, полимерные композиционные материалы, материалы на основе термопластичных эластомеров, на основе бетонных и металлических матриц и пр. [5–21]. Многие такие композиционные материалы обладают и радиационно-защитными свойствами. Наполнителями таких радиационно-защитных композитов могут быть органосилок-

санные материалы, железорудные породы КМА (на магнетитовой и гематитовой основе), термостойкие нанотрубчатые наполнители, нанопорошки вольфрамата свинца, наполнители на основе стальной и чугунной дробы и пр. [22–34].

Известны и такие радиационно-защитные материалы, как: защитные строительные бетоны на основе магнезий и цементов; материалы на основе порошка металлических отходов вольфрама и оксидов диспрозия, гадолиния, церия; полиэтиленсодержащие материалы с аморфным бором, гидроокиси алюминия, бромсодержащие ароматические соединения; на основе смеси каучуков с металлосодержащими наполнителями из оксидов висмута и оксидов редкоземельных элементов легкой и средней группы; жидкого стекла, кремнефтористого натрия, сульфата бария; бутадиенового или бутадиен-нитрильного и дивинилстирольного каучуков, фторопласта-4 и агидола; диметилсилоксанового каучука, катализатора - диэтилдикаприлата олова (IV) в растворе тетраэтоксисилана и наполнителя, содержащего смесь оксидов сурьмы (III) и иттрия; кремнийсодержащего низкомолекулярного каучука, диэтилдикаприлата олова (IV), оксида сурьмы (III), оксида иттрия и оксидов редкоземельных элементов; нефтяного дорожного битума с молотыми отходами оптического стекла; цемента, железорудного концентрата и баритового наполнителя; глетглицеринового цемента, оксида свинца, сажи и стального волокна; гипсосодержащих отходов промышленности и др. [4].

В последнее время интересным и перспективным направлением в области строительнорadiационного материаловедения является разработка новых видов композиционных материалов, на основе металлических алюминиевых матриц и железосодержащих наполнителей. Из композиционных материалов на основе металлических алюминиевых матриц возможно изготовление не только облицовочных материалов, но и сами несущие строительные конструкции, которые могут подвергаться кроме высоких механических воздействий интенсивному воздействию ионизирующего излучения и неоднократным знакопеременным температурным колебаниям [18, 21, 35–44].

Использование алюминия в качестве матрицы позволит придать материалу такие свойства как высокие значения теплопроводности и отражения тепловых потоков, свойства пластичности и стойкости к агрессивным средам, обеспечит монолитность конструкции, минимальную усадку при монтаже и эксплуатации защиты, водонепроницаемость и газонепроницаемость, коррозионную стойкость. Строитель-

ные конструкции на основе таких композиционных материалов способны сопротивляться внешним нагрузкам до 700 МПа, выдерживают 40 циклов нагрева до температуры 660 °С и резкого его охлаждения, 24 цикла нагрева до температуры 700 °С и резкого его охлаждения, 11 циклов нагрева до температуры 900 °С и резкого его охлаждения без изменения их геометрии (в случае отсутствие внешних нагрузок) и без образования микротрещин на их поверхности. Такие материалы стабильны по основным физико-механическим свойствам при облучении его потоками быстрых электронов с энергией до 6,2 МэВ с поглощенной дозой до 2 МГр и гамма-излучением с энергией до 1,2 МэВ с поглощенной дозой до 10 МГр [3-4, 42, 44].

Выводы. В данной статье дан обзор современных композиционных радиационно-защитных материалов, имеющие различную матричную основу и наполнители. Многие из таких материалов являются облицовочными. Для строительной-радиационной отрасли актуальным вопросом является использование радиационно-защитных материалов, способных нести значительные нагрузки, которые можно использовать в качестве несущих конструкций. Одними из таких материалов являются композиты на основе алюминиевых матриц с железосодержащими наполнителями, которые обладают высокими физико-механическими и радиационно-защитными характеристиками. Материалы с такими свойствами можно рассматривать в альтернативу традиционно используемых в строительстве бетонных и кирпичных конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Павленко В.И., Ястребинский Р.Н., Матюхин П.В. Радиация и окружающая среда. Учебное пособие для студентов специальности 270105 - Городское строительство и хозяйство. Федеральное агентство по образованию, Белгородский гос. технологический ун-т им. В. Г. Шухова. Белгород, 2009.
2. Павленко В.И., Ветрова Ю.В., Матюхин П.В. Эманирующая способность радона минерального сырья, используемого при изготовлении строительных бетонов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 9. С. 39–43.
3. Матюхин П.В. Металлобетонный композит на основе модифицированного высокодисперсного оксида железа и металлического алюминия: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород, 2004.
4. Матюхин П.В. Металлобетонный композит на основе модифицированного высокодисперсного оксида железа и металлического алюминия: дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук / Белгород, 2004.
5. Потапов Ю.Б., Соломатов В.И., Лаптев Г.А., Романов Е.П. Металлобетонная смесь // Патент на изобретение RUS 614069 03.01.1977.
6. Черкашина Н.И., Матюхин П.В., Ястребинский Р.Н., Павленко З.В., Демченко О.В. Использование кремнийсодержащих структур для получения композитов с повышенной устойчивостью к атомарному кислороду // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 12-6. С. 991–994.
7. Королев Е.В., Евстифеева И.Ю., Самошин А.П. Композиция для капсулирования радиоактивных и высокотоксичных отходов // Патент на изобретение RUS 2319677 24.07.2006.
8. Черкашина Н.И. Физико-механические характеристики полимерных композитов, устойчивых к ионизирующему излучению // В сборнике: Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды Международная научно-техническая конференция. 2015. С. 277–280.
9. Авраамов Ю.С., Кравченков А.Н., Кравченкова И.А., Трубицын П.Н., Шляпин А.Д. Получение антифрикционного композиционного материала на основе силумина АК12 // Известия Московского государственного индустриального университета. 2011. № 3 (23). С. 10–15.
10. Matyukhin P.V. Theoretical preconditions of new kinds of nuclear protective metal composite materials development based on ferric and bismuth oxides encapsulated into metallic aluminum matrix // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2011. № 2. С. 42.
11. Черкашина Н.И. Воздействие вакуумного ультрафиолета на полимерные композиты терморегулирующего назначения // Международный научно-исследовательский журнал, 2016. № 7-4 (49). С. 72–77.
12. Потапов Ю.Б. Эффективные строительные композиты и конструкции на их основе с комплексом заданных свойств // Промышленное и гражданское строительство. 2010. № 9. С. 9–11.
13. Матюхин П.В. Термостойкие полимерные композиты для нейтронной и гамма-защиты // Международный научно-исследовательский журнал. 2014. № 9 (28). С. 39–40.
14. Павленко В.И., Матюхин П.В. Теплоизоляционный бесцементный бетон из вторичных

минеральных ресурсов // Строительные материалы. 2005. № 8. С. 22–25.

15. Матюхин П.В., Косов А.В. Композиционные материалы для защиты от космической радиации // В сборнике: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2016. С. 583–587.

16. Кошкин В.И., Кравченко А.Н., Руденко И.Б., Шляпин А.Д. Применение эффекта адиабатического сдвига для поверхностного легирования конструкционных материалов // Заготовительные производства в машиностроении. 2010. № 3. С. 40–43.

17. Матюхин П.В., Бабенко И.К. Материалы для биологической защиты ядерного реактора // В сборнике: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2016. С. 588–592.

18. Матюхин П.В., Павленко В.И., Ястребинский Р.Н., Дороганов В.А., Черкашина Н.И., Евтушенко Е.И. Термостойкие радиационно-защитные композиционные материалы, эксплуатируемые при высоких температурах // Огнеупоры и техническая керамика. 2014. № 7-8. С. 23–25.

19. Павленко В.И., Бондаренко Г.Г., Черкашина Н.И. Разработка нейтронно-защитных полимерных композитов на основе тонкомолотого гидрида титана // Перспективные материалы. 2016. № 7. С. 16–21.

20. Павленко В.И., Черкашина Н.И. Полимерные композиционные материалы на основе полистирольной матрицы // В сборнике: Полимерные композиционные материалы нового поколения для гражданских отраслей промышленности Сборник докладов научной конференции, посвященной 85-летию со дня рождения профессора, д.т.н. Б.В. Перова. Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов. 2015. С. 8.

21. Матюхин П.В., Павленко В.И., Ястребинский Р.Н., Черкашина Н.И., Дороганов В.А., Евтушенко Е.И. Жаропрочный радиационно-защитный композиционный материал конструкционного назначения // Огнеупоры и техническая керамика. 2014. № 10. С. 32–36.

22. Баженов Ю.М., Королев Е.В., Самошин А.П., Королева О.В. Выбор заполнителя для радиационно-защитных бетонов вариативно-каркасной структуры // Региональная архитектура и строительство. 2009. № 1. С. 9–13.

23. Матюхин П.В. Нанотрубчатые наполнители радиационно-защитных композиционных

материалов // Международный научно-исследовательский журнал. 2014. № 6-1 (25). С. 59–60.

24. Матюхин П.В. Электронно-микроскопические исследования магнетитового железорудного концентрата подвергнутого воздействию высоких давлений прессования // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 12. С. 174–182.

25. Матюхин П.В., Ястребинская А.В., Павленко З.В. Использование модифицированного железорудного сырья для получения конструкционной биологической защиты атомных реакторов // Успехи современного естествознания. 2015. № 9-3. С. 507–510.

26. Ястребинская А.В., Матюхин П.В., Павленко З.В., Карнаухов А.В., Черкашина Н.И. Использование гидридсодержащих композитов для защиты ядерных реакторов от нейтронного излучения // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 12-6. С. 987–990.

27. Королев Е.В., Королева О.В., Самошин А.П., Смирнов В.А. Структура и свойства крупнопористых каркасов для радиационно-защитных материалов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2010. № 1 (13). С. 308–314.

28. Матюхин П.В., Бондаренко Ю.М., Павленко В.И. Спектральный анализ наполнителя на основе оксида висмута радиационно-защитного металлокомпозиционного материала // Фундаментальные исследования. 2013. № 1-1. С. 148–152.

29. Гульбин В.Н., Колпаков Н.С., Поливкин В.В. Радио- и радиационно-защитные композиционные материалы с наноструктурными наполнителями // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 10. № 23 (150). С. 43–51.

30. Павленко З.В., Денисова Л.В., Матюхин П.В., Иваницкий Д.А. Использование органосилоксановых структур для получения материалов, устойчивых к вакуумному ультрафиолету // Успехи современного естествознания. 2015. № 9-3. С. 515–518.

31. Матюхин П.В., Ястребинская А.В., Павленко З.В. Использование модифицированного железорудного сырья для получения конструкционной биологической защиты атомных реакторов // Успехи современного естествознания. 2015. № 9. С. 507.

32. Павленко В.И., Черкашина Н.И., Павленко З.В. Синтез нанодисперсного наполнителя для полимерных композиционных материалов терморегулирующего назначения // Нанотехно-

логии в строительстве: научный интернет-журнал. 2016. Том 8, № 5. С. 21–37.

33. Гуревич Л.М., Новиков Р.Е., Евстропов Д.А. Моделирование прокатки слоистых композитов с алюминидами // Вестник научных конференций. 2016. № 7-3 (11). С. 28–29.

34. Матюхин П.В., Бондаренко Ю.М., Павленко В.И. Синтез высокодисперсного наполнителя на основе гематитового концентрата из водных растворов ионов алюминия для радиационно-защитного металлокомпозиционного материала // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 3 (74). С. 80–85.

35. Чердынцев В.В., Горшенков М.В., Данилов В.Д., Калошкин С.Д., Гульбин В.Н. Металломатричные радиационно-защитные композиционные материалы на основе алюминия // Металловедение и термическая обработка металлов. 2013. № 1 (691). С. 14–18.

36. Матюхин П.В., Бондаренко Ю.М., Павленко В.И. Исследование микроструктуры поверхности композиционного материала на основе алюминиевой матрицы // Перспективные материалы. 2013. № 6. С. 22–26.

37. Гуревич Л.М., Арисова В.Н., Пономарева И.А., Щербин Д.В. Воздействие термически-временных условий процесса на свойства магниево-алюминиевого композита // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2016. № 2 (181). С. 17–20.

38. Matyukhin P.V. Theoretical preconditions of new kinds of nuclear protective metal composite

materials development based on ferric and bismuth oxides capsulated into metallic aluminum matrix // International Journal of Applied and Fundamental Research. 2011. № 2. С. 42.

39. Шляпин А.Д., Кравченко А.Н., Баранов С.И., Михайлюк С.В. Антифрикционный сплав на основе алюминия и способ его получения // Патент на изобретение RUS 2542154 05.09.2013

40. Павленко В.И., Матюхин П.В. Основные аспекты разработки современных радиационно-защитных конструкционных металлокомпозиционных материалов // Современные наукоемкие технологии. 2005. № 10. С. 85–86.

41. Арисова В.Н., Гуревич Л.М., Пономарева И.А., Щербин Д.В. Формирование интерметаллидной зоны на границе двух- и трехслойного магниево-алюминиевого композита // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2016. № 15 (194). С. 11–15

42. Матюхин П.В. Радиационно-защитный конструкционный композиционный материал // Международный научно-исследовательский журнал. 2014. № 9 (28). С. 40–41.

43. Попов В.А., Щавелев Л.Н., Гульбин В.Н. Способ изготовления металломатричного композита // Патент на изобретение RUS 2158779 15.03.1999

44. Матюхин П.В. Неорганический радиационно-защитный металлокомпозиционный материал строительного назначения // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 9. С. 35–39.

Sachenko M.S., Alfimova N.I., Vishnevskaya J.Yu.

MODERN RADIATION-PROTECTIVE COMPOSITION MATERIALS FOR CONSTRUCTION PURPOSES

In this work we present the use of various power plants in human life. Examples of traditional and modern radiation-protective materials that can provide the necessary level of biological protection and implementation of modern requirements of norms of radiation safety when working with such plants. Examples of a number of radiation-protective composites based on different matrices and fillers. Examples of composite-based materials used in the repair of radiation-protective material. Given some of the characteristics of composite material based on aluminum matrix and ferrous fillers.

Key words: ionizing radiation, radioactive gases, biological protection, radiation protection material, composite material, polymeric material, metal matrix, filler, aluminum, iron filler, structural loading, and construction purposes.

Шейченко Михаил Сергеевич, кандидат технических наук

Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение «Средняя общеобразовательная школа № 17».
Адрес: 308010 г. Белгород, ул. Крупской, д. 9.

Алфимова Наталия Ивановна, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного материаловедения изделий и конструкций.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
E-mail: alfimovan@mail.ru

Вишневская Яна Юрьевна, кандидат технических наук, консультант отдела высшего образования и науки.
Департамент внутренней и кадровой политики Белгородской области,
Адрес: Россия, 308005, Соборная площадь, 4

DOI: 10.12737/article_590878fa9ee006.40896004

Дребезгова М.Ю., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ОСОБЕННОСТИ ГИДРАТАЦИИ КОМПОЗИЦИОННОГО ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО В ПРИСУТСТВИИ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРА SikaPlast 2135*

mdrebezgova@mail.ru

В данной работе исследовано влияние суперпластификатора SikaPlast 2135 на основе модифицированных лигносульфонатов и поликарбоксилатных эфиров на ранние стадии гидратации и структурообразование композиционного гипсового вяжущего с помощью изотермического дифференциального микрокалориметра.

Ключевые слова: композиционное гипсовое вяжущее, суперпластификатор SikaPlast 2135, гидратация, термокинетические зависимости.

Введение. В последние годы в технологии строительных материалов и изделий эффективно применяются суперпластификаторы (СП), позволяющие увеличивать подвижность бетонной смеси при снижении водопотребности, экономить портландцемент, снижать затраты энергетических и трудовых ресурсов. Высокая эффективность применения СП связана с механизмом их действия, существенно меняющим характер гидратации и структурообразования на ранних стадиях [1–4].

Адсорбционные, электростатические и стерические механизмы их действия, доказанные многими исследователями. Обуславливают эффекты водоредуцирования и торможения начальной гидратации [5]. Действие химических добавок любого типа и механизма обуславливает ускорение или замедление темпов твердения, а значит и тепловыделения.

Повышение качества композиционных гипсовых вяжущих (КГВ) и композитов на их основе возможно за счет применения химических добавок, введение которых обеспечивает возможность регулирования и управления их структурообразованием в пластичном состоянии и в процессе формирования структурной прочности [6–13].

Целью исследований являлось изучение влияния СП SikaPlast 2135 на ранние стадии гидратации и структурообразования КГВ.

Основная часть. В данной работе с целью изучения термокинетических закономерностей интенсивности и полноты ранних стадий гидратации композиционного гипсового вяжущего (КГВ) в присутствии суперпластификатора SikaPlast 2135 с момента его смешения с водой проведены исследования с помощью изотермического дифференциального микрокалориметра [5], включающего ряд устройств для автоматического построения зависимостей $dQ/d\tau=f(\tau)$ и $Q=f(\tau)$.

SikaPlast 2135 (ООО «Зика») – это суперпластифицирующая и суперредуцирующая добавка на основе модифицированных лигносульфонатов и поликарбоксилатных эфиров, с молекулярно-массовым распределением в виде 20 % водного раствора, полностью гомогенизированная, плотностью 1,105–1,135 кг/дм³, pH фактор 4,5±0,5.

Пластифицирующий эффект СП устанавливали по консистенции паст при постоянном В/В_{яж} отношении, а также по снижению количества воды затворения для равноподвижных паст (расплыв по Суттарду ± 200 мм). Сроки схватывания определяли согласно ГОСТ 237.89-79, прочность на сжатие на образцах-кубах с ребром 3 см. Добавка вводилась совместно с водой затворения.

В результате проведенных исследований было установлено, что СП SikaPlast 2135 в количестве 0,1–0,5 % от массы КГВ оказывает комплексное влияние на свойства смеси и затвердевшего КГВ. Благодаря поверхностной адсорбции и созданию эффекта межмолекулярного электростатического и стерического отталкивания частиц КГВ, параллельно протекает процесс взаимодействия СП с фазами вяжущего и тем самым решается проблема его преждевременного схватывания (до 22... 23 мин). С увеличением В/В_{яж} отношения подвижность и сроки схватывания паст на КГВ увеличиваются, но снижается прочность образцов во все сроки твердения (табл. 1).

Суперпластификатор SikaPlast 2135 изменяет значения термокинетических показателей, отличающихся по своей интенсивности и продолжительности в виде зависимостей $dQ/d\tau=f(\tau)$ и $Q=f(\tau)$ (таблица 2)

Сравнивая термокинетические кривые процессов гидратации (рисунок 1, кривая 1) и КГВ + СП гидратации (рисунок 1, кривая 2) при температуре 27°C, видны различия в длительно-

сти и интенсивности основных периодов их твердения.

Таблица 1

Влияние добавки SikaPlast 2135 на свойства затвердевшего КГВ

№ п/п	Состав КГВ, % по массе:						Расплав, м	Сроки схватывания-мин, с		Предел прочности при сжатии, МПа				
	Гипс. вяж.		Ц	ММС	Мел	НП		Sika Plast 2135 %	Начало	Конец	2 ч	7 сут	14 сут	28 сут
	68,8													
	Г-5	Г-16												
1*	48,16	20,64	15	15	0,75	0,45	-	0,200	7-30	8-00	5,2	6,8	12,0	14,2
2	48,16	20,64					0,1	0,150	8-10	8-40	5,7	7,3	13,8	15,5
3	48,16	20,64					0,3	0,205	17-00	18-10	5,5	7,0	12,4	14,5
4	48,16	20,64					0,5	0,220	22-20	23-00	5,0	6,2	11,5	12,8

Примечание: В/Вяз=0,5; состав №1* - В/Вяз=0,55.

Таблица 2

Термокинетические показатели

№ п/п	Соотношение компонентов	Начало реакции, с	Экзоэффект			Тепловыделение макс. за 72 ч, дж/г
			Момент достижения ч, мин, с	Величина максимума, дж/г·ч	Тепловыделение, дж/г	
1	КГВ	22	25 мин 56 с	102,11	38,94	94,92
2	КГВ + СП	22	35 мин 46 с	93,57	34,83	90,38

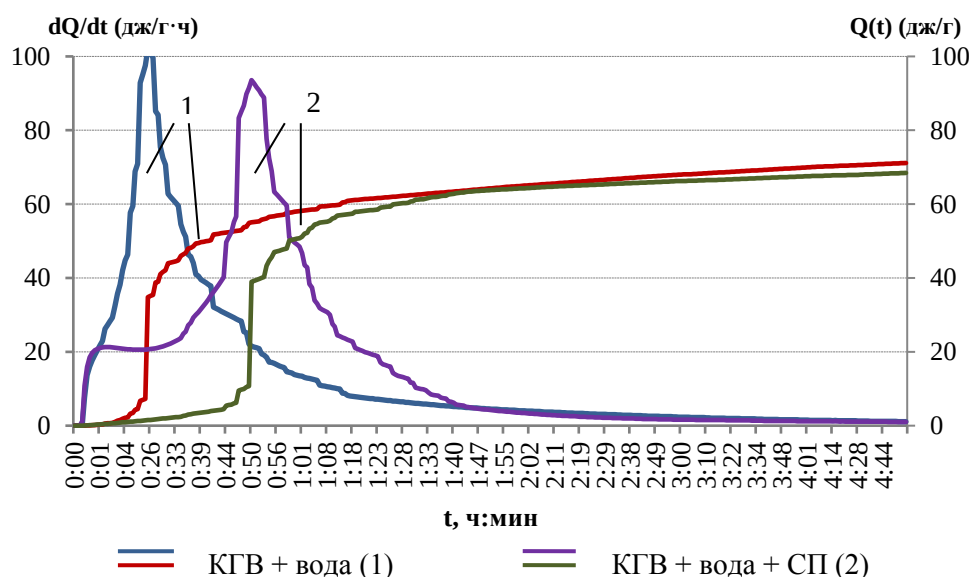


Рис. 1. Зависимость интенсивности и скорости тепловыделения в процессе гидратации КГВ в присутствии суперпластификатора SikaPlast 2135

Гидратация КГВ с СП SikaPlast 2135 (0,3 % от массы КГВ) сопровождается двумя экзоэффектами, разделенными индукционным периодом постоянной скорости тепловыделения (рисунок 1, кривая 2). Через 22 с после взаимодействия с водой у КГВ+СП проявляется реакционная способность. Через 2 мин, фиксируется *первый пик* скорости тепловыделения, равный 21,25 дж/г·ч. Количество выделенного тепла составля-

ет 0,52 дж/г. Затем, через 4 мин скорость тепловыделения снижается до 20,55 дж/г·ч и наступает индукционный период (до 4 мин 51 с), а через 35 мин 46 с фиксируется *второй пик* скорости тепловыделения – 93,57 дж/г·ч с количеством выделившегося тепла – 38,94 дж/г.

К числу наиболее вероятных причин торможения реакций можно отнести замедление диффузии и зародышеобразования.

В последующем скорость гидратации и гидратного фазообразования КГВ+СП снижается и остается на низком остаточном уровне, равном 0,28 дж/г·ч.

Таким образом, адсорбция СП SikaPlast 2135 образующимися продуктами реакций гидратации КГВ (гидросиликатами CSH-группы и др.) снижает их интенсивность и оказывает влияние на формирование фазовых контактов, изменение условий и скорости возникновения зародышей новообразований с формированием моно- или полимолекулярных адсорбционных слоев, удерживающих значительное количество воды. Это проявляется в возрастании длительности индукционного периода, торможении (или даже блокировании) ранних стадий гидратации, сопровождающихся снижением интенсивности и полноты тепловыделения.

Взаимосвязь термокинетических характеристик с технологическими эффектами действия СП имеет научную и прикладную значимость, т.к. позволяет приблизиться к пониманию сложного механизма их действия, а также расширяет возможности регулирования процессов твердения и свойств КГВ с химическими добавками и композитов на их основе.

**Работа выполнена в рамках реализации Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова на 2012-2016 годы при выполнении НИР № А-2/16 «Разработка и синтез эффективных композитов на быстротвердеющих гипсоцементных вяжущих для аддитивных технологий»*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ребиндер П.А. поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. М.: Наука, 1979. 382 с.
2. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Добавки в бетон. М.: стройиздат 1989. 188 с.
3. Дребезгов Д.А., Чернышева Н.В., Капуста И.Н., Хлебникова И.С. Влияние химических модификаторов на свойства композиционных гипсовых вяжущих // 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. 143–150.
4. Лапич А.С., Чернышева Н.В., Козеева Е.В. Применение химических модификаторов в производстве гипсовых материалов // В сборнике: Инновационные материалы и технологии (XX научные чтения). Материалы Международной научно-практической конференции. 2013. С. 115–117.
5. Ушеров-Маршак А.В. Калориметрия цемента и бетона : избранные труды. Харьков Факт, 2002. 183 с.
6. Lesovik V.S., Chernysheva N.V., Issa E. I. J., Drebezgova M. Y. Effective Composite Gypsum Binders On The Basis Of Raw Materials from The Middle East Countries // Advances in Natural and Applied Sciences. 2014. Т.8. №5. С. 363–372.
7. Муртазаев С.А.Ю., Чернышева Н.В., Сайдумов М.С. Мелкоштучные стеновые изделия на композиционных гипсовых вяжущих с золошлаковым наполнителем // Экология и промышленность России. 2014. № 5. С. 18–22
8. Чернышева Н.В., Лесовик В.С., Дребезгова М.Ю. Водостойкие гипсовые композиционные материалы с применением техногенного сырья: монография / г. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. 321 с.
9. Чернышева Н.В., Дребезгов Д.А. Свойства и применение быстротвердеющих композитов на основе гипсовых вяжущих // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. №5. С. 125–133.
10. Муртазаев С.А.Ю., Чернышева Н.В., Сайдумов М.С., Аласханов А.Х. Бетоны мелкозернистой структуры на композиционных гипсосоодержащих вяжущих с наполнителем техногенной природы // В сборнике: Современные строительные материалы, технологии и конструкции Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО «ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова». Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова» (ФГБОУ ВПО «ГГНТУ»), г. Грозный. 2015. С. 489-506.
11. Аласханов А.Х., Муртазаев С.А.Ю., Исмаилова З.Х., Чернышева Н.В. Бетоны на основе композиционных гипсовых вяжущих с наполнителем из золошлаковых смесей // В сборнике: Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства международная научно-практическая конференция, посвященная 70-летию заслуженного деятеля науки РФ, члена-корреспондента РААСН, доктора технических наук, профессора Валерия Станиславовича Лесовика. 2016. С. 16–25.
12. Дребезгова М.Ю. К вопросу кинетики тепловыделения при гидратации гипсовых вяжущих (Часть I) // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2017. №3. С. 19–23.
13. Чернышева Н.В., Дребезгова М.Ю., Герасимов А.В. Кинетика тепловыделения при

гидратации композиционных гипсовых вяжущих // Вестник Белгородского государственного

технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. №4. С. 37–44.

Drebezgova M.Yu.

**THE PECULIARITIES OF HYDRATION OF THE COMPOSITE GYPSUM BINDER
IN THE PRESENCE OF SUPERPLASTICIZER SikaPlast 2135**

In this paper we investigate the influence of superplasticizer SikaPlast 2135-based based on modified ligno-sulfonates and polycarboxylate ethers at an early stage of hydration and structure formation of the composite gypsum binder using isothermal differential microcalorimeter.

Key words: composite gypsum binder, the superplasticizer SikaPlast 2135, hydration. thermokinetic dependence.

Дребезгова Мария Юрьевна, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

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

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

E-mail: mdrebezgova@mail.ru

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ, ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАПЕЦИЕВИДНОГО СЕЧЕНИЯ

ObernikhinDmitriy@gmail.com

Приведены результаты выполненных численных исследований прочности, деформативности и трещиностойкости железобетонных элементов трапецевидного сечения с верхней широкой гранью. Представлены основные характеристики исследуемых железобетонных элементов. В качестве варьируемых факторов были приняты: класс бетона по прочности на сжатие, класс растянутой арматуры и процент армирования рассматриваемого трапецевидного сечения. Для проведения численных исследований применялись ранее разработанные с участием автора алгоритмы и программы расчета. Полученные результаты для удобства выполнения их анализа представлены в форме таблиц и графиков. Выполненные многофакторные исследования позволили выявить ряд закономерностей в деформировании рассматриваемых железобетонных элементов под нагрузкой. Наиболее существенные из них представлены в данной статье.

Ключевые слова: прочность, деформативность, трещиностойкость, трапецевидное сечение, изгибаемый железобетонный элемент, коэффициент армирования, класс бетона, класс арматуры.

Проведенные в последние годы исследования железобетонных конструкций позволили включить в новые нормы (СП 63.13330.2012 «СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения») и, соответственно, в практику проектирования деформационную расчетную модель нормальных сечений, которая хорошо отражает фактический характер работы железобетона на всех этапах вплоть до его разрушения [1–5, 8, 14, 15]. Это позволяет с единых позиций выполнять расчеты железобетонных конструкций по прочности, трещиностойкости и по деформациям.

В предыдущих работах [7, 9, 12, 13] на основе деформационной расчетной модели были разработаны соответствующие методики и алгоритмы расчета прочности, трещиностойкости и деформативности применительно к железобетонным балочным конструкциям трапецевид-

ного сечения. Для апробации основных положений указанных методик были проведены эксперименты на специальных образцах [10, 11], которые показали достаточно хорошее соответствие опытных и расчетных данных.

В связи с ограниченностью факторов, варьируемых в ходе эксперимента [11], выполним численные исследования прочности, трещиностойкости и деформативности изгибаемых железобетонных элементов трапецевидного сечения в зависимости от деформативно-прочностных свойств бетона и арматуры, а также от площади продольной рабочей арматуры.

В качестве исследуемых приняты балочные элементы трапецевидного сечения пролетом 4,5 м, высотой 400 мм, с шириной верхней и нижней граней, соответственно, 300 и 150 мм. Геометрические размеры рассматриваемых элементов приведены на рис. 1.

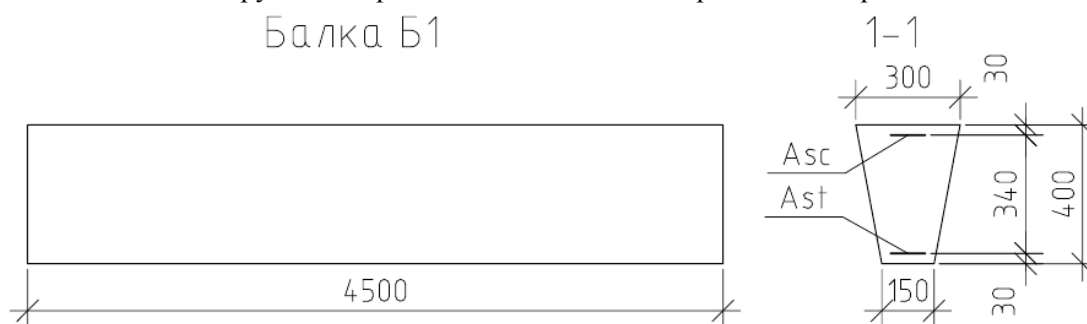


Рис. 1. Геометрические размеры исследуемых железобетонных образцов

В ходе численного эксперимента применяли бетон классов В15, В25 и В40. Рабочая арматура A_{st} использовалась как с физической площадью текучести (классов А400, А500), так и

без физической площадки текучести (класса А600). При этом деформативно-прочностные характеристики арматурных сталей приняты из работы [6]. Одним из важнейших варьируемых

параметров являлся процент армирования μ_s трапецевидного поперечного сечения, который изменялся в диапазоне от 0,5 до 5 %, с шагом 0,5 %. Расчетная схема исследуемых элементов принята в виде однопролетной шарнирно опертой балки, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой.

Для анализа результатов численных исследований использовали следующие параметры:

M_u – предельный изгибающий момент на этапе исчерпания прочности железобетонного элемента по нормальному сечению;

M_{crc} – изгибающий момент на этапе появления первой нормальной трещины в растянутой зоне железобетонного элемента;

M_f – изгибающий момент, соответствующий появлению в середине пролета предельного прогиба $f_{max} = 18$ мм (1/250 от величины пролета);

γ_{rise} – процент прироста предельного изгибающего момента для i -того этапа численного эксперимента при увеличении процента армирования на заданную величину ($\mu_s = 0,5\%$), который рассчитывался по формуле

$$\gamma_{rise} = \frac{M_{u,i} - M_{u,i-1}}{M_{u,i-1}} \cdot 100\% . \quad (1)$$

Систематизированные результаты выполненных расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты проведенных численных исследований

№	μs, %	Ast, см²	Арматура класса A400				Арматура класса A500				Арматура класса A600			
			Mu, кН*М	γrise	Mcrc, кН*М	Mf, кН*М	Mu, кН*М	γrise	Mcrc, кН*М	Mf, кН*М	Mu, кН*М	γrise	Mcrc, кН*М	Mf, кН*М
Бетон класса B15														
1	0,5	4,27	69,54	0	13,45	58,40	80,29	0,00	13,45	70,93	96,11	0,00	13,45	74,46
2	1,0	8,53	110,54	58,96	17,05	108,44	131,96	64,35	17,05	114,87	146,09	51,99	17,05	114,89
3	1,5	12,80	150,92	36,53	20,57	138,97	166,64	26,28	20,57	138,97	166,75	14,15	20,57	138,90
4	2,0	17,07	173,97	15,27	24,02	156,18	173,97	4,40	24,02	156,18	173,97	4,33	24,02	156,18
5	2,5	21,33	178,74	2,74	27,37	167,71	178,74	2,74	27,37	167,70	178,74	2,74	27,37	167,71
6	3,0	25,60	182,15	1,91	30,67	175,82	182,15	1,91	30,67	175,82	182,15	1,91	30,67	175,82
7	3,5	29,87	184,70	1,40	33,90	181,62	184,70	1,40	33,90	181,62	184,70	1,40	33,90	181,62
8	4,0	34,13	186,67	1,06	37,05	185,82	186,67	1,06	37,05	185,82	186,67	1,06	37,05	185,83
9	4,5	38,40	188,23	0,84	40,15	-	188,23	0,84	40,15	-	188,23	0,84	40,15	-
10	5,0	42,66	189,49	0,67	43,18	-	189,49	0,67	43,18	-	189,49	0,67	43,18	-
Бетон класса B25														
1	0,5	4,27	75,54	0	15,79	58,40	84,26	0,00	15,79	72,66	106,83	0,00	15,79	78,64
2	1,0	8,53	119,25	57,88	19,57	112,19	144,21	71,16	19,57	127,41	165,21	54,65	19,57	127,42
3	1,5	12,80	161,49	35,42	23,29	156,30	191,38	32,71	23,29	157,58	205,70	24,50	23,29	157,60
4	2,0	17,07	200,73	24,30	26,93	182,58	223,11	16,58	26,93	182,53	223,47	8,64	26,93	182,57
5	2,5	21,33	229,57	14,37	30,50	200,50	231,12	3,59	30,50	200,50	231,12	3,43	30,50	200,19
6	3,0	25,60	236,55	3,04	34,01	213,87	236,55	2,35	34,01	213,87	236,55	2,35	34,01	213,87
7	3,5	29,87	240,68	1,75	37,46	224,07	240,68	1,75	37,46	224,08	240,68	1,75	37,46	224,08
8	4,0	34,13	243,91	1,34	40,84	231,91	243,91	1,34	40,84	231,94	243,91	1,34	40,84	231,94
9	4,5	38,40	246,51	1,07	44,18	238,17	246,51	1,07	44,18	238,17	246,51	1,07	44,18	238,17
10	5,0	42,66	248,63	0,86	47,45	243,10	248,63	0,86	47,45	243,10	248,63	0,86	47,45	243,10
Бетон класса B40														
1	0,5	4,27	84,47	0,00	19,45	85,40	89,31	0,00	22,60	75,56	134,43	0,00	22,60	85,41
2	1,0	8,53	148,71	76,07	23,48	117,50	166,58	86,51	26,84	142,76	209,62	55,94	26,84	148,89
3	1,5	12,80	196,45	32,10	27,45	170,88	230,71	38,50	31,04	179,48	270,69	29,13	31,04	196,72
4	2,0	17,07	233,84	19,03	31,36	220,35	283,01	22,67	35,17	231,78	323,10	19,36	35,17	231,83
5	2,5	21,33	273,59	17,00	35,20	263,35	327,47	15,71	39,24	265,60	367,01	13,59	39,24	265,60
6	3,0	25,60	317,19	15,94	39,00	294,06	373,79	14,14	43,27	294,09	397,45	8,29	43,27	294,11
7	3,5	29,87	356,63	12,43	42,74	318,08	409,25	9,49	47,25	318,00	416,15	4,71	47,25	317,85
8	4,0	34,13	391,56	9,80	46,42	338,30	427,17	4,38	51,17	338,15	427,18	2,65	51,17	338,15
9	4,5	38,40	421,41	7,62	50,06	355,51	434,34	1,68	55,05	355,46	434,34	1,68	55,05	355,46
10	5,0	42,66	440,04	4,42	53,64	370,22	440,24	1,36	58,88	370,27	440,24	1,36	58,88	370,27

Для удобства обзора и соответствующего анализа результатов численных исследований на основании данных, приведенных в таблице 1, были построены графики зависимости предельных изгибающих моментов на этапе ис-

черпания прочности железобетонных элементов по нормальному сечению M_u от классов бетона, арматуры и от процента армирования μ_s (рис. 2, 3).

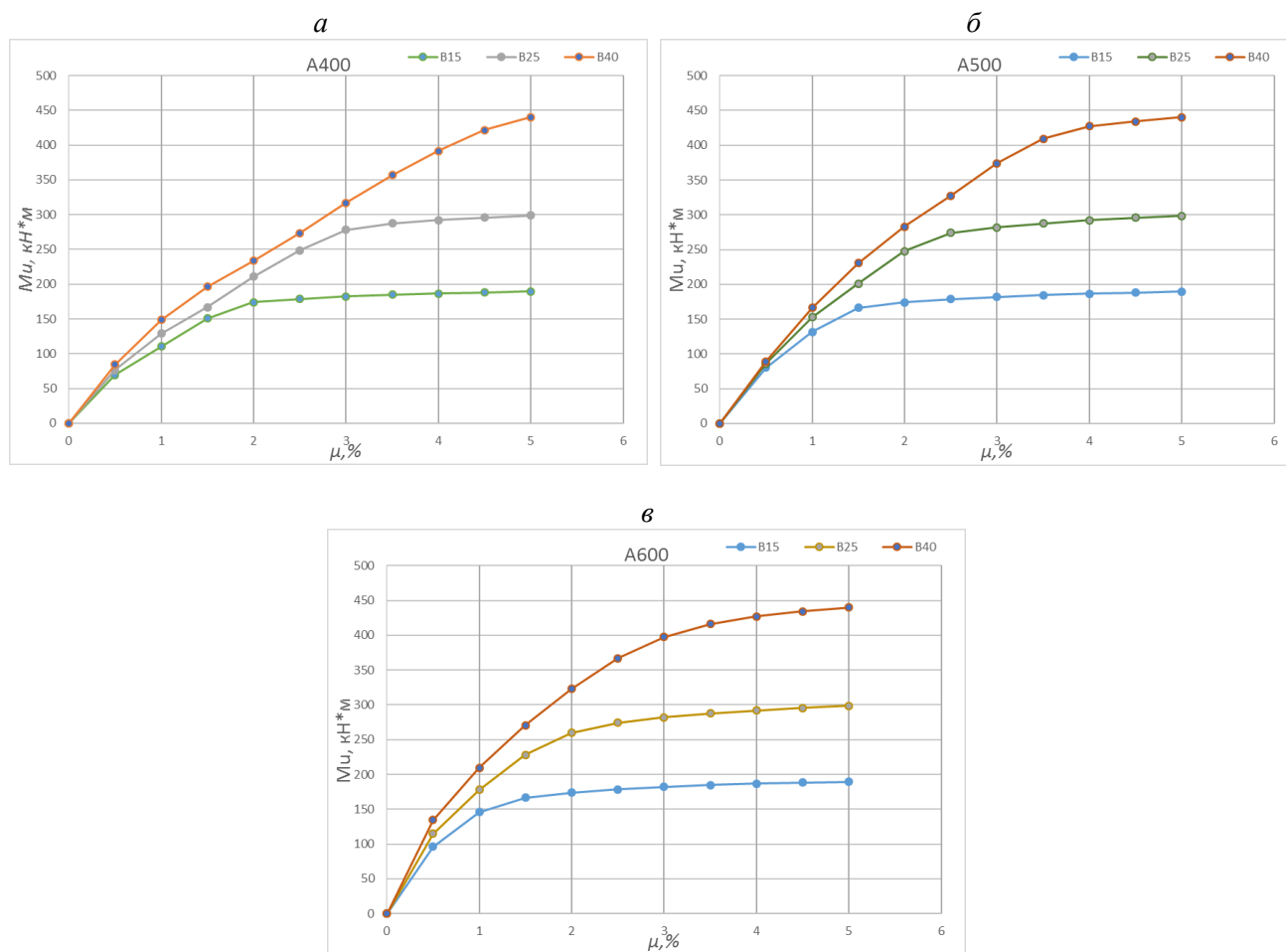


Рис. 2. Графики зависимости предельных изгибающих моментов M_u от процентов армирования трапециевидных сечений арматурой классов А400 (а), А500 (б), А600 (в) для исследуемых элементов из бетонов классов В15, В25, В40

Анализ данных, приведенных в табл. 1 и на рисунках 2, 3, позволяет сделать следующие выводы:

- для образцов из бетона класса В15 увеличение процента армирования выше 2% не приводит к существенному приросту предельных изгибающих моментов M_u . При $\mu_s \geq 1,5 \%$ вместо высокопрочной арматуры класса А600 следует использовать арматуру А500, а при $\mu_s \geq 2 \%$ целесообразно перейти на арматуру А400. Это объясняется практически полным отсутствием влияния класса арматуры на предельные изгибающие моменты M_u при указанных процентах армирования, что хорошо видно на рис. 3, а;

- для элементов, изготовленных из бетона класса В25 и армированных рабочей арматурой класса А400, процент армирования должен быть менее 2,5 %, а для арматуры классов А500 и А600 – не выше 2%, т.к. дальнейшее увеличение площади арматуры не приводит к существенному росту величин M_u (см. рис. 3, б). Поэтому при $\mu_s \geq 2,5 \%$ использование высокопрочной арматуры класса А600 становится нерациональным и

её следует заменить на А500, а при $\mu_s \geq 3 \%$ следует использовать арматуру только класса А400;

- для элементов, изготовленных из бетона класса В40, наблюдается аналогичная тенденция (см. рис. 3, в). Поэтому при $\mu_s \geq 3,5 \%$ высокопрочную арматуру класса А600 следует заменить на А500, а при $\mu_s \geq 4,5 \%$ следует использовать арматуру только класса А400;

- использование арматуры класса А500 в балочных элементах трапециевидного сечения, изготовленных из бетонов классов В15, В25 и В40 целесообразно ограничить процентами армирования 1,5 %, 2 % и 4 %, соответственно (см. рис. 2, б);

- анализируя графики, представленные на рис. 2, в, можно сделать вывод о необходимости использования ограничений в процентах армирования рассматриваемых железобетонных элементов при использовании высокопрочной арматуры класса А600 (без предварительного напряжения). В частности, для образцов из бетона класса В15 максимальный процент армирования следует принять 1,5 %, для бетона класса В25 – 2 % и для В40 – 3 %;

– влияние класса арматуры на деформативность образцов из бетонов классов В15, В25 и В40 становится незначительным, соответственно, при коэффициентах армирования выше 1,0 %, 1,5 % и 2,5 % (см. табл. 1);

– анализ результатов, представленных в табл. 1, позволяет отметить, что на трещиностойкость трапециевидных сечений M_{crc} существенное влияние оказывают класс бетона и процент армирования, а класс арматуры практически не влияет.

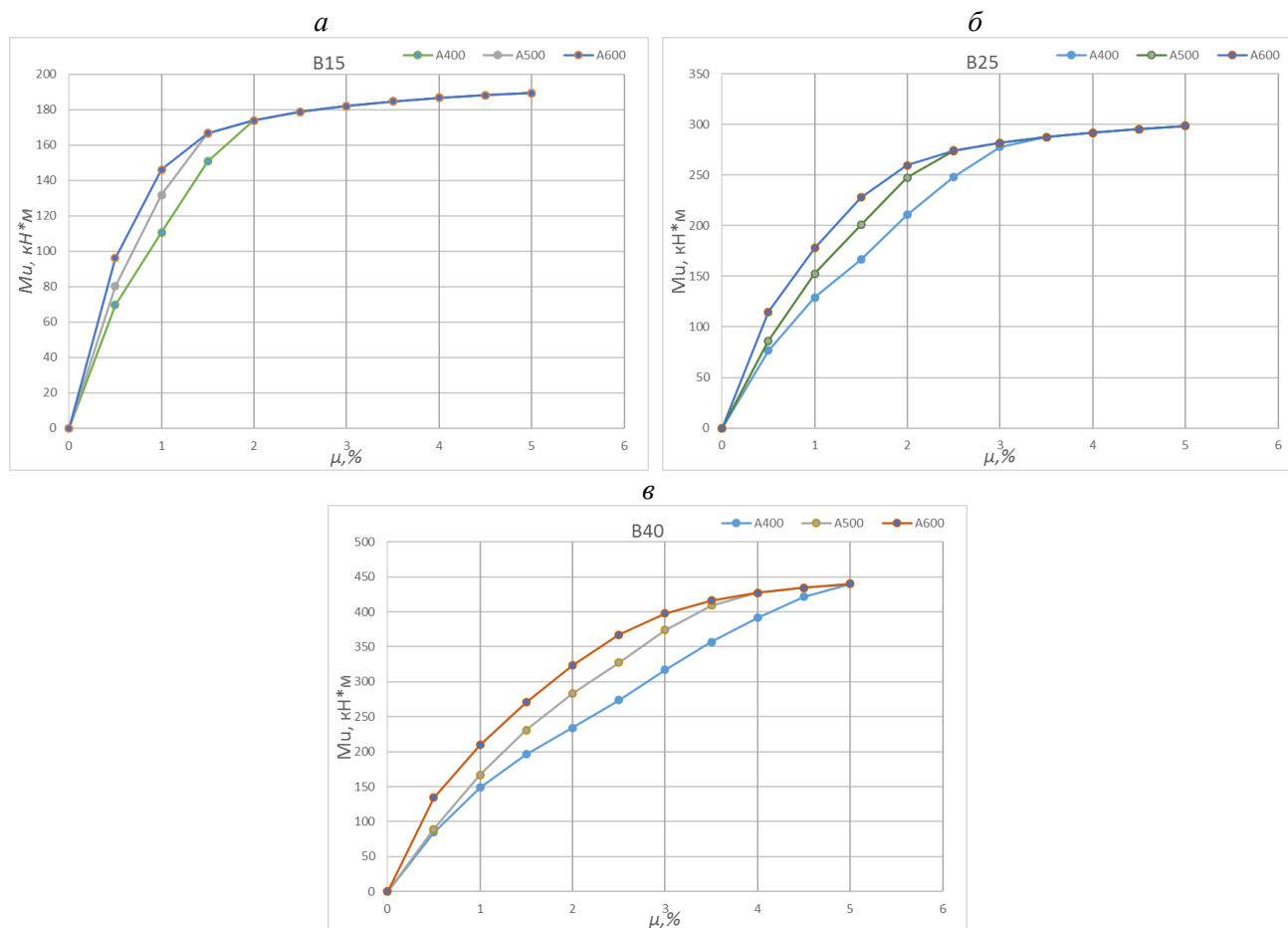


Рис. 3. Графики зависимости предельных изгибающих моментов M_u от процентов армирования трапециевидных сечений арматурой классов А400, А500, А600 для исследуемых элементов из бетонов классов В15 (а), В25 (б), В40 (в)

Тщательный анализ расчетных данных, представленных в табл. 1, позволил также выявить оптимальные проценты армирования рассматриваемых железобетонных элементов, при которых удовлетворяются требования к ним как по первой группе предельных состояний (по

прочности нормальных сечений M_u), так и по второй группе (по трещиностойкости M_{crc} и по деформациям f_{max}). В табл. 2 представлены величины оптимальных и максимальных процентов армирования изгибаемых железобетонных элементов исследуемого трапециевидного сечения.

Таблица 2

Рекомендуемые значения оптимальных и максимальных процентов армирования изгибаемых железобетонных элементов трапециевидного сечения

Класс бетона	Класс арматуры	$\mu_{\text{опт}}, \%$	$\mu_{\text{макс}}, \%$
В15	А400	0,5–0,7	2,0
	А500	0,5–0,7	1,5
	А600	0,5–0,7	1,5
В25	А400	1,5	3,0
	А500	1,5	2,5
	А600	1,0–1,5	2,0
В40	А400	2,0–2,5	4,0
	А500	2,0–2,5	4,0
	А600	2,0–2,5	3,0

В заключение уместно отметить, что на основании выполненных численных исследований удалось выявить значения оптимальных и максимальных процентов армирования изгибаемых железобетонных элементов трапециевидного сечения, которые способствуют их рациональному проектированию с учетом различных классов бетона и арматуры. Аналогичный подход может быть использован для установления оптимальных значений армирования при других величинах пролетов, форм и размеров поперечных сечений изгибаемых железобетонных элементов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Залесов А.С., Мухамедиев Т.А., Чистяков Е.А. Расчет трещиностойкости железобетонных конструкций по новым нормативным документам // Бетон и железобетон. 2002. № 5. С. 15–19.
2. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. 416 с.
3. Кодыш Э.Н., Никитин И.К., Трекин Н.Н. Расчет железобетонных конструкций из тяжёлого бетона по прочности, трещиностойкости и по деформациям. М.: Изд-во АСВ, 2011. 352 с.
4. Колмогоров А.Г., Плевков В.С. Расчёт железобетонных конструкций по российским и зарубежным нормам. М.: Изд-во АСВ, 2011. 496 с.
5. Никулин А.И. К построению расчетной модели для определения трещиностойкости железобетонных балок на основе энергетических соотношений // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. 2004. № 3-4. С. 78–85.
6. Никулин А.И. Универсальная зависимость для аналитического описания диаграмм растяжения арматурной стали // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 3. С. 157–162.
7. Никулин А.И., Обернихин Д.В. Деформативность изгибаемых железобетонных элементов трапециевидного сечения с трещинами в растянутой зоне // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 5. С. 88–93.
8. Никулин А.И., Обернихин Д.В., Никулина Ю.А. Прочность изгибаемых железобетонных элементов на основе применения трансформированных диаграмм сжатия бетона // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции: материалы VIII Всероссийской (II Международной) конференции. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2014. С. 161–168.
9. Никулин А.И., Обернихин Д.В., Рубанов В.Г., Свентиков А.А. Трещиностойкость изгибаемых железобетонных элементов трапециевидного сечения на основе применения нелинейной деформационной модели // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 2. С. 58–63.
10. Обернихин Д.В., Никулин А.И. Экспериментальные исследования прочности, трещиностойкости и деформативности железобетонных балок трапециевидного и прямоугольного поперечных сечений // Инновационная наука. 2016. №8-2. С. 73–77.
11. Обернихин Д.В., Никулин А.И. Экспериментальные исследования деформативности изгибаемых железобетонных элементов различных поперечных сечений // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 4. С. 56–59.
12. Обернихин Д.В., Никулина Ю.А. Расчет прочности изгибаемых железобетонных элементов трапециевидного сечения на основе применения нелинейных диаграмм деформирования бетона и арматуры // Актуальные вопросы науки и техники: Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. Вып. 2. Самара: ИЦРОН, 2015. С. 122–124.
13. Обернихин Д.В., Никулина Ю.А. Численные исследования прочности изгибаемых железобетонных элементов трапециевидного и прямоугольного сечений // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: материалы международных академических чтений. Курск: Изд-во Курск. гос. ун-та, 2015. С. 175–183.
14. Смоляго Г.А., Корсунов Н.И., Крючков А.А., Луценко А.Н. Деформативность стержневых железобетонных изгибаемых элементов // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 8. С. 38–39.
15. Тамразян А.Г. Особенности расчета изгибаемых железобетонных элементов прямоугольного сечения согласно EC2 // Бетон и железобетон. 2012. № 1. С. 19–23.

Obernikhin D.V.

NUMERICAL STUDY OF STRENGTH, FRACTURE TOUGHNESS AND DEFORMATIVNOSTI OF STEEL REINFORCED CONCRETE ELEMENTS OF TRAPEZOIDAL CROSS-SECTION

Shows the results of numerical research strength, deformation resistance and crack-resistance of reinforced concrete elements of trapezoidal cross section with the top broad face. Presents the main characteristics of

reinforced concrete elements. As varied factors were adopted: the class of concrete for compressive strength class stretched reinforcement and percentage of reinforcement reporting trapezoidal cross-section. To conduct numerical studies were developed with the participation of the author of algorithms and programs for calculation. The results for facilities performing their analysis are presented in the form of tables and graphs. Multi-factor studies performed have identified a number of patterns in deformation of reinforced concrete elements considered under load. The most important of them are presented in this article.

Keywords: *strength, deformability, crack-resistance, trapezoidal cross-section, flexure reinforced concrete element, ratio of reinforcement, concrete class, reinforce class.*

Обернихин Дмитрий Вячеславович, ассистент кафедры строительства и городского хозяйства.

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

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

E-mail: ObernikhinDmitriy@gmail.com

Малыхина В.С., канд. техн. наук, доц.,
Денисов А.Н., магистрант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

СОВРЕМЕННОЕ ДЕРЕВЯННОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

malihinaval@yandex.ru

В статье затрагиваются вопросы об эффективном использовании древесины в современном деревянном строительстве с учетом положительных свойств материала. Рассмотрены различные варианты конструкций стен и крыши жилых домов, с использованием пространственных конструкций в зданиях. Приведены примеры построенных мостов из клееной древесины в Белгородской области.

Ключевые слова: дерево, стена, крыша, рама, оболочка, мост.

У дерева, как строительного материала, с учетом комплекса механических, теплотехнических, эстетических и экологических характеристик, нет конкурентов. Привлекательными качествами дерева являются: низкая теплопроводность; высокая прочность; малые трудовые и энергетические затраты при заготовке, изготовлении деревянных конструкций, их сборке и монтаже; способность поддерживать оптимальный уровень влажности; возможность быстрого прогрева и сохранения комфортного климата внутри помещения в любое время года; архитектурная выразительность; целебный аромат; хорошая акустика; краткие сроки возведения сборных деревянных зданий и сооружений; естественное воспроизводство.

Дерево в строительстве использовали с глубокой древности благодаря тому, что оно хоро-

шо поддается обработке и отделке. Его применяли во все периоды развития человеческого общества, во всех архитектурных стилях, в том числе в народном зодчестве, в культовом и городском строительстве. К таким постройкам относятся древнерусские или скандинавские конструкции церквей, старинных мостов.

Экзотические, богато украшенные крыши азиатских храмов, грациозные интерьеры древней японской деревянной архитектуры, замысловатые пространственные конструкции монгольских юрт, строгие, но прекрасные и оригинальные канадские срубы – все это подтверждает наличие деревянных построек повсюду, где дерево было доступно как строительный материал (рис. 1 – 4).

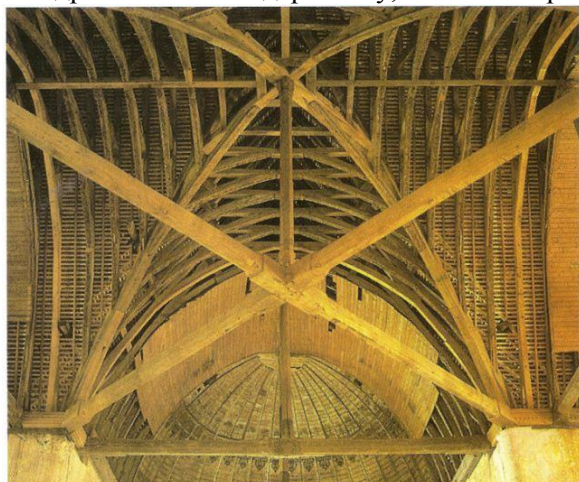


Рис. 1. Историческая деревянная стропильная конструкция костела Элгиз Сент-Пьер в Галлардоне (Франция)

В настоящее время при проектировании зданий и сооружений из деревянных конструкций большое значение уделяется энергопотреблению домов. Малый коэффициент теплопроводности дерева позволяет экономить энергию на обогрев дома, а высокие прочностные показатели дают возможность возводить стены, вы-

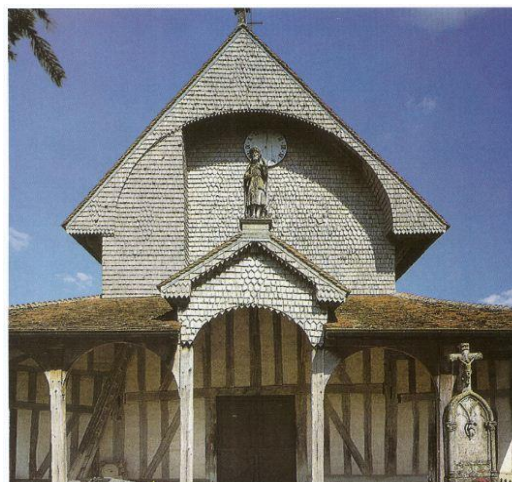


Рис. 2. Наружная отделка Преображенской церкви в Кижях (Россия)

полняющие функции как несущие, так и ограждающие одновременно.

При возведении зданий из дерева нашли применение следующие конструкции стен: срубная (рис. 5), стоечная (рис. 6), каркасная (рис. 7), панельная (рис. 8). Каждый из видов стен имеет свои особенности устройства.

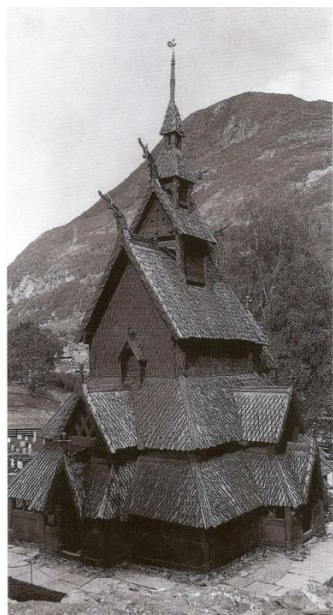


Рис. 3. Впечатляющее деревянная конструкция костела 1150 года в Боргунде (Норвегия)

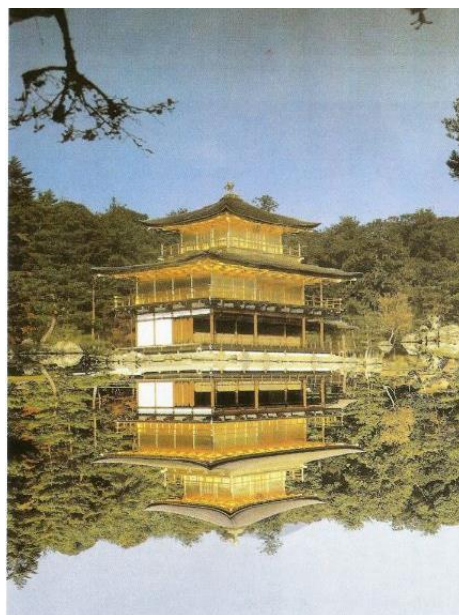


Рис. 4. Золотой павильон в Киото (Япония)



Рис. 5. В привлекательном облике срубного дома объединяет традиции и современная биотенденция архитектурного проектирования

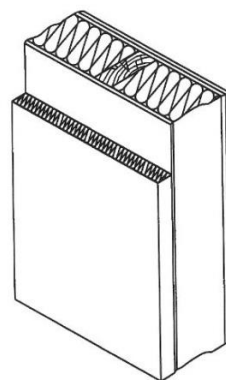
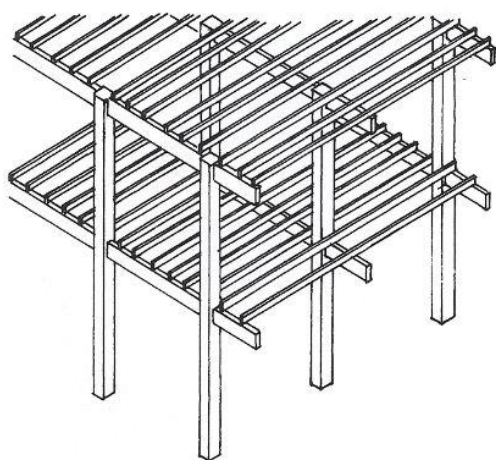


Рис. 6. Стоечная конструкция стены с контактной утепляющей системой

а)



б)

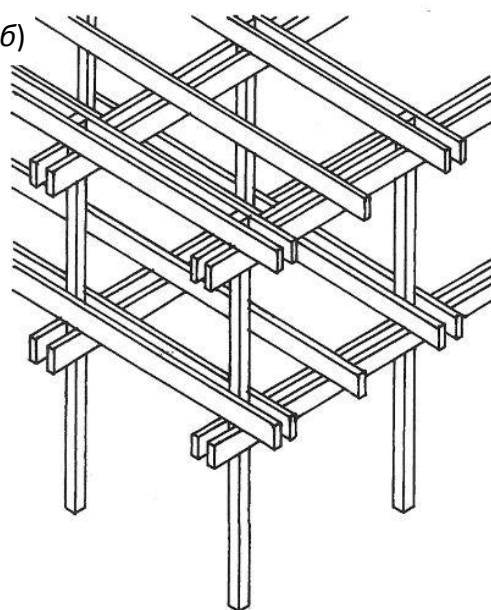


Рис. 7. Каркас: а) с одночастными прогонами и столбами; б) с двухчастотными прогонами и одночастотными столбами

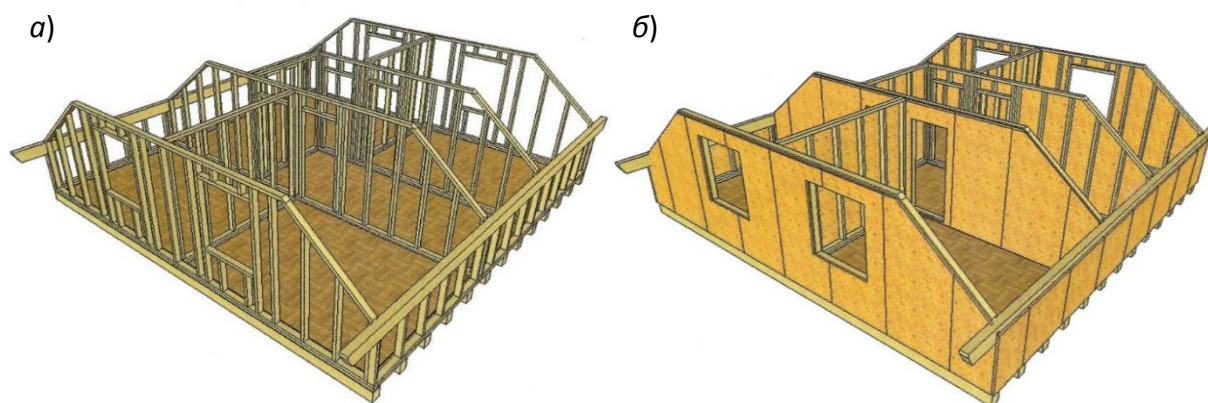


Рис. 8. Панель покрытая, начерно крупноразмерным материалом: а) деревянная рама панели; б) обшивка

В *срубной конструкции* стена является несущей и состоит из горизонтально уложенных балок-срубов из не обрезного, полуобрезного или обрезного пиломатериала, а также граненого бруса. Крепление брусьев выполняют с помощью:

- постельного шва (рис. 9) – встык, с V-образным вырезом, соединением «паз – гребень», вложением «в ус», зубчатым соединением, скрепляющим средством;
- углового соединения – с переплетением сруба с оголовком, превышающим 100-200 мм (рис. 10);
- угловым ровным замком со штырем (рис. 11, а);
- замочным соединением (рис. 11 б, в).

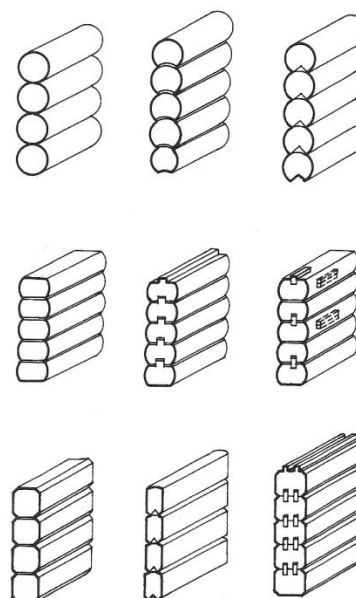


Рис. 9. Система соединений срубов постельным швом

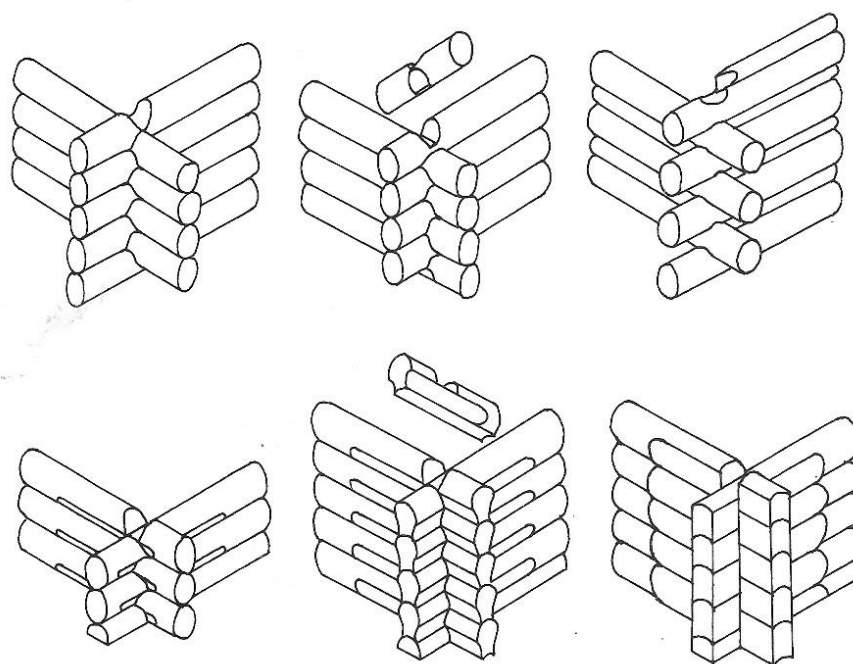


Рис. 10. Вязка оголовков сруба врубками с нахлесткой

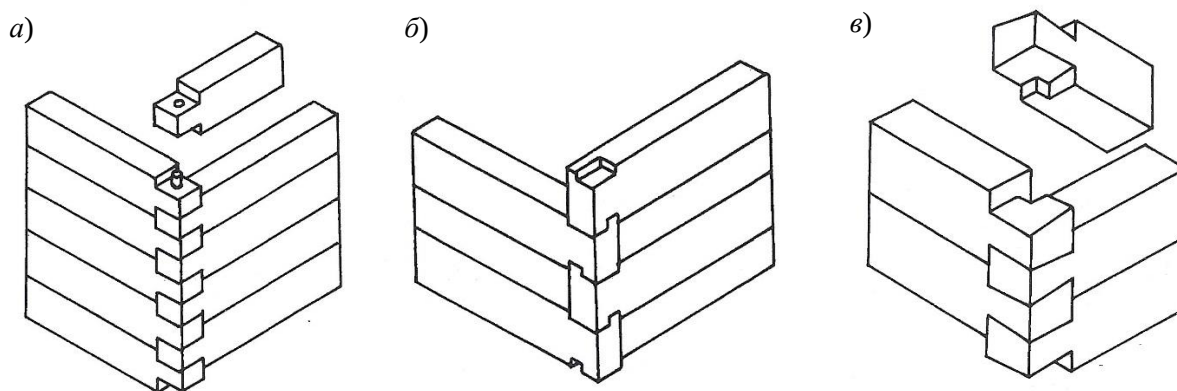


Рис. 11. Угловое соединение сруба: а) с угловым ровным замком с штифтом; б) с замком («тирольское сечение»); в) с пространственным замком «ласточкин хвост»

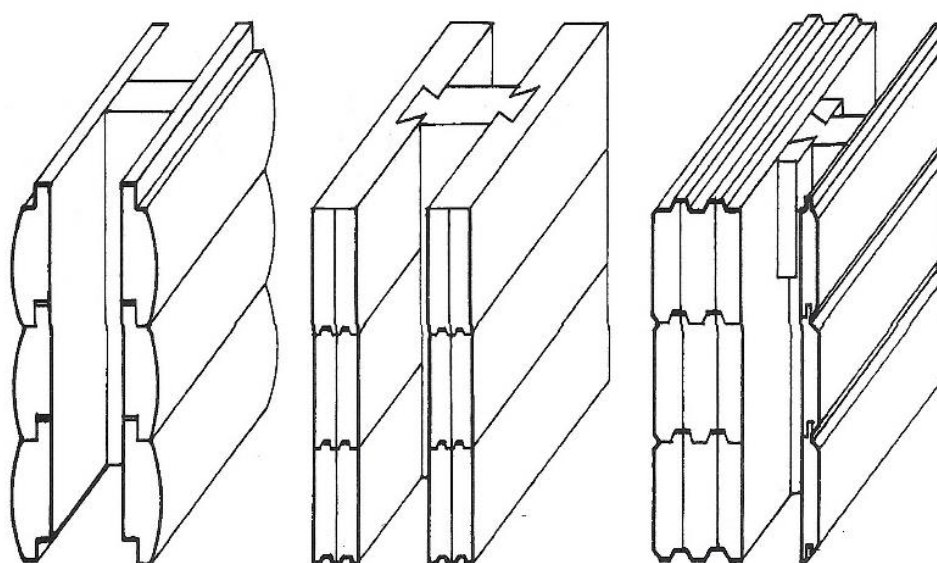


Рис. 12. Теплоизоляция сопряженной срубной стены

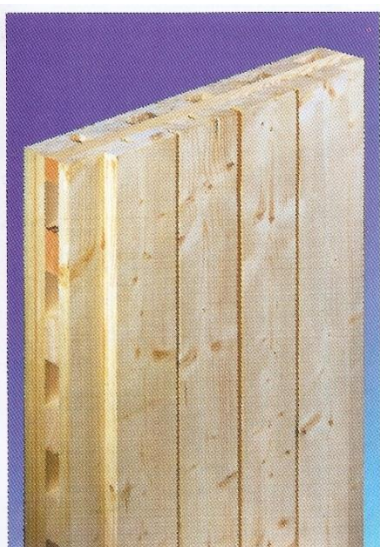


Рис. 13. Стена из крупноразмерных клееных материалов «Лигнотренд»

Учитывая современные нормативные требования к теплозащите зданий максимальная толщина неграненых срубов должна составлять 400 мм, что затруднительно из-за малого количества в природе массивных деревьев. Поэтому современная срубная конструкция предусматривает применение эффективного слоя изоляции (рис. 12). В качестве современных аналогов срубных систем можно считать конструкции стен из крупноразмерных клееных материалов (рис. 13).

Стойчатые конструкции состоят из стоек сечением 50×100 мм, отдаленных одна от другой на 400–600 мм, закрепленных в основном опорном брус, как правило, таких же размеров (рис. 14).

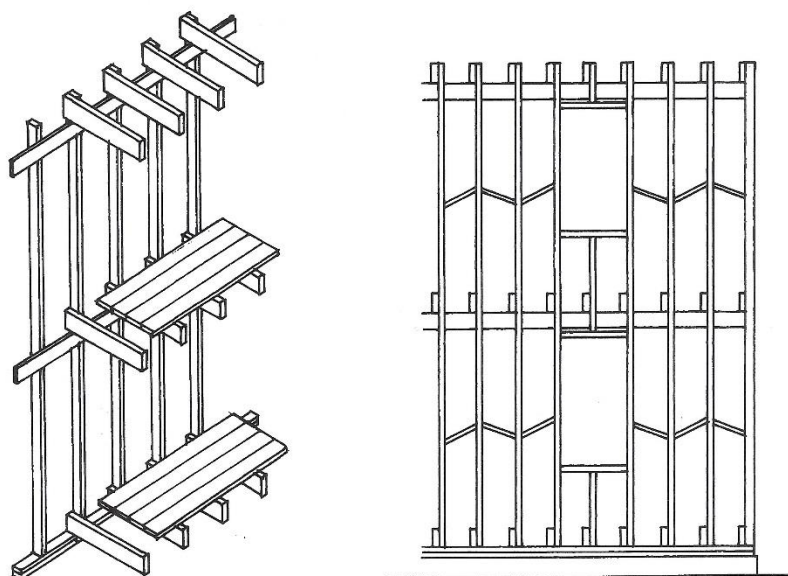


Рис. 14. Воздушный каркас

В *каркасных конструкциях* каркас представляет собой пространственную несущую систему, состоящую из стоек и горизонтальных несущих элементов – прогонов (см. рис.7). Преимуществом каркаса является возможность перекрытия больших пролетов, разнообразие способов размещения перегородок и возможность их замены в период эксплуатации.

Панельная конструкция – одна из самых распространенных на практике. Основой панели служит рама (см. рис. 8). Рамы могут быть предназначены для кровельных плит, стеновых, наружных панелей, а также панелей для несущих и не несущих перегородок. Размеры панелей зависят от условий перевозки и монтажа, а также способов строительства.

К деревянной раме крепятся с двух сторон древесностружечные или гипсоволокнистые плиты. Пространство между ребрами рамы заполняется тепло- и звукоизоляционным материалом.

Принципы допустимой статической нагрузки, теплозащиты и воздухопроницаемости – те же, что и в стоечных конструкциях.

Кровельные покрытия домов строятся в основном с помощью деревянных стропильных конструкций. Они позволяют перекрыть относительно большие пролеты, поверхности различных форм и наклонов в соответствии с функциональными и архитектурными требованиями (рис. 15 а, б).

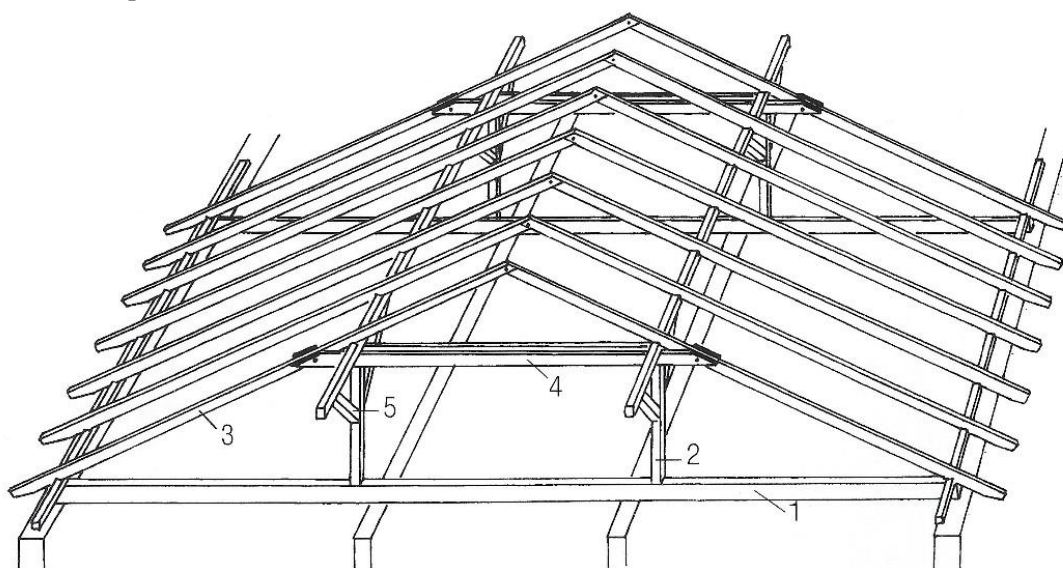


Рис. 15а. Элементы прогонной системы:

1 – обвязочный брус, 2 – столб, 3 – стропильная нога, 4 – затяжка, 5 – ветровой подкос

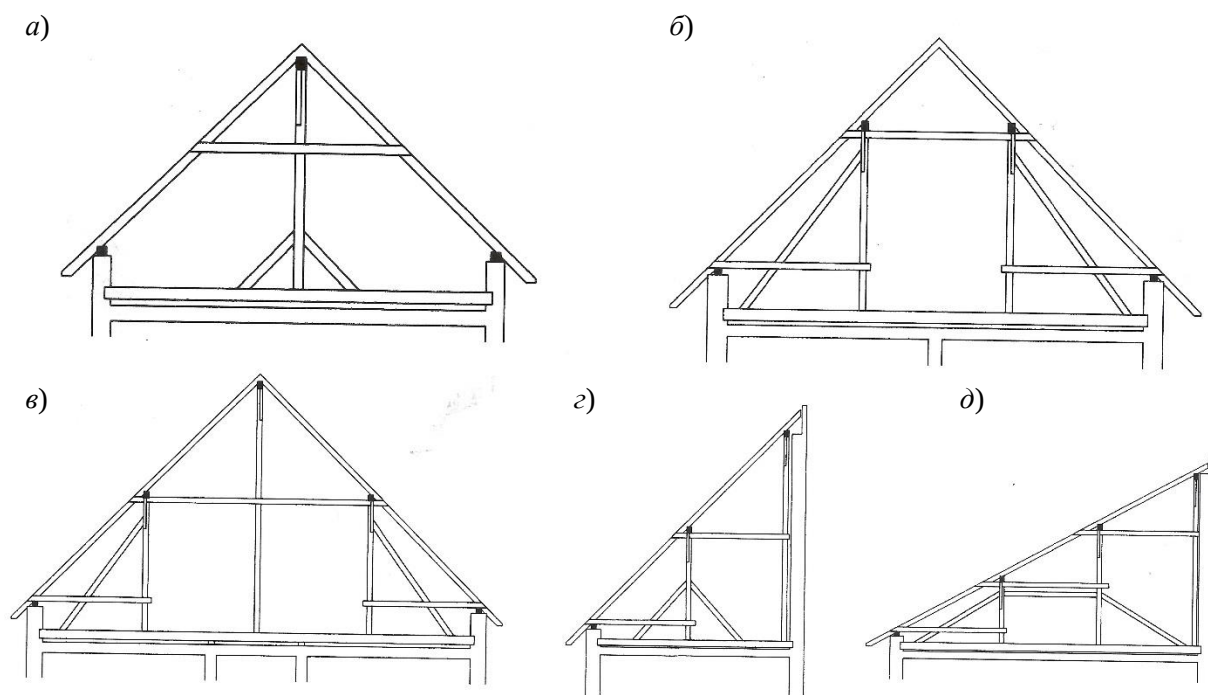


Рис. 156. Обзор стропильных конструкций вертикальной фермы для различных пролетов и форм крыш: а) двухскатная крыша с пролетом от 6 до 8 м; б) двухскатная крыша с пролетом от 7 до 12 м; в) двухскатная крыша с пролетом от 11 до 16 м; г) односкатная крыша с пролетом от 6 до 8 м; д) односкатная крыша с пролетом от 7 до 12 м

Для покрытия больших пролетов и объемов таких, как спортивные и зрелищные залы, широко применяют пластинчатые оболочки, образующие сводчатые и купольные покрытия (рис.

16), относящиеся к пространственным конструкциям. Такие покрытия совмещают функции несущих и ограждающих конструкций.

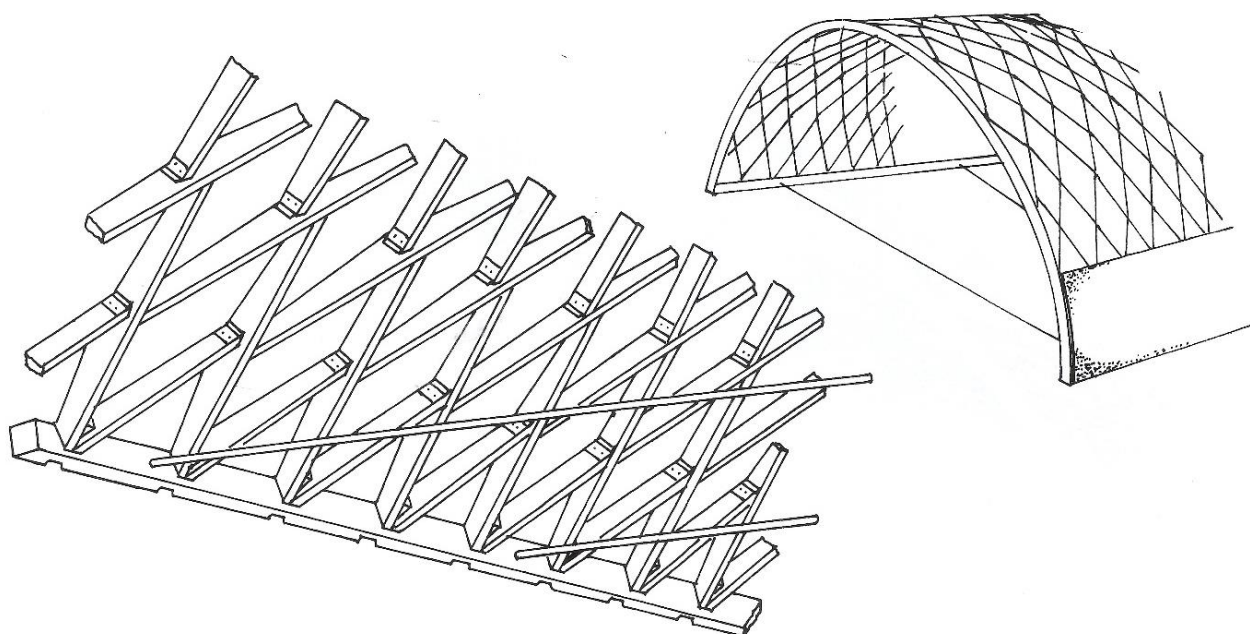


Рис. 16. Пластинчатая оболочка

С возрождением интереса к деревянным конструкциям возросла популярность деревянных мостов (рис.17).



Рис. 17. Деревянный пешеходный мост в с. Ломово

В Белгородской области построены пешеходные мосты из клееной древесины над автодорогой Белгород – Короча и Белгород – Шебекино.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гаппоев М. М. Конструкции из дерева и пластмасс. М., 2004.
2. Деревянный дом. Мн.: Харвест, 2009. 224 с.
3. Слищкоухов Ю.В., Гуськов И.М., Ермоленко Л.К. и др. Индустриальные деревянные конструкции. Примеры проектирования: Учеб. пособие для вузов. Под ред. Ю. В. Слищкоухова. М.: Строиздат, 1991. 256 с.
4. Малихина В. С. Проектирование и расчет конструкций из дерева и пластмасс. Учеб. пособие для студ. вузов. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. 217 с.
5. Малихина В. С. Конструкции из дерева и пластмасс: Учеб. пособие. 2-е изд. испр. и доп. Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. 226 с.
6. Малихина В. С. Конструкции из дерева и пластмасс: Учеб. пособие. Белгород: Изд. БГТУ им. В. Г. Шухова, 2008. 293 с.
7. Пономаренко В. Г. Каркасный дом. Пошаговое руководство для застройщика. М.: ЭКСМО, 2015. 320 с.
8. СП 64. 13330. 2011. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II – 25. 80.
9. Ушаков А. Ю., Долганов А. И. Автоматизация проектирования деревянных конструкций в малоэтажном строительстве // Научное обозрение. 2014. №7–1. С.140–143.
10. Штефко Й., Райнпрехт Л. Современное деревянное строительство: коттеджи, беседки, перголы. Пер. со словацк. М.: Издательство «Ниола – Пресс», 2006. 184 с.

Malykhina V.S., Denisov A.N.

MODERN WOODEN CONSTRUCTION

In article the questions of effective use of wood in a modern wooden construction taking into account positive properties of material are raised. Various options of designs of walls and a roof of apartment houses, with use of spatial designs in buildings are considered. Examples of the built bridges from glued wood in the Belgorod region are given.

Key words: tree, wall, roof, frame, cover, bridge.

Малихина Валентина Степановна, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства.

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

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

E-mail: malihinaval@yandex.ru

Денисов Андрей Николаевич, магистрант кафедры строительства и городского хозяйства.

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

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

E-mail: andden91@mail.ru

DOI: 10.12737/article_590878fabafaf7.05960160

Волков А.А., д-р техн. наук, проф.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Лебедев В.М., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ЗАДЕЛ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И СИСТЕМОКВАНТЫ ПРОЦЕССОВ

lebedev.lebedev.v.m@yandex.ru

Рассмотрены задел в строительстве и функционирование системоквантов процессов по мере открытия фронтов работ.

Ключевые слова: задел, сетевая циклограмма, системокванты, функциональная система.

Заделом называют часть работы, продукции, которую необходимо предварительно выполнить, чтобы эффективно завершить выполнение работы или производство продукции.

Различают заделы: технологический; строительный, сезонный, переходящий и фактический.

Технологический задел – это объем незавершенной строительной продукции, величина которого (номенклатура и расположение по фронту работ) обеспечивает непрерывность и ритмичность развития всех частных потоков, а также непрерывный и ритмичный выпуск законченной строительной продукции.

Незаконченной строительной продукцией (незавершенным производством) называется объем работ, на незаконченных еще строительных объектах.

Строительный задел – это объем незаконченной, некомплектованной строительной продукции, в состав которого входит полностью технологический задел, а кроме того входит продукция, выпущенная всеми потоками за время, необходимое для комплектации готовых единиц продукции (участков, захваток) в единый объект, предъявляемый к сдаче [1–3].

На рис. 1 представлена сетевая циклограмма – системокванты объектного потока, состоящего из четырех специализированных потоков, выполняемых на пяти захватках. [2]. Период накопления технологического задела на циклограмме обозначен буквами АС. Он представляет собой период разворачивания объектного потока и равен сумме периодов разворачивания каждого специализированного потока (T_{c1}^1 , T_{c2}^1 , T_{c3}^1 , T_{c4}^1)

$$T_0^1 = \sum_{i=1}^n T_c^1$$

Если объем незаконченной продукции или размещение по фронту работ не соответствует требованиям технологии, неизбежны сбои или отказы поточного строительства и, следовательно, нарушение технологии. Если объем из-

быточный, увеличивается и задел. При этом происходит замораживание капитальных вложений.

Как известно поточные методы строительства это форма организации производства с характерными признаками: возможностью расчленения производственного процесса на отдельные стадии; непрерывностью производственного процесса во времени и пространстве; одновременностью выполнения работ на всех стадиях производства.

Наличие в сложной системе строительного производства человека делает его влияние определяющим на пространственно-временную структуру системы. Следовательно применение теории функциональных систем (ТФС) к строительному производству является правомерным.

Основное свойство живой материи – выживаемость, вызывающая активное избирательное отношение к внешним факторам с разделением их на вредные, полезные и нейтральные. Пространственно-временные факторы формируют приспособительные реакции организма. Наиболее существенной чертой пространственно-временной структуры мира, определяющей временные отношения живых организмов к внешнему миру, является последовательность воздействий окружающей среды на эти организмы независимо от интервала этих воздействий и от качества их энергии. Этим вычленяется временной параметр отношений организма к внешнему миру как самостоятельный фактор приспособительных превращений [3, 4].

Рассмотрим основные понятия и общую схему функциональной системы, адаптированной для решения инженерных проблем с использованием системоквантов (рис. 2):

- афферентный синтез – интеграция информации (программа интеграции), подготовка принятия решения, завершается афферентным толчком;

- прямая и обратная афферентация (ПА, ОА) – прямая и обратная связь; разновидности ПА-обстановочная, предпусковая, пусковая; форми-

руется на основе афферентной информации, представляющей интерес для афферентного синтеза;

- афферентная модель – информационная модель результата, формируется в акцепторе ре-

зультата действия, виртуальный процесс или объект в строительстве – ВОС;

- акцептор результата действия – аппарат предвидения потребного (заданного) результата: какой, где и когда должен быть получен результат.

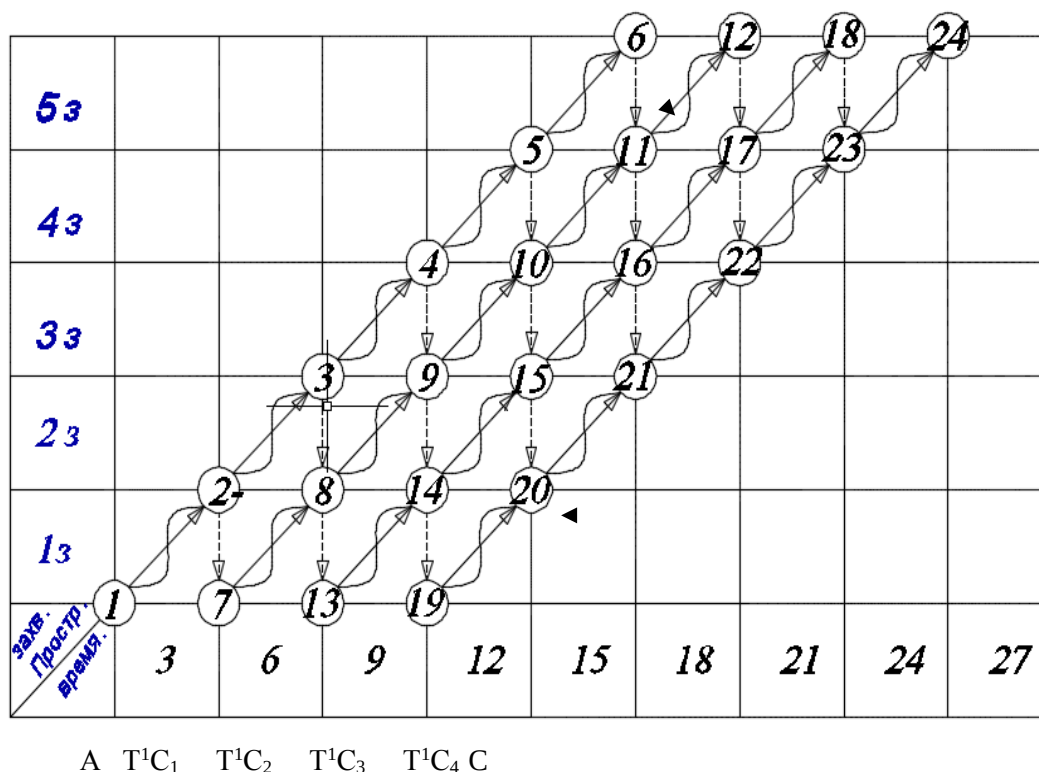


Рис. 1. Сетевая циклограмма-системокванты поточного выполнения 4-х процессов на 5-ти захватках

- ▶ – информационный направляющий вектор,
 ~~~~~▶ – кванты трудовых и материально – технических ресурсов,  
 - - - - -▶ – организационно-технологические зависимости.

Программирование (проектирование) параметров результата:

- рецепторы – анализаторы и датчики параметров промежуточного и конечного результатов действия;

- эфферентный синтез – формирование программы действия и способа достижения адаптивного результата; завершающая стадия целенаправленного поведения;

- системокванты – дискретные единицы интегративно-системной деятельности;

- эффекторы действия – механизмы осуществления действия;

- мотивация и подкрепление – критические состояния, разделяющие поведенческий или технологический процесс на дискретные отрезки – системокванты по схеме «стимул – реакция – саморегуляция»; в строительстве в качестве мотивации могут выступать завершение объекта

или его части (участка, блока, вида работ и т. д. – кванта) с соответствующей стимуляцией (материальной, моральной, административной), а в качестве подкрепления – открытие нового фронта работ для получения нового кванта;

- системогенез – избирательное созревание различных функциональных систем и их отдельных компонентов, процесс становления, совершенствования и старения системоквантов в течении индивидуальной жизни организма (от рождения до смерти) или жизненного цикла технологического объекта;

центр системы – мозг живого организма, для технологических систем – ситуационный центр с банком данных и знаний [1–9, 12–15].

Системогенез, определяет совершенствование процессов афферентного синтеза, принятия решений, акцептора результата действия и эфферентного синтеза; разновидности системогене-

неза: онтогенез – процесс индивидуального развития от зарождения до смерти, филогенез – происхождение, эволюция организмов и отдельных его групп, эмбриогенез – развитие эмбриона

гетерогенез – смена способов размножения, гетерогенез – смена способов размножения и др.[1–9].

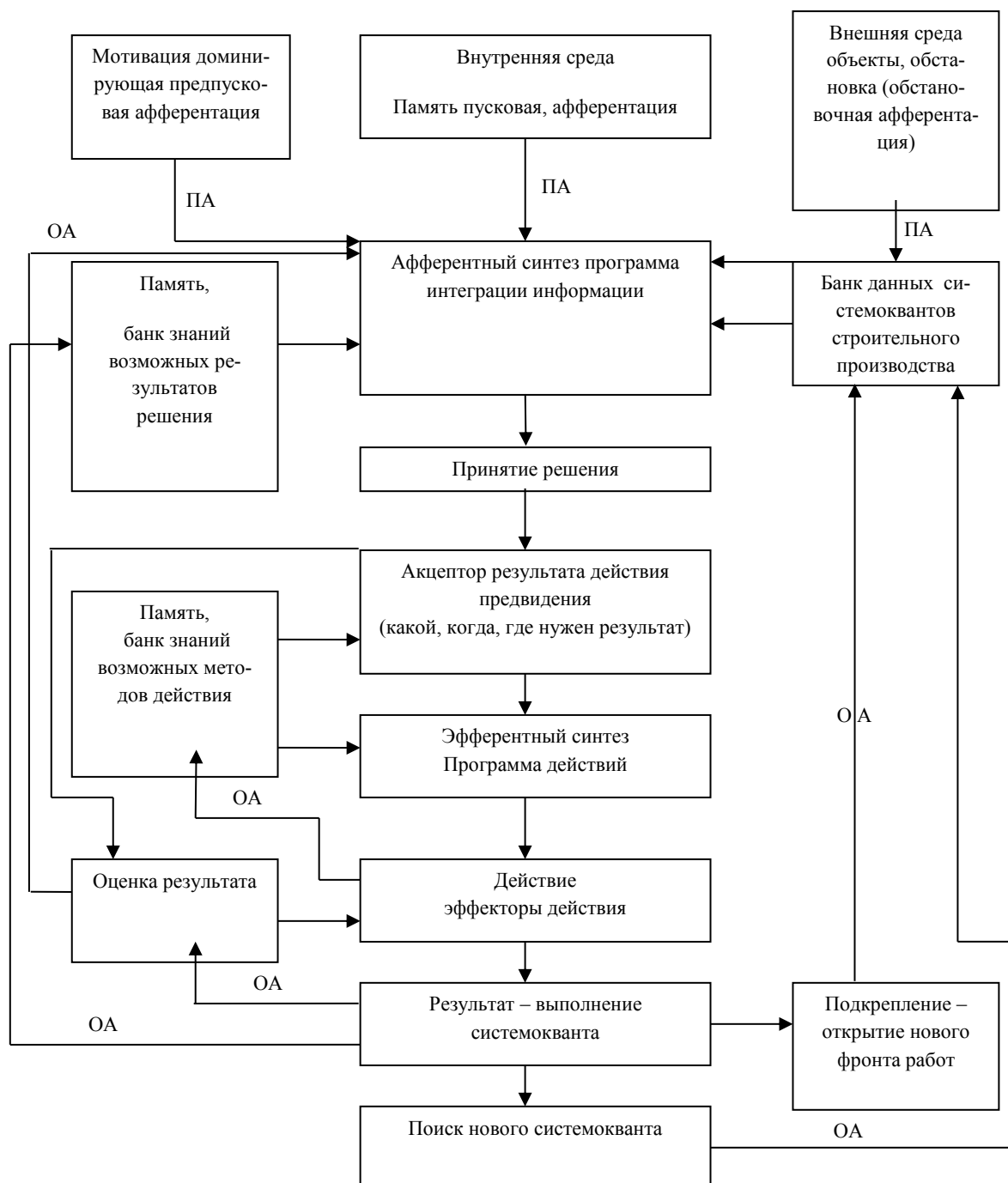


Рис. 2. Функциональная схема выполнения системоквантов строительного производства

«Результативный» принцип теории функциональных систем оказался весьма плодотворным в системах строительного производства, где сложность иерархии, множество целей, неподчинённость и ненадёжность критериев по отдельным подсистемам делают весьма актуальным достижение конечного результата по вводу

и функционированию объектов строительства. Именно результат в строительном производстве, как системообразующий фактор, требует переориентации многих организационно – технологических и управленческих решений, которые ещё часто принимаются без подчинения их до-

стижению конечного результата на универсальной основе системности. [5, 7, 9–15].

Теория функциональных систем весьма перспективна в применении к основам теории поточного строительства. Это принцип опережающего отражения действительности, рассмотрение развития материи в движении в пространственно – временном континууме и системообразующая роль промежуточных и конечного результатов.

Функционирование системоквантов строительных процессов способствует своевременному их участию на открывшихся фронтах работ, сокращению незавершенного производства, созданию оптимально-минимального технологического задела в строительстве.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Строительное производство: Энциклопедия. Гл. ред. А.К. Шрейбер. М.: Стройиздат, 1995.- 64с.:
2. Волков А.А., Лебедев В.М. Проектирование системоквантов строительных процессов поточного производства работ на возведении кирпичных зданий // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2010. № 4. 2010. С. 172–179.
3. Лебедев В.М. Моделирование системоквантов строительного производства. LAP LAMBERT. Германия, 2016. 265 с
4. Лебедев В.М. Основы системотехники строительного производства. LAP LAMBERT. Германия, 2016. 324 с.
5. Лебедев В.М. Системокванты строительно-монтажной функциональной системы производства. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. 266с
6. Лебедев В.М. Моделирование системоквантов строительного производства. Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. 244 с.
7. Волков А.А., Лебедев В.М. Инфографическое проектирование поточного строительства с использованием системоквантов строительных процессов // Вестник БГТУ. 2010. №3. С. 163–169.
8. Лебедев В.М. Инфография поточных методов строительства с применением сетевых циклограмм // Вестник МГСУ. 2009. №2. С. 212–217.
9. Лебедев В.М. Системотехника строительства и формирования функциональных систем зданий. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. 165 с.
10. Лебедев В.М. Системотехника возведения и формирования функциональных систем зданий. LAP LAMBERT. Германия, 2016. 205 с.
11. Гусаков А.А. Новая парадигма строительной деятельности защитит нашу жизнь // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2004. №5.
12. Информационные модели функциональных систем. Под ред. К.В. Судакова и А.А. Гусакова. М. Фонд «Новое тысячелетие», 2004, 304с.
13. Системотехника строительства. Энциклопедический словарь. Под ред. А.А. Гусакова. М.: Фонд «Новое тысячелетие», 1999. 432с.
14. Системотехника строительства. Энциклопедический словарь. Под ред. А.А. Гусакова. М.: Изд-во АСВ, 2004. 320с.
15. Оптнер Ст. Л. Системный анализ при решении деловых и промышленных проблем. М.: Сов. радио, 1969. 216 с.

**Volkov A.A. Lebedev V.M.,**

### RESERVE CONSTRUCTION AND SYSTEMIC QUANTUMS PROCESSES

*Considered a backlog in the construction and operation of sitamaquine processes as you open work front.*

**Key words:** *reserve, network the sequence diagram, the systemic quantums, functional system*

**Волков Андрей Анатольевич**, доктор технических наук, профессор.

НИУ Московский государственный строительный университет

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

E-mail: volkov@mgisu.ru

**Лебедев Владимир Михайлович**, канд. технических. наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства.

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

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

E-mail: lebedev.lebedev.v.m@yandex.ru

Шукуров И.С., д-р техн. наук, проф.,  
Оленьков В.Д., канд. тех. наук, проф.,  
Пайкан В., аспирант,  
Аманов Р.М., магистр

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРОДОВ С УЧЕТОМ АЭРАЦИОННОГО РЕЖИМА ВОЗДУХА

Shukurov2007@yandex.ru

Исследование процесса обтекания ветровым потоком различных форм рельефа и градостроительных объектов позволяет получить оценку ветрового режима и на ее основе разработать рекомендации по улучшению аэрационного режима городских территорий. Для того, чтобы прогнозировать аэрационный режим на территории проектируемого или реконструируемого городов, нами был изучен процесс трансформации воздушного потока в результате его взаимодействия с рельефом территории и антропогенным ландшафтом. В результате сравнения скоростей ветра на карте аэрационного режима города с критериями комфортности по ветровому режиму, можно сделать вполне конкретные выводы о том, насколько территория соответствует или не соответствует критериям комфортности для человека. Мероприятия по оздоровлению окружающей среды с точки зрения ветрового режима непосредственно ведут к улучшению качества жизни горожан и созданию более благоприятных условий жизнедеятельности. Следовательно, главная цель градостроительного проектирования – обеспечение экологической безопасности города с учетом аэрационных режимов воздуха достигается в более полной мере.

**Ключевые слова:** аэрация, аэрационный режим, ветровой режим, городская территория, рельеф, модель, подобие.

**Введение.** Развитие городов и их инженерно-транспортной инфраструктуры повсеместно сопровождается загрязнением воздушного бассейна. В таких условиях очень важно учитывать аэрационный режим при проектировании инфраструктуры города.

Аэрация – это естественное регулируемое проветривание территории городов и поселений. Очевидна неизбежность трансформации воздушного потока при взаимодействии его с природным, антропогенным и техногенным ландшафтом. При таком взаимодействии изменяется как скорость ветра, так и его направление. Эти факторы и их изменение характеризуют аэрационный режим города. Для эффективного прогнозирования аэрационного режима на территории проектируемого или реконструируемого города необходимо тщательно изучить режим аэрации территории.

Учет аэрационного режима необходим для решения ряда задач, в том числе:

- учет ветровых нагрузок на здания и сооружения;
- оценка территории с точки зрения пребывания человека вне зданий (комфорт, дискомфорт);
- защита от последствий пылевветровой и метелевой деятельности;
- определение степени дефляции почвы с различных участков рельефа (в первую очередь

техногенного) при проведении работ по благоустройству и озеленению территории;

- размещение элементов благоустройства, озеленения, зон и площадок для детей, отдыха, спорта и т.д.

Исследование процесса обтекания ветровым потоком различных форм рельефа и градостроительных объектов позволяет получить оценку ветрового режима и на ее основе разработать рекомендации по улучшению аэрационного режима городских территорий.

Оценка ветрового режима проводится на основе данных по повторяемости направлений ветра в годовом и суточном ходе (розы ветров, преобладающий ветер), вероятности и непрерывной продолжительности скоростей ветра различных градаций, повторяемости различных сочетаний направления и скорости ветра с другими метеорологическими элементами, особенно с температурой воздуха.

Для оценки аэрационного режима с точки зрения комфортности возможно использование таблицы критических значений скоростей ветра, полученные в результате исследований в ЦНИИП градостроительства [3]. В результате сравнения скоростей ветра на карте аэрационного режима города с критериями комфортности по ветровому режиму, можно сделать вполне конкретные выводы о том, насколько территория

соответствует или не соответствует критериям комфортности для человека.

Карта аэрационного режима представляет собой совокупность участков, на которых определяется скорость и повторяемость ветра для рассматриваемого направления. Карты аэрационного режима необходимы также для расчётов и построения карт атмосферных загрязнений, поскольку известно, что процесс атмосферной диффузии и перенос загрязняющих веществ в атмосфере крайне чувствителен к изменениям скорости ветра в пространстве воздушного бассейна [1].

После построения карты производится градостроительная оценка климата, которая заключается в выявлении степени его комфортности и безопасности. Для этого проводится комплексная оценка, позволяющая учесть продолжительность основных биоклиматических типов погоды, и оценка градостроительных факторов климата, оказывающих наиболее глубокое и многостороннее воздействие на санитарно-гигиенические условия городской среды.

Для того, чтобы прогнозировать аэрационный режим на территории проектируемого или реконструируемого городов, нами был изучен процесс трансформации воздушного потока в результате его взаимодействия с рельефом территории и антропогенным ландшафтом.

Рельеф местности вносит существенные изменения в аэрационный режим территорий, которые состоят в том, что воздушный поток, обтекающий различные формы рельефа, трансформируется как по величине скорости, так и по направлению движения.

Так как данные метеостанции содержат восемь значений скорости ветра по направлениям, то и для каждого участка, зная коэффициенты трансформации, определяют все восемь значений скорости ветра.

Пользуясь коэффициентами трансформации ветрового потока  $\tau$ , можно рассчитать характеристики ветра для каждого из участков генерализованного рельефа местности. Исходные данные вместе с табличными значениями коэффициентов трансформации выписывают в отдельную таблицу, перемножают, выбирают максимальные, минимальные значения и определяют средневзвешенную величину скорости ( $U_{max}$ ,  $U_{min}$  и  $U$ ) [5, 7].

Средневзвешенное значение скорости  $U$  рассчитывается по формуле

$$U = (U_c P_c + U_{св} P_{св} + \dots + U_{сз} P_{сз}) / 100,$$

где  $U$  – средневзвешенная скорость на участке для ветров всех направлений, м/с;

$U_c$ ,  $U_{св}$ , .. – величина скорости ветра соответствующего направления, м/с;

$P_c$ ,  $P_{св}$ , .. – повторяемость ветра соответствующего направления, %.

На карте аэрационного режима территории показываются значения  $U_{max}$  или  $U_{min}$

Расчет аэрационного режима включает в себя: а) генерализацию рельефа местности; б) разбивку территории на участки по высоте и экспозиции склонов, определение коэффициентов и углов трансформации  $\tau_i$  и  $\Delta\alpha_i$  для каждого участка по румбам (С, СВ, В, ЮВ, Ю, ЮЗ, З, СЗ); в) построение карты аэрационного режима антропогенного ландшафта. Карты аэрационного режима являются важнейшим инструментом градостроительной безопасности территорий для создания безопасных условий для человека в городах.

Для расчета аэрационного режима территории эти изменения выражаются через коэффициенты  $\tau_i$  и углы трансформации  $\Delta\alpha_i$ , [1]:

$$U_i = U_0 \cdot \tau_i,$$

$$\alpha_i = \alpha_0 \pm \Delta\alpha_i,$$

где  $U_i$ ,  $\alpha_i$  – скорость и азимут воздушного потока в точке  $i$ ;

$U_0$ ,  $\alpha_0$  – скорость и азимут невозмущенного воздушного потока.

Зная скорость и азимут ветра в данном географическом пункте (по многолетним наблюдениям на ближайшей метеостанции) и значения коэффициентов и углов трансформации  $\tau_i$  и  $\alpha_i$  можно рассчитать аэрационный режим на рассматриваемой территории.

Для выявления аэрационного режима города необходимо построить следующие карты: 1- для максимальных скоростей ветра за июль и январь; 2- для минимальных скоростей ветра за июль и январь; 3- для средних скоростей ветра за июль и январь.

На рис.1 приведена карта аэрационного режима города на примере г. Челябинска [7].

Исходя из критериев оценки аэрационного режима и на основе анализа разработанных карт по средневзвешенным скоростям ветра, как для летнего, так и для зимнего периода можно получить следующее градостроительное зонирование территории города:

1. Особо неблагоприятные зоны (зоны застоя-штиль) – участки жилой застройки, находящиеся в частях города с примыканием застройки к основным транспортным узлам, проспектам и улицам с повышенным содержанием выхлопных газов;

2. Неблагоприятные зоны (зоны понижения скорости ветра) – участки городской застройки, находящиеся на участках с явной пониженной скоростью ветра;

3. Условно благоприятные – участки городской застройки, находящиеся в зоне с вероятностью пониженных скоростей ветра, но за счет прилегающих открытых пространств (полей, акваторий) менее подверженные риску штилевых процессов воздушных масс;

4. Благоприятные зоны – зоны с благоприятной естественной проветриваемостью и комфортными ветровыми характеристиками.

Выявляя и анализируя разработанную карту аэрационного режима города можно рекомендовать следующие мероприятия по оздоровлению окружающей среды:

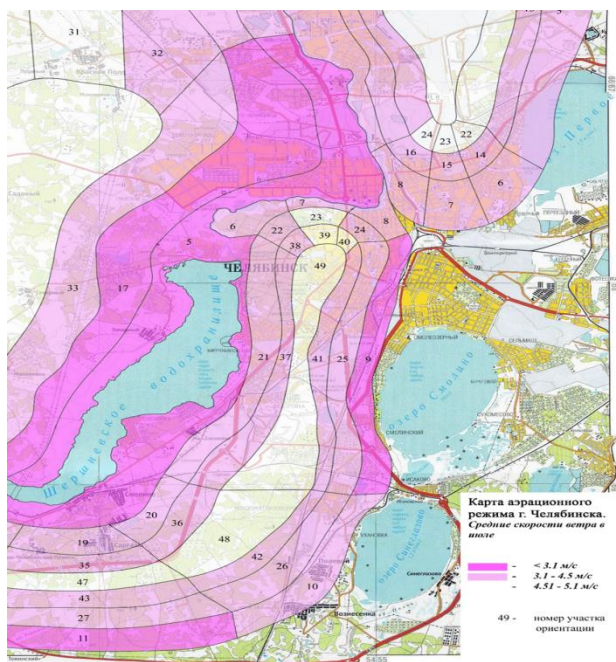


Рис. 1. Карта аэрационного режима г. Челябинска. Средние скорости ветра в июле [7]

**В местах с пониженными скоростями ветра** необходим комплекс мероприятий по интенсификации проветривания. К таким мероприятиям относятся:

- в условиях проектируемой застройки возможно использование естественного ветростимулирующего рельефа, например использование открытых пространств (полей, акваторий), не создающих преград для естественного проветривания;

- разрежение плотности имеющейся застройки (снос ветхого фонда) с созданием большего количества свободных пространств для беспрепятственного движения воздушных масс;

- при проектировании новых жилых микрорайонов необходимо располагать здания параллельно направлениям господствующих ветров, тем самым раскрывая застройку микрорайона в сторону набегающего воздушного потока;

- исключить при проектировании протяженных фронтов многоэтажных зданий путем их замены на дома башенного типа или с открытым первым этажом на стойках;

- рекомендуется максимально увеличивать разрывы между торцами зданий для исключения потери скоростных характеристик ветра и для исключения образования зон турбулентности;

- зеленые насаждения необходимо делать более раскрытыми в сторону ветра.

**В местах с повышенными скоростями ветра** необходим комплекс мероприятий по ветрозащите:

- новые здания необходимо располагать перпендикулярно направлениям господствующих ветров, что в значительной степени способствует снижению скорости ветра;

- расположение зданий под углом к направлениям ветров также снижает скорости ветра, но незначительно;

- создание лесополосы густо посаженных деревьев хвойных пород также способно на значительной площади снизить скорость воздушного потока;

- для локальных участков густо посаженные зеленые насаждения также усиливают эффект по снижению скорости ветра, при этом являются важнейшим элементом благоустройства;

- в условиях проектируемой застройки возможно использование естественного ветрозащитного рельефа – возвышенностей, закрывающих застройку от сильных ветров, естественной зоны плотной лесополосы для соответствующих районов;

- использование ветрозащитных экранов в виде широкоформатных рекламных щитов;

Мероприятия по оздоровлению окружающей среды с точки зрения ветрового режима непосредственно ведут к улучшению качества жизни горожан и созданию более благоприятных условий жизнедеятельности. Следовательно, главная цель градостроительного проектирования – обеспечение экологической безопасности города с учетом аэрационных режимов воздуха достигается в более полной мере.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Серебровский Ф.Л. Аэрация населенных мест. М.: Стройиздат, 1985. 172 с.
2. Реттер Э.И. Архитектурно-строительная аэродинамика. М.: Стройиздат, 1984. 294 с.
3. Чистякова С.Б., Чернавская М.М., Коваленко Л.Г. Рекомендации по учету природно-климатических факторов в планировке, застройке и благоустройстве городов и групповых систем населенных мест. М.: ЦНИИПградостроительства, 1980. 139 с.



4. Оленьков В.Д. Аэрационный режим застройки, располагаемой на природном и техногенном рельефе // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. М.: 2001. № 1(24). С. 20–21.

5. Оленьков В.Д. Нарушенные территории в градостроительстве: восстановление, использование, аэрационный режим. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. 192с.

6. Оленьков В.Д., Колбин Д.С. Аэрационный режим города и его учет в градостроительном проектировании // Строительство и образование. Екатеринбург, 2011. С. 71–74.

7. Оленьков В.Д., Пронина А.А. Оценка аэрационного режима города при решении проблем градостроительной безопасности // Журнал «Градостроительство» №6. М.: ЦНИИП градостроительства РААСН, 2014. С. 25–28.

8. Шукуров И.С. Развитие и метаболизм города Хартума: пространственное проектирование прибрежной территории Голубого и Белого Нила // Материалы междунар. /НПК International conference on sustainable cities 19th – 20th May, 2016–Web of Science 19-20 мая 2016 Уральский федерал. унив-т. г Екатеринбург

9. Шукуров И.С. Аэродинамическое моделирование при изучении запыленности воздуха жилой застройки Дамаска // Вестник гражданских инженеров. 2016. №6. С. 91–96.

10. Шукуров, И.С. Вклад урбанизированных территорий Хартума в изменение микроклимата прибрежной полосы голубого и белого Нила // Научное обозрение. 2016. № 6. С. 61–64.

11. Шукуров И.С. Влияние Голубого и Белого Нила на градоэкологию прибрежных урбанизированных территорий Хартума // ПГС. 2016. № 3. С. 15–19.

---

**Shukurov I.S., Olenkov V.D., Paikan W., Amanov R.M.**

**ENSURING THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF CITIES, TAKING BY ACCOUNT THE AERATION MODE OF AIR**

*The investigation of the flow of various forms of relief and urban planning by the wind flow allows one to obtain an estimate of the wind regime and, on its basis, develop recommendations for improving the aeration mode of urban areas. In order to predict the aeration mode in the territory of the projected or reconstructed cities, we studied the process of airflow transformation as a result of its interaction with the terrain and anthropogenic landscape. As a result of comparing the wind speeds on the map of the aeration mode of the city with the comfort criteria for the wind regime, it is possible to draw quite specific conclusions about the extent to which the territory meets or does not meet the comfort criteria for a person.*

*Activities to improve the environment from the point of view of the wind regime directly lead to an improvement in the quality of life of citizens and the creation of more favorable conditions for life.*

*Therefore, the main goal of urban planning - ensuring the environmental safety of the city, taking into account aeration modes of air is achieved in fuller.*

**Key words:** aeration, aeration mode, wind regime, urban area, relief, model, similarity/

---

**Шукуров Илхомжон Садриевич**, доктор технических наук, советник РААСН, профессор, кафедра «Архитектура и Градостроительство».

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.

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

Email: Shukurov2007@yandex.ru

**Оленьков Валентин Данилович**, кандидат технических наук, советник РААСН, кафедра «Архитектура и Градостроительство».

Южно-Уральский государственный университет

Адрес: Россия, г. Челябинск

Email: centernasledie@mail.ru

**Пайкан Вахид**, аспирант, кафедра «Архитектура и Градостроительство».

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.

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

Email: wahid\_paikan@yahoo.com

**Аманов Райимжон Махмуджанович**, магистр.

Самаркандский государственный архитектурно-строительный институт.

Адрес: Узбекистан, г. Самарканд

Email: Shukurov2007@yandex.ru

Лебедев В.М., канд. техн. наук, доц.,  
Мартынова Н.В., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ФОРМИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЗДАНИЙ

lebedev.lebedev.v.m@yandex.ru

Показана модель производственно-технологической функциональной системы, уровень которой определен количеством и качеством информационных процессов, используемых при формировании функциональных систем после построения всех конструктивных элементов зданий.

**Ключевые слова:** системокванты, функциональная система, информационный процесс.

Конструкционные и функциональные системы формируются при строительстве зданий на основе информационных процессов, которые начинают действовать при вводе объектов в эксплуатацию. [1, 2, 3, 4].

Функциональные системы строительных объектов-системы, сформированные для достижения заданного полезного результата (целевой функции) и включающие в свою структуру подсистемы: инженерно-технические (конструкции зданий, инженерное обеспечение, технологическое оборудование и др.), человеко-машинные (коллективы людей и отдельных исполнителей, использующих машины), организационно-технологические (организационные структуры, новые технологии и методы), социально-экономические (экономические и социальные взаимоотношения), а также организационно-информационные взаимосвязи между всеми указанными подсистемами [1, 2, 3, 4].

Состав и структура функциональных строительных систем формируются в процессе проектирования и подлежат сборке в период строительства в единый функционирующий строительный объект [1, 2, 3, 4].

Информационные процессы составляют внутреннее наполнение системоквантов системной архитектуры образующих их функциональных систем, включающие стадии афферентного синтеза, принятия решения, предвидения и оценки потребных результатов их деятельности, прямой и обратной афферентации [1, 2, 3, 4].

Системокванты функциональных систем строительных объектов состоят из информационных направляющих векторов на цель (результат) и материальных, энергетических и других ресурсных квантов, выполняющих материализацию обозначенной цели и обвивающих вектор по восходящим спиральям.

**Водообеспечения** функциональная система – система обеспечения функций водоснабжения (питьевого, технического и др.). Включает проектирование основных и вспомогательных объ-

ектов водообеспечения, изготовление материалов, труб, оборудования, прокладку и изоляцию трубопроводов, монтаж оборудования, эксплуатацию системы. Системообразующий фактор (целевая функция) – стабильное водообеспечение по проектным параметрам (рис. 1) [5–11].

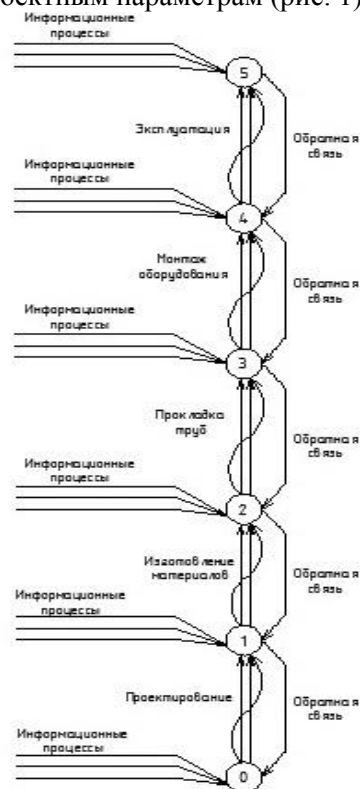


Рис. 1. Системокванты функциональной системы водообеспечения

- 0 → 5 – информационный направляющий вектор;
- кванты энергетических, материальных, трудовых и других ресурсов;
- 1-5 – промежуточные и конечная цели

**Водоотведения** функциональная система – система обеспечения функций водоотведения (канализационного, бытового, технического, ливневого и др.). Включает проектирование основных и вспомогательных объектов водоотведения, изготовление материалов, труб, оборудо-

вания, прокладку и изоляцию трубопроводов, монтаж оборудования, эксплуатацию системы. Системообразующий фактор (целевая функция) – стабильное водоотведение по проектным параметрам (рис. 2) [5–11].

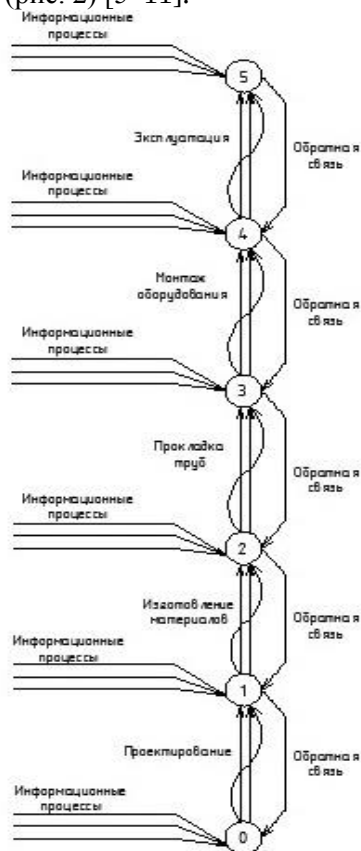
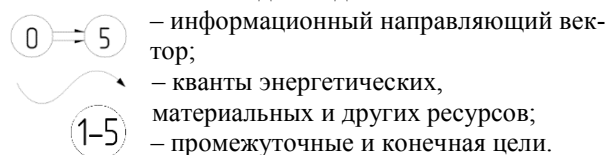


Рис. 2. Системокванты функциональной системы водоотведения



Теплотехническая функциональная система – система обеспечения функций теплоснабжения. Включает проектирование отопления и охлаждения воздуха, изготовление отопительного и охладительного оборудования, трубопроводов, воздухопроводов, их монтаж, изоляцию, эксплуатацию. Системообразующий фактор (целевая функция) – стабильное обеспечение теплоснабжения по проектным параметрам (рис. 3) [5–11].

Электротехническая функциональная система – система обеспечения функций электроснабжения (осветительного, силового, слаботочного и др.). Включает проектирование электроосвещения и силовых подводов, телефонизации и оптоволоконных проводок, линий интернет и интеллектуализации объекта, изготовление и монтаж электрооборудования, его эксплуатацию. Системообразующий фактор (целе-

вая функция) – стабильное электрообеспечение по проектным параметрам (рис. 4) [5–11].

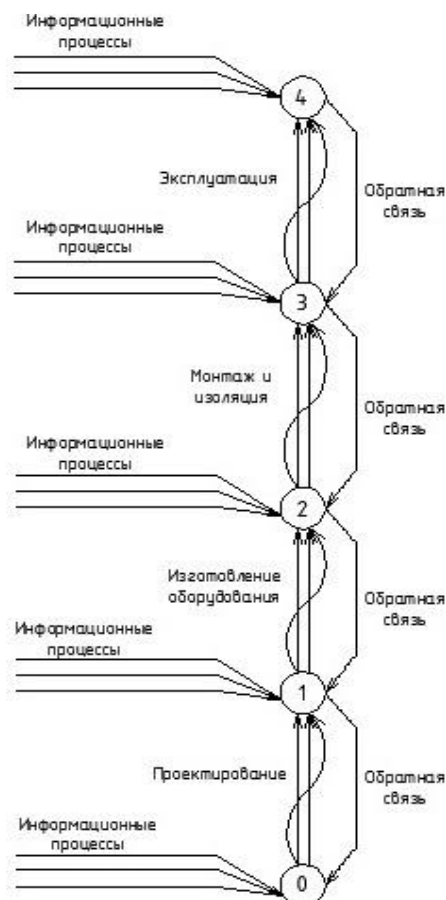
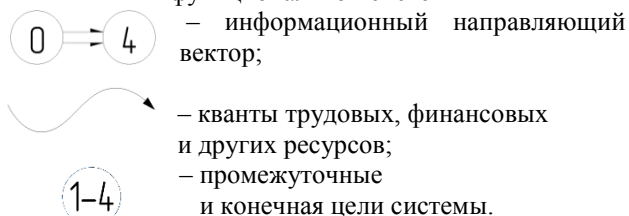


Рис. 3. Системокванты теплотехнической функциональной системы



Производственно-технологическая функциональная система – система обеспечения функций технологии основного производственного процесса в здании или сооружении (проживание людей, проведение досуга, учебы, медицинского обслуживания, выпуска различной продукции, машин, оборудования и т.д.). Включает проектирование технологического процесса и согласование задания на строительную часть проекта (здания или сооружения) изготовление технологических материалов, конструкций, оборудования и оснастки, их монтаж и наладку, эксплуатацию системы и контроль за производственными параметрами. Системообразующий фактор (целевая функция) – стабильное соблюдение тех параметров производственного процесса, которые зависят от строительных функциональных систем и объекта в целом (рис. 5) [5–11].

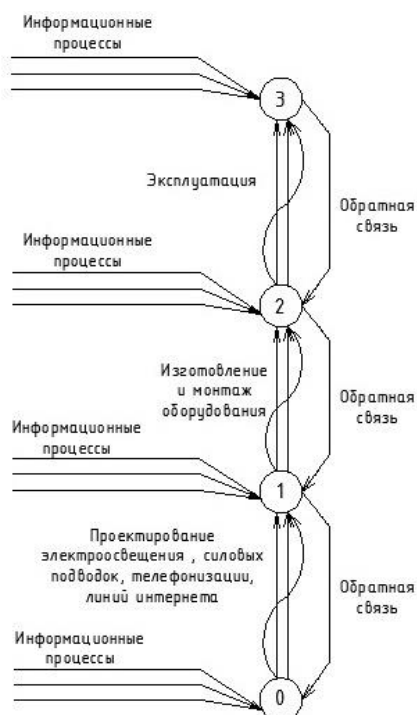


Рис. 4. Системокванты электротехнической функциональной системы

0 → 3 – информационный направляющий вектор;  
 – кванты материальных, энергетических и других ресурсов;

1-3 – промежуточные и конечная цели.

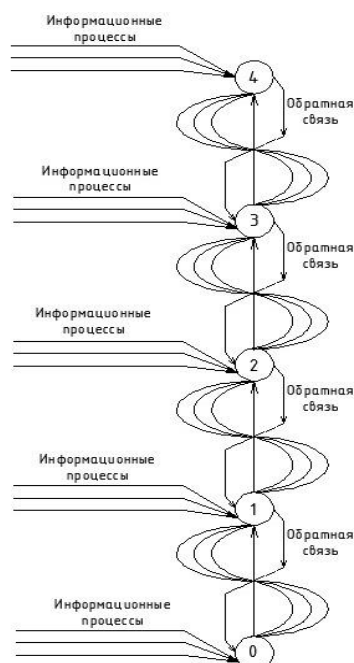


Рис. 5. Моделирование производственно-технологической функциональной системы с использованием

0 → 4 – информационный направляющий вектор;  
 – кванты материальных и трудовых ресурсов;  
 1-4 – промежуточные и конечная цели системы.

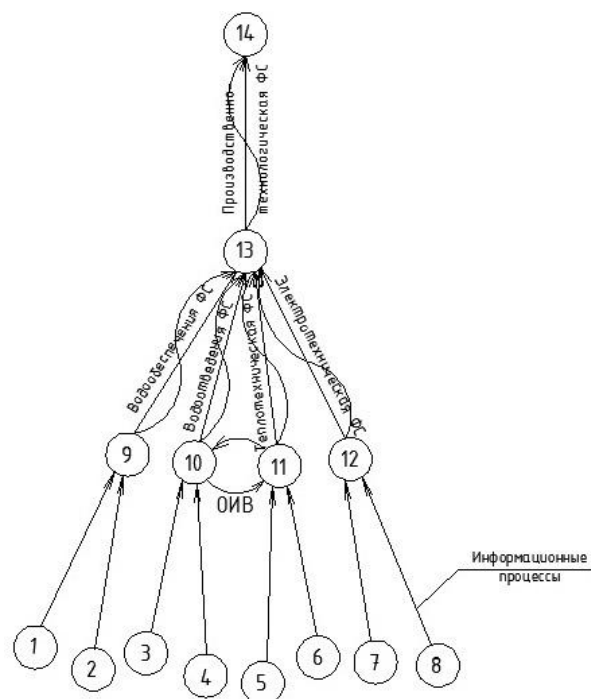


Рис. 6. Дерево целей формирования производственно-технологической функциональной системы

1-8 – информационные процессы; 9-13, 10-13, 11-13, 12-13 – водообеспечения (В), водоотведения (ВО), электротехническая (Эл), теплотехническая (Т) функциональные системы (ФС); 13-14 – производственно-технологическая функциональная система (ФС) 10-11, 11-10 – организационно-информационные взаимосвязи (ОИВ) между функциональными системами и информационными процессами.

– кванты материализации информационных процессов;

– системокванты функциональных систем

Наилучшее графическое отображение развития строительных процессов и объектов получается с применением системоквантов в виде информационных векторов, обвиваемых квантами процессов по восходящим спиральям, показывающих движение в пространственно-временном континууме и позволяющих применять средства вычислительной техники при разработке и внедрении в строительном производстве.

Внедрение системоквантов строительных процессов при организационно-технологическом проектировании строительства объектов и комплексов в значительной степени способствовало вводу их в эксплуатацию в директивные сроки в условиях минимально-необходимой достаточности ресурсов.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Волков А.А., Лебедев В.М. Системокванты технологических процессов строительства объектов // Вестник МГСУ. 2011. №1. 281–286с.
2. Системотехника строительства. Энциклопедический словарь. Под редакцией А.А. Гусакова. М.: Изд-во АСВ, 2004. 320с.
3. Анохин П.К. Избранные труды: кибернетика функциональных систем. Под ред. К.В. Судакова. Сост. В.А. Макаров. М.: Медицина, 1998. 400с.
4. Анохин П.К. Избранные труды. Философские аспекты теории функциональной системы. М.: Изд-во «Наука», 1978. 400 с.
5. Лебедев В.М. Системотехника строительства и формирования функциональных систем зданий. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. 165с.
6. Лебедев В.М. Системотехника возведения и формирования функциональных систем зданий. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. 205 с.
7. Лебедев В.М. Системотехника и системокванты строительного производства. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. 239 с.
8. Информационные модели функциональных систем. Под ред. К.В. Судакова и А.А. Гусакова. М.: Фонд «Новое тысячелетие», 2004. 304 с.
9. Лебедев В.М. Системотехника управления проектами строительства объектов и комплексов. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. 217с.
10. Лебедев В.М. Системокванты строительного-монтажной функциональной системы производства. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. 266 с.
11. Лебедев В.М. Системотехника управления проектами строительства. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. 263 с.

---

**Lebedev V.M., Martynova N.V.****INFOGRAPHIC MODELING OF THE PRODUCTION TECHNOLOGY OF THE FUNCTIONAL SYSTEM OF BUILDINGS**

*Determined the level of intelligence quantity and quality of information processes used in the formation of functional systems after the construction of all structural elements of buildings.*

**Key words:** *intelligence buildings, systemic quantum, functional, system, information process.*

---

**Лебедев Владимир Михайлович**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства.

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

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

E-mail: lebedev.lebedev.v.m@yandex.ru

**Мартынова Наталья Викторовна**, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства.

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

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

E-mail: mnv@fondgkh31.ru

## НАУЧНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦЕНТРОВ ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ НЕДЕЙСТВУЮЩИХ И УБЫТОЧНЫХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ДОНБАССА

[mrs.amourdaria@gmail.com](mailto:mrs.amourdaria@gmail.com)

*Статья посвящена разработке научно – методологических аспектов проектирования центров хранения и обработки данных на основе недействующих и убыточных угольных предприятий Донбасса. В ней освещены вопросы состояния архитектурно – планировочной нормативной базы, касающейся проектирования ЦХОД. Доказывается, что современный дата центр следует рассматривать в качестве нового отдельного типа сооружений, занимающего промежуточное положение между социальными и промышленными. Обосновывается, что угольное предприятие, исчерпавшее свой ресурс, является подготовленной промышленной площадкой для создания дата центра и вполне может удовлетворять требования к его проектированию и строительству.*

**Ключевые слова:** центры хранения и обработки данных, реновация промышленных территорий, закрытие угледобывающих предприятий, преобразование пространств, территориальное планирование, промышленная архитектура, реновация.

Создание центров хранения и обработки информации (ЦХОД) относится к категории наиболее интенсивно развивающихся и имеющих тенденцию к постоянному росту отраслей экономики [1]. При их размещении проектировщики сталкиваются с целым рядом проблем, например, таких, как высокая стоимость земли, повышенная плотность застройки, необходимость обеспечения безопасности, сложность, а иногда и невозможность обеспечить стабильное энергоснабжение в условиях перегруженности электросетей, трудность обеспечения эффективного охлаждения энергоемкого оборудования.

На сегодняшний день мировая практика проектирования ЦХОДов еще не располагает достаточно обширным опытом, построено не так много крупных центров хранения и обработки данных для того, чтобы провести статистическую обработку, однако некоторые стандарты и правила проектирования уже сформировались.

Целью настоящего исследования является расширение научно обоснованной методической базы для решения целесообразности и способа реновации исчерпавших свой ресурс угольных предприятий в центры хранения и обработки данных, выбора оптимальных путей их проектирования.

Основным наиболее полным и авторитетным регламентирующим документом проектирования ЦХОД является стандарт TIA/EIA-942 (Telecommunications Infrastructure Standards for Data Centres) [2].

Однако следует отметить, что TIA/EIA-942 достаточно сложно применить в условиях стран СНГ, где еще не существует государственного стандарта подобного рода. Имеющая отношение

к возведению подобного рода сооружений документация практически не изменялась со времен СССР и была разработана для вычислительных центров принципиально другого, к настоящему времени технологически и морально устаревшего типа. Близкими к сегодняшним потребностям отечественных проектировщиков ЦХОД являются справочное пособие к СНиП 2.08.02-89 «Общественные здания и сооружения», СН 512-78 «Инструкция по проектированию зданий и помещений для электронно-вычислительных машин», типовые проекты 416-3-15.87 «Районный информационно-вычислительный центр 2 группы в железобетонных конструкциях» и 416-3-14.87 «Областной информационно-вычислительный центр 2 группы в железобетонных конструкциях». Строящиеся на этих территориях СНГ дата-центры оснащаются согласно требованиям к сооружениям связи, требования TIA/EIA-942 и ГОСТы серии 34 (касающиеся электронных компонентов).

Необходимо отметить, что несмотря на наличие в указанной нормативной базе ряда хорошо разработанных элементов, которые можно применить для проектирования современных центров хранения информации, с точки зрения современных архитектурно-планировочных подходов, высокопроизводительные ЦХОД сегодняшнего дня приобретают качества промышленного объекта и перестают быть общественными зданиями (сооружениями), которые эта база регламентирует.

На наш взгляд, одним из основополагающих условий для разработки нормативной базы для создания ЦХОД является четкое формулирование и определение главных понятий и, в

первую очередь, их типологии. Здания и сооружения с элементами вычислительной техники за годы своего развития претерпели существенную трансформацию и уже не могут рассматриваться как единый тип. Например, суперкомпьютер военного назначения носит типичные признаки спецобъекта, компьютерный клуб или интернет – кафе – отдельный объект в комплексе с развлекательным центром и центром связи. Эта же схема показывает, что ЦХОД типологически нельзя отождествлять с объектом связи, вычислительным центром, не научно – исследовательским предприятием, и, тем более, не компьютерным клубом, либо игровым центром. Это совершенно особый тип строений с признаками производственного предприятия. Согласно стандарту, ТИА/EIA-942 с точки зрения проектирования под современным центром хранения и обработки данных следует подразумевать специализированное здание для размещения (хостинга) серверного и сетевого оборудования и подключения абонентов к каналам сети Интернет [3].

Таким образом, ЦХОД вообще перестают быть объектом общественного назначения и превращаются в спецобъект – т.е. особый тип строений. С позиций норм проектирования и строительства он носит все характеристики производственного здания (промышленного сооружения, объекта) за исключением санитарно-защитных зон, которые трансформируются в охранно-защитные зоны. Исходя из этого мы предлагаем рассматривать ЦХОД в качестве нового отдельного типа зданий, занимающего промежуточное положение между общественно-административными и промышленными объектами.

Проведенный нами анализ также показал, что у проектировщиков ЦХОД появились и другие проблемы, касающиеся архитектурно – планировочных аспектов. Главная из них – то, что мощность компьютеров значительно возросла. Результатом этого явилось повышенное выделение тепла и сложность в обеспечении оптимального климатического режима в помещениях с оборудованием. В связи с тем, что системы кондиционирования и воздухообмена – неотъемлемая часть ЦХОД, их обустройство составляет большую часть затрат на проектирование центра. Стал более актуальным и вопрос экологической безопасности и рационального использования ресурсов, что повлекло проектирование автономных дата-центров. Их мощности начинают планировать не только для обслуживания собственной системы, но и прилежащих жилых массивов.

Проектирование современных ЦХОД не остановилось на одной лишь автономности и пошло дальше, задействовав природные ресурсы. Современная практика показывает возможность их расположения на отметках ниже уровня земли. Это позволяет ввести в эксплуатацию подземное пространство, минимизировать затраты на строительство и рационально использовать его температурный режим для систем климатического контроля. Особенно эффективной эта идея может стать в высокоурбанизированных районах, характеризующихся дефицитом пространства [4].

Поиски способов повышения эффективности эксплуатации ЦХОДов и удешевления их строительства привели также к мысли об использовании отработавших свой ресурс уже готовых промышленных объектов и сооружений. Такое их расположение позволило более широко использовать дешевые природные источники холода, удешевить защиту центров от нападения, стихийных бедствий и неблагоприятных воздействий внешней среды путем их расположения, например, в горных выработках, шахтах. Преобразование промышленных предприятий в ЦХОД, а также их реконструкция и техническое перевооружение – серьезная не только экономическая, но и архитектурная проблема.

На наш взгляд, одним из перспективных компромиссов при решении проблемы повышения эффективности ЦХОД путем реновации промпредприятий является их создание на базе производственного комплекса недействующих или выработавших свой ресурс предприятий угольной промышленности (Заявка на полезную модель «Способ реновации промзоны угольных шахт, исчерпавших свой ресурс» от 30. 05. 2016, регистрационный номер u 201605812).

Главным аргументом для принятия такого направления в градостроительстве и архитектуре мы считаем совмещение уменьшения затрат на постройку ЦХОД и снижение расходов на закрытие исчерпавших свой ресурс угольных предприятий. На сегодняшний день процесс закрытия шахт требует больших бюджетных расходов. Например, в среднем, на ликвидацию одной средней шахты на Донбассе уходит 143 млн. гривен [5, 6].

Использование угольных предприятий в новой функции открывает возможности в значительно более короткие сроки и с более низкими затратами проводить преобразование промышленных территорий. В связи с этим промзоны закрывающихся шахт необходимо рассматривать как ценные и перспективные объекты, диверсификация которых – один из наиболее коротких и эффективных путей рационального



использования внутренних резервов. В то же время, важность и возможности процесса реновации угольных предприятий, в частности Донбасса, пока еще не оценены по достоинству. Их промзоны имеют ценные инфраструктурные компоненты, которые могут использоваться в дальнейшем при их реновации, но вместо этого нередко просто уничтожаются на вторсырье. По мнению ряда авторов, наиболее перспективной является диверсификация их деятельности с переходом на новый высокотехнологический уровень. Перспективна и комплексная реконструкция близлежащих территорий для создания многофункциональной развитой городской среды. При правильном планировании подвергшиеся реновации промзоны закрывающихся угольных предприятий могут стать катализаторами развития современного города в соответствии с его запросами и стратегическими целями [7, 8, 9].

Проведенный нами критериальный анализ соответствия обязательных компонентов инженерно - архитектурной инфраструктуры угольной шахты архитектурно – планировочным требованиям к размещению ЦХОД показал следующее. Шахтные производственные комплексы имеют большую территорию, нередко в городской черте, которая дает возможность просторного размещения элементов комплекса крупного ЦХОД и перспективного расширения объекта. На ней расположены копры, имеющие, как правило, большую высоту, которые являются практически готовым удобным местом для расположения телекоммуникационной аппаратуры и систем видеонаблюдения ЦХОД. Архитектура инженерной инфраструктуры шахтного производственного комплекса вполне удовлетворяет возможность поэтапного масштабирования ИТ-инфраструктуры на длительный период. При соответствующей реконструкции она может обеспечить полную физическую безопасность оборудования с размещенной на нем информацией (защита от пожара, воды и противопожарной жидкости, электромагнитного излучения, несанкционированного доступа, вандализма, пыли, дыма, падающих обломков).

Очень мощная система вентиляции шахты может быть адаптирована для охлаждения оборудования. С той же целью может быть применена имеющаяся система компрессоров и охладительных устройств. Наиболее распространённый тип последних — градирни и брызгальные бассейны. В зданиях калориферных установок шахт содержится оборудование, подогревающее подаваемый в шахту холодный воздух. Многие шахтные производственные комплексы имеют собственные водоемы (отстойники, источником которых являются грунтовые воды) или распо-

лагаются вблизи существующих водоемов, воду из которых можно использовать в не предъявляющих высоких требований к качеству системах охлаждения и, тем самым, решать проблему откачки шахтных вод.

На случай избыточно низких температур окружающего атмосферного воздуха могут быть применены котельные, которые, как правило, располагаются в отдельно стоящих зданиях.

Так как стабильное и мощное энергоснабжение — один из ключевых моментов, обеспечивающих надежность функционирования дата — центров, привлекательно то, что при строительстве шахт применяется не менее двух цепей воздушных линий, рассчитанных на повышенные ветровые и гололедные нагрузки. Кабельные линии, идущие от разных источников, проложены по отдельным трассам. Секции шин получают питание от независимых источников.

Электроподстанции на промышленных площадках шахт — преимущественно строения закрытого типа в виде отдельных зданий или секций. Общая их компоновка определяется схемой размещения трансформаторов, масляных выключателей и др.

Существующие на территории шахтного двора отдельно стоящие здания, по своей предыдущей функции ненужные для работы ЦХОД (например, склады сыпучих, складочных крепёжных материалов) могут быть использованы для расположения в них оборудования, обеспечивающего бесперебойное питание — генераторов, аккумуляторных батарей. Имеются готовые помещения для хранения оперативного запаса топлива для них.

Для бесперебойного электроснабжения ЦХОД и снижения энергетической зависимости могут быть применены солнечные батареи, которые удобно расположить на шахтных терриконах. Имеется возможность размещения аккумуляторного хозяйства ЦХОД в подземных выработках, что за счет постоянной температуры и влажности в них может продлить сроки их эксплуатации.

Экономически целесообразным может оказаться использование шахтного метана для питания автономной электростанции.

Шахтные ремонтные электромеханические мастерские размещены обычно в отдельных зданиях или объединены со складским хозяйством шахты. В составе складского хозяйства шахты имеются склады горюче-смазочных материалов для хранения и выдачи масел, расходных при эксплуатации шахтного оборудования, склады сыпучих, складочных крепёжных материалов.

Под машинный зал ЦХОД целесообразно переоборудовать административно-бытовой комбинат шахты. Его площадь и планировка вполне достаточна для размещения крупного IT предприятия (площадь под один шкаф обычно составляет 2,7 м<sup>2</sup>), высота потолков не меньше 4,5 м., максимально допустимая нагрузка на перекрытие – 1200 кг/м<sup>2</sup>. Эти помещения как правило имеют периметру капитальные стены, перегородки и перекрытия, т.е. выполнены из полнотелой кирпичной или каменной кладки толщиной не менее 500 мм, бетонных стеночных блоков толщиной 180 мм, железобетонных панелей толщиной не менее 180 мм.). Перед этим зданием как правило имеются пространства для парковки автотранспорта.

Поскольку согласно нормативным требованиям все шахтные дворы имеют огражденную санитарно-защитную зону, ее можно задействовать для обеспечения безопасности ЦХОД. В градостроительном аспекте предусмотрена их близость к пункту (посту) пожаротушения или какому-либо объекту МЧС.

Немаловажным фактором является и то, что шахтные производственные комплексы имеют подъездные пути в виде автодорог с твердым покрытием, интегрированных в структуру транспортной сети района размещения.

Приведенные сведения указывают на то, что с архитектурно – планировочных позиций угольное предприятие (шахта), исчерпавшее свой ресурс, является подготовленной промышленной площадкой для создания ЦХОД и вполне может удовлетворять требования к его проектированию и строительству. При этом реновация шахтной территории с перепрофилированием ее под дата-центр, укрепляя градостроительный каркас городов Донбасса, понижает класс вредности предприятия и потенциально обеспечивает социально-трудовой аспект [11].

**Выводы.** Проведенное нами исследование показало, что современный ЦХОД относится к особому типу зданий и сооружений. Типологически его следует рассматривать в качестве нового отдельного типа сооружений, занимающего промежуточное положение между общественным и промышленным зданием и сооружением, отличающийся низкой опасностью, токсичностью, но энергоемкий.

С точки зрения современных архитектурно-планировочных подходов, высокопроизводительные ЦХОД сегодняшнего дня приобретают качества промышленного объекта и перестают быть общественными зданиями (сооружениями), которые эта база регламентирует. На современном этапе развития ЦХОД подход к их проектированию требует переосмысления, переработки

и обновления существующих в СНГ строительных норм и правил с интеграцией в них международных стандартов типа TIA/EIA-942.

В мировой практике определяется четко выраженная тенденция к удешевлению эксплуатации центров за счет применения природных источников холода, расположения их под землей, а также в регионах с низкими температурами воздуха и воды.

Использование оставшейся после закрытия угольной шахты развитой инфраструктуры открывает перспективы в значительно более короткие сроки и с более низкой стоимостью проводить реконструкцию, чем новое строительство. Угольное предприятие, исчерпавшее свой ресурс, является подготовленной промышленной площадкой для создания ЦХОД и вполне может удовлетворять требования к его проектированию и строительству.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Москаленко А. Стойко-место // Бизнес-журнал. №10. 2015. С. 56–58.
2. TIA-942. Telecommunications Infrastructure Standards for Data Centres. April 12, 2005. Arlington, VA: Telecommunications Industry Association, Standards and Technology Department, 2005. 148 p.
3. Michael Bullock/ Data Center Definition and Solutions , Michael Bullock [Текст]/ CIO, Aug 14, 20094. "Sperling, Ed. "Next-Generation Data Centers," Forbes, March 15. 2010". Forbes.com. Retrieved 2013-08-30
5. Плакиткина, Л.С. Современное состояние и тенденции развития угольной промышленности в странах бывшего СССР // Горная Промышленность. 2012. №5. С. 4.
6. Старкова Н.В., Грин И. Ю. Эффективные методы комплексного подхода к реновации промышленных территорий // Новые идеи нового века. Современные тенденции и проблемы развития и реконструкции в архитектуре и градостроительстве. 2015. Том 2. С. 231–233.
7. Australia New Zealand Minerals and Energy Council Submission to the House of Representatives Inquiry into increasing value adding to Australian Raw Materials December 1999. P. 1–19.
8. Егорушкина, Т. Н. Обоснование направлений диверсификации предприятий угольной промышленности: автореф. дис. канд. экон. наук: 08.00.05. Тула: 2002. 24 с.
9. Palmer, Marilyn Industrial Archaeology: A Handbook / Marilyn Palmer, Mike Nevell, Mark Sissons. United Kingdom : Council for British Archaeology, 2012. –304 p.

10. Джерелей Д.А., Великохатко С.В. Социально – экономические аспекты реновации угольных предприятий путем размещения цен-

тров обработки данных // Журнал Экономика строительства и городского хозяйства – Макеевка: ДонНАСА. 2015. Т. 11. № 4. С 165–171.

---

**Djereley D.A.**

**SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL ASPECTS OF THE DESIGN OF CENTERS OF DATA STORING AND PROCESSING ON THE BASIS OF INACTIVE AND UNPROFITABLE COAL-MINING ENTERPRISES OF DONBASS**

*The article is devoted to the development of scientific and methodological aspects of the design of centers of data storing and processing. It highlights the issues of state architectural and planning regulatory framework for the design of centers of storing and processing data. It is proved that a modern data center should be considered as a new separate type of structure, occupying an intermediate position between social and industrial one. It is shown that the coal company, is exhausted, is prepared industrial site to create a data center and may satisfy the requirements for its design and construction.*

**Key words:** centers of data storage and processing, renovation of industrial areas, closure of coal mines, transformation of spaces, spatial planning, industrial architecture, renovation.

---

**Джерелей Дарья Александровна**, ассистент кафедры «Архитектурного проектирования и дизайна архитектурной среды»

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры.

Адрес: 286123, Донецкая область, г. Макеевка, ул. Державина, 2.

E-mail: mrs.amourdaria@gmail.com

Кононова О.Ю., ст. препод.,  
Андреева Н.В., канд. физ.-мат. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ АНОМАЛИЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ С РЕДУКЦИЯМИ В ПРОГРАММНОМ ПРОДУКТЕ SURFER

oksana171289@mail.ru

*Определение ускорения силы тяжести на поверхности Земли и ее аномалии является довольно трудоемким процессом (измерение силы тяжести, обработка данных, учет аномалий, учет требований к снятию показаний приборов, учет климатических и погодных условий, учет техногенных факторов и т.п.). Моделирование в программе SURFER позволяет представить физическую поверхность Земли с учетом аномалий силы тяжести и редукции аномалий силы тяжести по полученным на практике экспериментальным данным. Строительство современных высотных зданий и прецизионных сооружений требует проведения геодезических работ высокой точности. Повышенная точность требуется и при мониторинге деформации таких сооружений при повреждениях зданий и не только. Определение координат точек требует определенной точности, в связи с чем необходимо учитывать неоднородность гравитационного поля. Накопление и учет подобных данных позволяет отслеживать долгопериодические и короткопериодические процессы, влияющие на вид и форму физической поверхности Земли, а также возможный прогноз деформационных явлений. В работе представлен расчет редукции аномалий силы тяжести на малом количестве расчетных точек Белгородской области и города Белгорода с представлением 3D карты поверхности.*

**Ключевые слова:** моделирование, сила тяжести, аномалии силы тяжести, физическая поверхность Земли, прикладная геодезия

Силу тяжести на поверхности Земли можно представить как равнодействующую двух сил: силы притяжения (направленная к центру массы Земли), и центробежной силы (направленная перпендикулярно к оси вращения Земли). Форма тела Земли представляет собой эллипсоид вращения. Сила притяжения у полюсов больше, чем в других местах, и уменьшается к экватору, в связи с тем, что Земля сплюснута вдоль оси вращения. Центробежная сила противодействует силе притяжения, вследствие чего сила тяжести на поверхности Земли уменьшается при переходе от полюсов к экватору. Разница в ускорении силы тяжести между географическими полюсами и экватором составляет  $g_{90} - g_0 = 983,2 - 978,0 = 5,2 \text{ м/с}^2$ . Около 2/3 этой разности возникает за счет центробежного ускорения на земном экваторе и около 1/3 – за счет сплюснутости Земли [1, 2].

Результаты измерений ускорения силы тяжести (ускорения свободного падения) в различных точках земной поверхности показывают отклонения (возмущения) силы тяжести по сравнению с ее нормальным ходом, соответствующим эллипсоиду. Это есть аномалии силы тяжести и объясняются они тем, что строение земной коры неоднородно по вертикальной (видимые наружные массы: горные массивы, котловины добычи полезных ископаемых и т.п.) и горизонтальной составляющей силы тяжести (различие состава земных пород, их плотностей и т.п.) [1, 2]. Поэтому сила тяжести и вызываемое

ею ускорение свободного падения на полюсе больше, чем на экваторе ( $g = 9,832 \text{ м/с}^2$  на полюсе и  $g = 9,780 \text{ м/с}^2$  на экваторе).

Строительство современных высотных зданий и прецизионных сооружений требует проведения геодезических работ высокой точности. Повышенная точность требуется и при мониторинге деформации таких сооружений при повреждениях зданий и не только [2]. Определение координат точек требует определенной точности, в связи с чем необходимо учитывать неоднородность гравитационного поля [5]. Современные методы измерения ускорения силы тяжести делятся на две категории: статистические и динамические методы. В статических методах тело, участвующее в измерениях, находится в момент измерения, т.е. в момент фиксации соответствующего отсчета, в покое; измеряются смещение тела или давление, вызванное весом тела [2, 4]. Приборы, служащие для измерения силы тяжести статическим методом, называются гравиметрами. Следует заметить, что измерения ускорения силы тяжести относятся к числу весьма точных измерений, требующих исключительно внимательного подхода при их выполнении и учете воздействия разнообразных факторов (температуры, влажности, и т.п.), которые могут оказывать влияние на точность результатов наблюдений [5].

В динамических методах наблюдают движение тела в гравитационном поле. К таким методам относятся маятниковые измерения. Маят-

никовые измерения - относительный метод, позволяющий определить ускорение силы тяжести между гравиметрическими пунктами. Он основан на наблюдении свободных колебаний одного и того же маятника на разных пунктах. Преимуществами таких измерений являются: независимость результатов измерений, точность, независимость от продолжительности гравиметрического рейса и от сложности поля [2]. Маятниковый способ используется для эталонирования статистических гравиметров, для создания редкой сети опорных пунктов с целью осуществления контроля измерений [3]. Экспериментально ускорение свободного падения таким способом можно определить при помощи математических и физических маятников в любых условиях в виду доступности оборудования.

Для сбора данных можно использовать тематический маятник, представляющий собой

шарик, подвешенный на нерастяжимой нити. Нить подвеса должна быть также невесомой и ее длина должна быть много больше линейных размеров тела, которое будет колебаться на нити. Определить период колебаний, а соответственно и ускорение свободного падения можно по формуле (1), которая справедлива при отклонениях подвеса на угол 5–7 градусов [2, 4].

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (1)$$

Это обусловлено тем, что значение синуса малого угла практически равно значению самого угла.

Измерения ускорения силы тяжести, произведенные при разных произведенные при разных длинах маятника (1,21 м и 1,77 м), в различных высотных точках представлены в (табл. 1) [2].

Таблица 1

**Числовые значения длины маятника, высотной точки и соответствующего ускорения свободного падения**

| L, м  | H, м  | g, м/с <sup>2</sup> | Δg, %  |
|-------|-------|---------------------|--------|
| 1,224 | 177,0 | 9,8007              | 0,0078 |
| 0,679 | 177,0 | 9,2154              | 0,0239 |
| 1,224 | 200,0 | 9,9141              | 0,8018 |
| 0,679 | 200,0 | 9,3399              | 1,0564 |

Анализ данных показывает, что при уменьшении высоты над поверхностью земли ускорение свободного падения тоже уменьшается. При равной длине нити (L=1,224м) на высоте 200 м над уровнем моря имеем g=9,9141 м/с<sup>2</sup> и g=9,8007 м/с<sup>2</sup> на высоте 177 м; такую же зависимость имеем при меньшей длине нити (L=0,679м) на высоте 200 м над уровнем моря получили значение g=9,3399 м/с<sup>2</sup> и g=9,2154 м/с<sup>2</sup> на высоте 177 м.

При уменьшении длины нити маятника наблюдается уменьшение ускорения свободного падения. На высоте 200 м над уровнем моря, при длине нити равной 1,224 м мы получаем g=9,9141 м/с<sup>2</sup>, а при длине нити в 0,679 м g=9,3399 м/с<sup>2</sup>; на высоте 177 м над уровнем моря, при длине нити 1,224 м имеем g=9,8007 м/с<sup>2</sup> и соответственно при длине нити 0,679 м g=9,2154 м/с<sup>2</sup>. Исходя из этих данных мы можем сделать вывод о том, что изменение длины нити

и изменение величины ускорения свободного падения находятся в прямой зависимости [2].

На тела на поверхности Земли, движущиеся вокруг нее, движущиеся вокруг Солнца и т.д. действует сила тяжести. По определению, сила тяжести на поверхности планеты складывается из гравитационного притяжения планеты и центробежной силы инерции, вызванной суточным вращением планеты. Принимая Землю равновесным эллипсоидом вращения, значение силы тяжести можно вычислить по формуле, в которой постоянные нужно считать известными. Для того чтобы карты гравитационных аномалий, полученных разными авторами, можно было сравнивать и анализировать, необходимо, чтобы гравитационные аномалии вычисляли по одинаковым методикам [9]. По этой причине в августе 1971 года Международный Геофизический и Геодезический утвердил формулу 2 для нормальной силы тяжести [11]:

$$\gamma = 978031,85(1 + 0,0053024\sin^2\varphi - 0,0000059\sin^22\varphi) \quad (2)$$

При этом аномалии силы тяжести можно вычислить как разность между величинами действительной (измеренной) g и нормальной силы тяжести  $\gamma_0$  в пункте наблюдений.

Сила тяжести зависит от высоты точки наблюдения (все сухопутные определения силы

тяжести выполняются на разных высотах), что было показано в опыте выше, масс, лежащих между эллипсоидом и геоидом. Поверхность эллипсоида не совпадает с поверхностью уровня моря, поэтому развита теория приведения грави-

тационной аномалии (редукции) к одной и той же поверхности [9, 11].

Для учета поправок используют различные редукции (редукция Фая, редукция Буге, поправка за рельеф [7, 11, 12]. Аномалии в редукции Буге таковы, что в идеальном случае должны отражать только плотностные неоднородности в Земле. Однако есть свидетельства о том, что существует корреляция между средними аномалиями Буге и средними значениями высотных отметок. Более того, такой зависимости

не наблюдается для аномалий в свободном воздухе, то есть для аномалий Фая [10].

Смоделировать экспериментальные и расчетные данные можно в программном пакете Surfer [13], где можно по имеющимся данным (табл. 2 и табл. 3) построить карты изолиний высот (рис. 1) или же изолиний аномалий силы тяжести (рис 2 и рис 3). Возможно построение 3D модели поверхности, что облегчает наглядное представление изучаемой физической поверхности Земли (рис 4, рис.5 и рис 6).

Таблица 2

Вычисление аномалий силы тяжести в редукции за свободный воздух

| № т | В       | Н', м | h <sub>к</sub> , м | (Н'+h), м | g, мГал  | $\gamma_0$ | $\delta g_1$ , мГал | $\gamma$ , мГал | $\delta g_3$ , мГал | $\Delta g_{св.в.}$ , мГал |
|-----|---------|-------|--------------------|-----------|----------|------------|---------------------|-----------------|---------------------|---------------------------|
| 1   | 55,9167 | 129   | 0                  | 129       | 981584,2 | 981567,1   | -39,8               | 981606,9        | -                   | 56,9                      |
| 2   | 43,3000 | 3210  | 0                  | 3210      | 979473,1 | 980448,2   | -990,5              | 981438,7        | -                   | 15,4                      |
| 3   | 67,9833 | 0     | -3712              | -3712     | 982508,6 | 982469,5   | 0,0                 | 982469,5        | 160,2               | 39,2                      |
| 4   | 19,1500 | 0     | -250               | -250      | 978639,4 | 978571,4   | 77,2                | 978494,2        | 10,8                | 1,6                       |
| 5   | 43,5833 | 351   | 150                | 501       | 980465,5 | 980473,8   | 46,3                | 980427,5        | -                   | -54,5                     |
| 6   | 6,9333  | 7     | -28                | -21       | 978098,5 | 978091,2   | -2,2                | 978093,3        | 3,1                 | 12,6                      |

Таблица 3

Вычисление аномалий силы тяжести в редукции Буге

| № т | Н', м | h, м  | $\Delta g_{св.в.}$ , мГал | $\delta g_2$ , мГал | $\Delta g_b$ , мГал |
|-----|-------|-------|---------------------------|---------------------|---------------------|
| 1   | 129   | 0     | 56,9                      | -14,43466           | 42,5                |
| 2   | 3210  | 0     | 15,4                      | -359,1881           | -343,8              |
| 3   | 0     | -3712 | 39,2                      | 255,12764           | 294,3               |
| 4   | 0     | -250  | 1,6                       | 17,182627           | 18,8                |
| 5   | 351   | 150   | -54,5                     | -39,27571           | -93,8               |
| 6   | 7     | -28   | 12,6                      | -0,783276           | 11,9                |

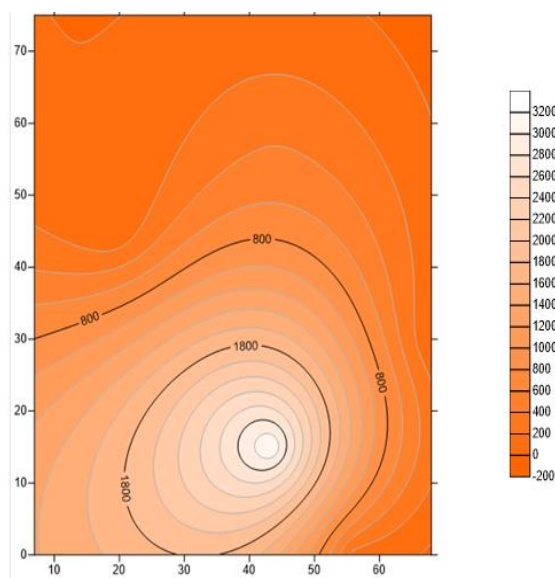


Рис. 1. Карта высот

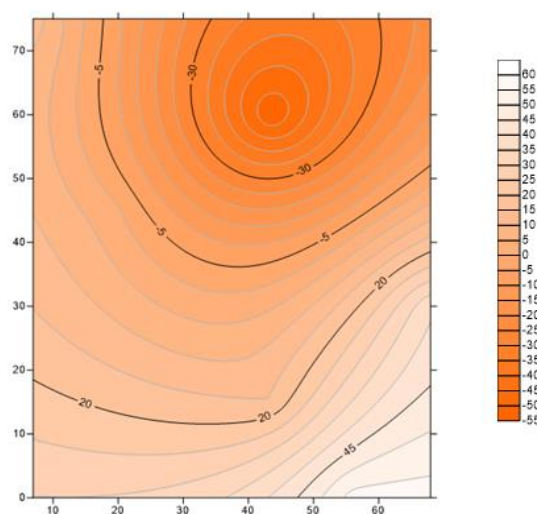


Рис. 2. Карта аномалий силы тяжести с редукциями в свободном воздухе

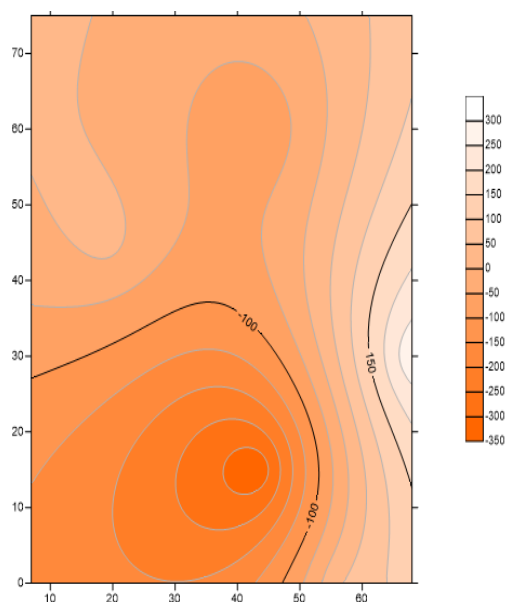


Рис. 3. Карта аномалий силы тяжести с редукциями в свободном воздухе

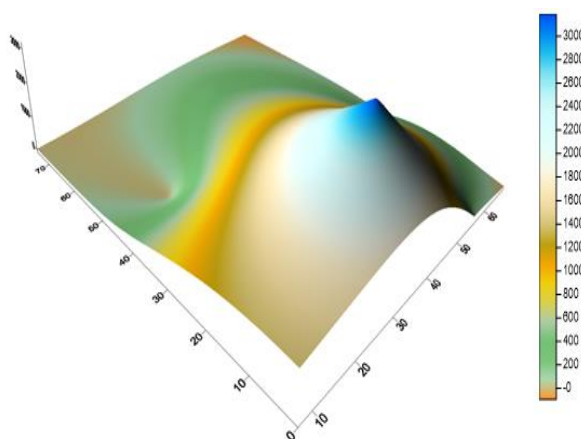


Рис. 4. 3D поверхность высот

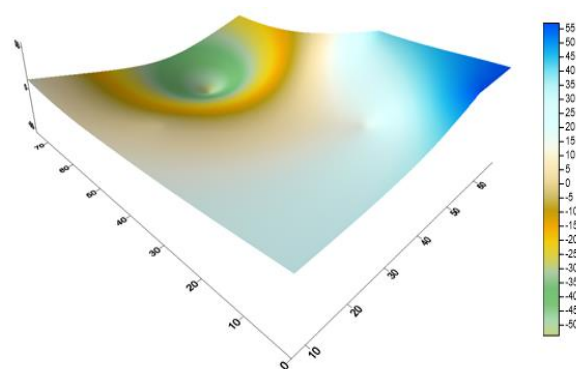


Рис. 5. 3D поверхность карты аномалий силы тяжести с редукциями в свободном воздухе

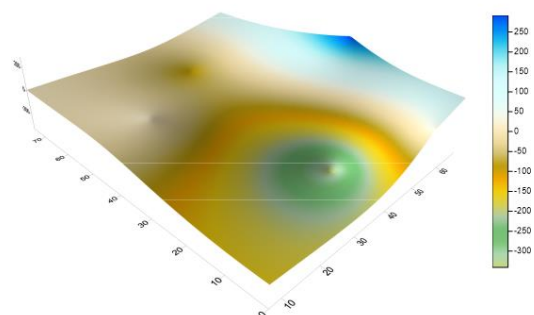


Рис. 6. 3D поверхность карты аномалий силы тяжести с редукциями Буге

Был произведен расчет аномалий силы тяжести с редукциями Буге и в свободном воздухе в точках рельефа Белгородской области и города Белгорода для того, чтобы проанализировать и отследить влияние рельефа на величину искомых поправок.

В таблице 4 представлены результаты вычисления поправок за редукцию Буге и в свободном воздухе. Для их вычисления нами были выбраны характерные точки рельефа города Белгорода.

Таблица 4

Поправки за редукцию Буге и в свободном воздухе для г. Белгорода

|  | Название               | B         | L         | $g + \Delta_{\text{св в}}$ | $g + \Delta_{\text{буге}}$ |
|--|------------------------|-----------|-----------|----------------------------|----------------------------|
|  | ул. Урицкого, 33А      | 50,646528 | 36,524201 | 983571,3414                | 983569,0821                |
|  | Белгород               | 50,646637 | 36,573061 | 983576,8322                | 983574,3594                |
|  | ул. Магистральная, 58  | 50,574189 | 36,533164 | 983771,7815                | 983770,4405                |
|  | п. Дубовое             | 50,532396 | 36,574593 | 98913,0516                 | 983910,59                  |
|  | ул. Дзержинского, 108  | 50,619180 | 36,654487 | 983645,748                 | 983644,0642                |
|  | ул. Н. Островского, 25 | 50,607142 | 36,585375 | 983680,5774                | 983679,0038                |

С топографической карты были взяты координаты и вычислены высоты (методом интерполяции). Аналогичным путем были вычислены и занесены в таблицу данные для Белгородской области (табл. 5) [12].

Полученные результаты предполагается использовать в плане накопления статистических данных и дальнейшего сравнения с действительной физической поверхностью Земли в исследуемом районе. Построение карт изолиний показывает распределение силы тяжести в ис-



следуемом районе с учетом аномалий и редукции имеющихся аномалий.

Таблица 5

**Поправки за редукцию Буге и в свободном воздухе для Белгородской области**

| Город      | B       | L       | H <sub>y</sub> | g м/с <sup>2</sup> | g св.в    | g буге    |
|------------|---------|---------|----------------|--------------------|-----------|-----------|
| Белгород   | 50.6106 | 36.58   | 173            | 9.8112176          | 981176.19 | 981174.25 |
| Ст.Оскол   | 51.2967 | 37.8417 | 139            | 9.8118258          | 981226.51 | 981224.95 |
| Грайворон  | 50.4767 | 35.6772 | 139            | 9.8110986          | 981153.80 | 981153.80 |
| Валуйки    | 50.2033 | 38.1067 | 90             | 9.8108553          | 981086.59 | 981086.59 |
| Алексеевка | 50.6308 | 38.6903 | 106            | 9.8112357          | 981157.32 | 981156.13 |
| Шебекино   | 50.4167 | 36.9167 | 105            | 9.8110452          | 981137.97 | 981136.79 |

По полученным данным, с помощью программного продукта Surfer, мы построили трехмерные поверхности, наглядно отражающие зависимость редукций Буге и свободного воздуха от рельефа местности. На рисунке 7 представлены цифровая модель рельефа участка Белгородской области и гравиметрическая карта для этого же участка, построенная по редукциям Буге и в свободном воздухе. На рисунке 8 изображена

цифровая модель рельефа города Белгорода, с наложенными на нее построениями редукций. Схемы наглядно отображают зависимость изменения аномалий силы тяжести от рельефа, которая имеет обратный характер: чем больше высота точки над уровнем моря, тем меньше значение аномалии, и наоборот, чем меньше высотная отметка, тем больше значение аномалии. Здесь прослеживается принцип изостазии [7].

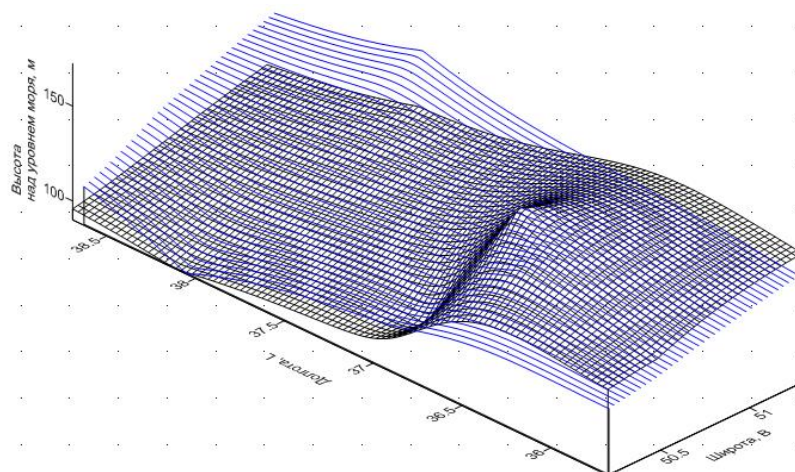


Рис. 7. Цифровая модель

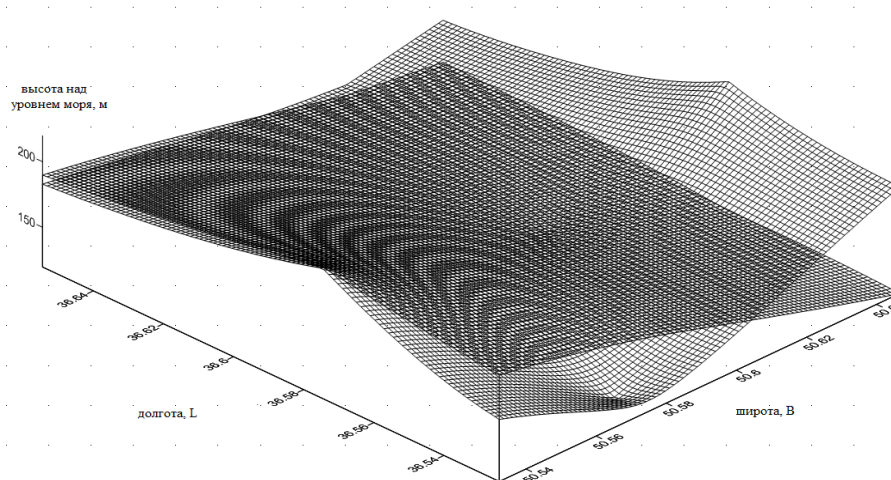


Рис. 8. Цифровая модель

При изучении земного поля силы тяжести установлена закономерная связь региональных аномалий Буге с наиболее крупными формами рельефа земной поверхности. Причем связь эта имеет обратный характер: над высокогорными областями материков аномалии обычно отрицательные, т. е. неожиданно фиксируют «недостаток масс» и достигают почти 500 мГал, а над глубоководными океаническими впадинами – положительные, т. е. фиксируют «избыток масс» и достигают также почти 500 мГал. Данный принцип продемонстрирован в статье на примере данных города Белгорода и Белгородской области [12].

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Петренко А.Н., Андреева Н.В. Суточное изменение ускорения свободного падения // Физика конденсированного состояния: материалы XXI международной научно-практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов (Гродно, 18-19 апреля 2013г., Гродно: ГрГУ, 2013. С.211–213.
2. Андреева Н.В., Баранова Я.Ю., Козлова Е.Р., Корнейчук М.А., Мартынова Н.С., Празина Е.А. Определение ускорения свободного падения маятниковым способом // Материалы VII международной научно-практической конференции: фундаментальные прикладные науки сегодня, 21-22 декабря 2015г. North Charlesron, USA, Том 3, С. 133–146.
3. Шароглазовой Г.А.. Учеб.-метод. комплекс для студ. спец. 1-56 01 02 «Геодезия» / Новополюцк: ПГУ, 2006 – 196 с.
4. Александров Н.В., Яшкин А.Я. Курс общей физики. Механика. М.: Просвещение, 1978, С. 334–335.
5. Андреева Н.В., Зими́на Д.А., Панченко П.А., Потапова А.С., Сорокоум Д.В., Фомина Н.Ю., Юнусов А.Д. Интеграция гравиметрии с задачами геодезии и геофизики // Материалы VI международной научно-практической конференции 21 век: фундаментальная наука и технологии, 20-21 апреля 2015г. North Charlesron, USA, Том 2, С. 139–142.
6. Короновский Н.В. Изостазия // Соросовский образовательный журнал. 2001. Том 7. С. 73–78.
7. Кузьмин В.И. Гравиметрия: учеб. пособие. Новосибирск: СГГА, 2011. 163 с.;
8. Огородова, Л. В., Шимбирев, Б. П., Юзефович, А. П. Гравиметрия. М.: «Недра», 1978, 325 с.;
9. Пантелеев, Л.В. Физика Земли и Планет: курс лекций. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2001г.;
10. Утёмов Э.В. Гравиразведка: пособие для самостоятельного изучения лекционного курса слушателей курсов повышения квалификации специальности «Геофизика». Казань: Казанский государственный университет, 2009. 25 с.
11. Юзефович А.П., Огородова, Л.В. Гравиметрия: Учебник для вузов. М.: Недра, 1980. 320 с.
12. Андреева Н.В., Баранова Я.Ю., Козлова Е.Р., Корнейчук М.А., Мартынова Н.С., Празина Е.А. Аномалии силы тяжести с редукциями Буге и в свободном воздухе в Белгороде и Белгородской области // Международная научно-практическая конференция. Наука и образование: отечественный и зарубежный опыт, Белгород, 2016 г.
13. Инструкция использования программного продукта Surfer.

**Kononova O.Yu., Andreyeva N.V.**

### DETERMINATION AND SIMULATION OF ANOMALIES OF GRAVITY WITH REDUCTIONS IN THE SOFTWARE PRODUCT OF SURFER

*Determination of an acceleration of gravity on the Earth's surface and its anomaly is quite labor-intensive process (measurement of gravity, data handling, the accounting of anomalies, the accounting of requirements to removal of indications of instruments, the accounting of climatic and weather conditions, the accounting of technogenic factors, etc.). Simulation in the SURFER program allows to provide the physical Earth's surface taking into account anomalies of gravity and a reduction of anomalies of gravity on the experimental data obtained in practice. Construction of the modern high-rise buildings and precision constructions requires carrying out geodesic operations of high accuracy. Enhanced accuracy is required also when monitoring deformation of such constructions in case of damages of buildings and not only. Determination of coordinates of points requires a certain accuracy in this connection it is necessary to consider non-uniformity of gravitational field. Accumulation and the accounting of similar data allows to monitor the long-period and short-period processes influencing by sight and the form of the physical Earth's surface, and also the possible forecast of the deformation phenomena. In operation calculation of a reduction of anomalies of gravity on small quantity of estimated points of the Belgorod region and the city of Belgorod about submission of the 3D map of a surface is provided.*

**Key words:** simulation, gravity, anomalies of gravity, physical Earth's surface, application-oriented geodesy.

**Кононова Оксана Юрьевна**, старший преподаватель кафедры городского кадастра и инженерных изысканий.  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
E-mail: oksana171289@mail.ru

**Андреева Наталья Владимировна**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры городского кадастра и инженерных изысканий.  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
E-mail: natzlobina@yandex.ru

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА НА БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ НАБИВНОЙ СВАИ ПО ПРОЧНОСТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ГРУНТА

gkadastr@mail.ru

Оценка несущей способности свай – актуальная задача современного фундаментостроения. Полевые методы оценки несущей способности свай являются дорогостоящей и не всегда выполнимой задачей. Существующая методика расчета несущей способности свай предполагает использование показателя консистенции  $I_L$  для определения сил сопротивления со стороны грунта. При одинаковых показателях консистенции грунты могут иметь различные показатели прочности. В статье рассматривается возможность использования прочностных характеристик грунта для более точной оценки несущей способности свай. Особенно актуально решение для буронабивных свай.

**Ключевые слова:** свая, буронабивная свая с уширением, удельное сцепление, коэффициент внутреннего трения, сопротивление грунта.

Сопротивление грунта по боковой поверхности ствола буровой сваи  $f$  формируется за счет горизонтальных радиальных напряжения  $P$ , возникающих вокруг ствола при изготовлении сваи, и дополнительных напряжений  $P'$ , появляющихся при её загрузке. Это сопротивление для каждого слоя грунта, прорезаемого свайей, может быть вычислено, с учетом его линейной зависимости от давления (вплоть до развития сдвиговых осадок), по закону Кулона с использованием прочностных характеристик грунта:

$$f = (P + P') \operatorname{tg} \varphi + c \quad (1)$$

где  $\varphi$  – угол внутреннего трения;  $c$  – сцепление грунта.

Грунты как естественноисторические образования обычно обладают анизотропией. Изучению этого свойства посвятили свои работы Л.И. Корженко (1963), Ж.Е. Рогаткина (1967), В.В. Лушников, П.Д. Вулис (1972) и др.

Испытания на сдвиг по вертикали для практических целей не выполняются и приборы для таких испытаний отсутствуют. О. Н. Жидков и др. [1] предложено использовать для поступательного сдвига видоизмененный прессиометр, эластичная оболочка которого окружается снаружи жесткими металлическими кольцами. Эти кольца врезаются в грунт при расширении камеры. После создания в камере определенного давления вытяжным домкратом производится сдвиг рабочего органа. Для чистого сдвига необходимо устраивать круговую канавку для исключения влияния лобового сопротивления. Опыты проводятся не менее трех раз. Строится график зависимости  $\tau$  от  $P_1$  и определяется с и  $\varphi$  для слоя грунта в котором проводились опыты. Эти значения прочностных характеристик используются в расчете по формуле (1), в свою очередь от него все и зависит. Имеет место «са-

мовозбуждение» работы боковой поверхности под нагрузкой.

В работе Г.П. Таланова и П.П. Лычева [2] сделана попытка определения этих дополнительных напряжений. Однако трение грунта по длине ствола принято убывающим до нуля, на основании чего получен ошибочный (результат) вывод о действии напряжений  $P'$  только в верхней части сваи. В последующей работе Г.П. Таланова и др. [3] распределение трения принято возрастающим по закону треугольника и параболы. Произвольность выбора закономерностей, а также то, что распределенное по поверхности трение приведено к сосредоточенным силам, действующим по оси сваи, позволяет рассматривать результаты этой работы лишь как ориентировочные.

Нами ствол разбивался по длине на участки, равные диаметру сваи, и обозначим часть сопротивления грунта за счет сцепления и давление  $P$  через  $f_0$ ,

$$f_0 = P \operatorname{tg} \varphi + c \quad (2)$$

Учитывая, что при бетонировании сваи в устье скважины устанавливается обсадная труба высотой около 1м, это нарушает необходимый контакт бетона с грунтом, примем, что в пределах двух верхних участков  $f_0$  меняется от полного своего значения до нуля у поверхности. Тогда на первом участке среднее сопротивление грунта по боковой поверхности:

$$f_i = 0,25 f_0 + 0,5 P' \operatorname{tg} \varphi_i \quad (3)$$

и дополнительное давление на нижней его границе:

$$P_i' = \alpha_i f_1 \quad (4)$$

где  $\alpha_i$  – коэффициент, принимаемый по табл. (3).

С учетом (4) формула (3) примет вид:

$$f_1 = \frac{0,5 f_0}{2 - \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_1} \quad (5)$$

на втором участке

$$f_2 = \frac{1,5 f_0 (\alpha_1 + \alpha_2) f_1 \operatorname{tg} \varphi_2}{2 - \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_2} \quad (6)$$

для третьего и любого n-го участка имеем:

$$f_n = \frac{2 f_0 + \operatorname{tg} \varphi_n \sum_{i=1}^n f_{n-1} (\alpha_1 + \alpha_{n+1})}{2 - \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_n} \quad (6)$$

Расчеты, произведенные по формуле (6), показывают, что давление  $P'$  незначительно (менее, чем на 5%) увеличивает сопротивление грунта по боковой поверхности и его влиянием можно пренебречь, что идет в запас несущей способности свай.

Приближенное определение дополнительных напряжений может быть выполнено по формуле

$$P' = f_{ocp} \sum \alpha_i \quad (7)$$

где  $f_{ocp}$  – осредненное сопротивление грунта по боковой поверхности свай, подсчитанное без учёта  $P$ ;  $\sum \alpha_i$  – сумма коэффициентов  $\alpha_i$  табл. 1.

Значение коэффициентов  $\alpha_i$  получены в результате решения уравнений Р. Миндлина [4] на ЭВМ. Коэффициент  $\alpha_i$  учитывает действие силы трения в пределах ближайшего к рассматриваемому сечению участка высотой  $d$

Таблица 1

Значение коэффициента  $\sum \alpha_i$

| z   | Значение $\mu$ |        |        |        |        |
|-----|----------------|--------|--------|--------|--------|
|     | 0,05           | 0,1    | 0,2    | 0,25   | 0,3    |
| 2d  | 0,0704         | 0,0579 | 0,0470 | 0,0143 | 0,0151 |
| 3d  | 0,0864         | 0,0738 | 0,0470 | 0,0285 | 0,0243 |
| 4d  | 0,0957         | 0,0831 | 0,0542 | 0,0373 | 0,0274 |
| 5d  | 0,1013         | 0,0887 | 0,0597 | 0,0427 | 0,0296 |
| 6d  | 0,1048         | 0,0924 | 0,0634 | 0,0464 | 0,0319 |
| 7d  | 0,1074         | 0,0950 | 0,0660 | 0,0489 | 0,0336 |
| 8d  | 0,1094         | 0,0968 | 0,0679 | 0,0508 | 0,0350 |
| 9d  | 0,1166         | 0,0983 | 0,0693 | 0,0522 | 0,0360 |
| 10d | 0,1169         | 0,0993 | 0,0704 | 0,0533 | 0,0368 |
| 11d | 0,1126         | 0,1002 | 0,0713 | 0,0542 | 0,0376 |
| 12d | 0,1133         | 0,1010 | 0,0721 | 0,0550 | 0,0383 |
| 13d | 0,1139         | 0,1016 | 0,0727 | 0,0556 | 0,0388 |
| 14d | 0,1144         | 0,1021 | 0,0733 | 0,0561 | 0,0393 |
| 15d | 0,1148         | 0,1026 | 0,0737 | 0,0566 | 0,0397 |
| 16d | 0,1152         | 0,1030 | 0,0742 | 0,0570 | 0,0401 |
| 17d | 0,1156         | 0,1035 | 0,0745 | 0,0573 | 0,0404 |
| 18d | 0,1159         | 0,1036 | 0,0748 | 0,0577 | 0,0407 |
| 19d | 0,1161         | 0,1039 | 0,0751 | 0,0580 | 0,0410 |
| 20d | 0,1164         | 0,1042 | 0,0754 | 0,0582 | 0,0412 |

Сопротивление грунта по боковой поверхности свай проявляется полностью только при определенном перемещении ствола сдвиговой осадке [5]. В табл. 2 приведены величины сдвиговых осадок для различных грунтов

Для практического использования на основании данных табл. 2 и значений  $S_{сдв}$ , имеющих в литературе, можно рекомендовать определение  $S_{сдв}$  в зависимости от показателя консистенции грунта –  $I_L$  и числа пластичности –  $I_P$  по формуле:

$$S_{сдв} = 0,5 + 10 I_L I_P, \text{ см} \quad (8)$$

Таблица 2

Величины сдвиговых осадок  $S_{сдв}$   
для забивных свай

| Наименование грунтов                     | $S_{сдв}$ , см |
|------------------------------------------|----------------|
| 1. Песок мелкий средней плотности        | 0,5            |
| 2. Супесь при $I_L < 0,5$                | 0,6            |
| 3. Супесь при $I_L \geq 0,5$             | 0,7            |
| 4. Суглинок при $I_L < 0,5$              | 0,8            |
| 5. Суглинок при $I_L \geq 0,5$           | 1,5            |
| 6. Суглинок ленточный при $I_L \geq 0,5$ | 1,8            |
| 7. Глина ленточная при $I_L < 0,5$       | 2,2            |
| 8. Глина ленточная при $I_L \geq 0,5$    | 2,5            |

Для буронабивных свай за счет меньшего нормального давления на грунт и отсутствия начального искривления слоев, возникающих при забивке, сдвиговые осадки будут несколько меньше, чем для забивных. При перемещении сваи на величину  $S$ , меньше  $S_{сдв}$ , сопротивление грунта сдвигу разовьется не полностью и составит:

$$f' = f \cdot \frac{S}{S_{сдв}} \quad (9)$$

Сопротивление грунта сдвигу по боковой поверхности сваи выше уширения в глинистых грунтах учитывается полностью, а в песчаных – только выше воображаемого усеченного конуса, угол наклона образующая у которого составляет со стволом  $0,5 \varphi$ , а диаметр основания равен диаметру уширения. Сопротивление грунта сдвигу может учитываться также в пределах вертикальной плоскости уширения и по боковой поверхности части ствола, расположенной ниже уширенной пяты.

Сопротивление сваи за счет работы её боковой поверхности составляет

$$F_{б.н.} = \sum_{i=1}^n u_i l_i f_i, \quad (10)$$

где  $u_i$  и  $l_i$  – соответственно периметр и высота отдельных вертикальных участков ствола сваи

или её уширения;  $f_i$  – сопротивление грунта по боковой поверхности сваи, определяемого по (1) с использованием его прочностных характеристик.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жидков О.Н., Лушников В.В., Швец В.Б., Черкашин П.В. Прочностные испытания грунтов в скважинах установкой (прессиометром) поступательного сдвига. В кн.: Материалы совещания «прессиометрические методы исследований грунтов». Свердловск, 1971.
2. Таланов Г.П., Лычев П.Л. Расчет величины сопротивления грунтов по боковой поверхности буронабивных свай. В кн. Основания и фундаменты, вып. 8. Киев, Будівельник, 1975.
3. Таланов Г.П., Осадчин В.Т., Трегубов В.Н. О влиянии коэффициента Пуассона на величину сопротивления грунта по боковой поверхности буронабивных свай. В кн.: Специальные строительные работы. Труды ВНИИТС. Л., 1976.
4. Mindlin R. Force at point in the interior of a semi-infinite solid. Physics, 1936.
5. Далматов Б.И., Лапшин Ф.К. Несущая способность свай в грунтовых условиях Ленинграда. В кн.: Несущая способность свай в слабых грунтах. ЛДНТП, Л., Ч.2. 1966.

**Chernysh A.S.**

## DETERMINATION OF SOIL RESISTANCE ON THE SIDE SURFACE OF THE PILE ACCORDING TO THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF THE SOIL

*Evaluation of the bearing capacity of piles is an actual task of modern foundation engineering. Field methods for estimating the bearing capacity of piles are expensive and not always feasible. The existing technique for calculating the bearing capacity of piles involves using the consistency index  $I_l$  to determine the forces of resistance from the ground. With the same consistency indices, soils can have different strength parameters. The article considers the possibility of using the strength characteristics of the soil for a more accurate assessment of the bearing capacity of piles. The solution for bored piles is especially topical.*

**Key words:** pile, bored pile with broadening, specific cohesion, coefficient of internal friction, soil resistance/

**Черныш Александр Сергеевич**, кандидат технических наук, зав. кафедры городского кадастра и инженерных изысканий.

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

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

E-mail: gkadastr@mail.ru

# ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.12737/article\_590878fad43dc4.32679852

*Вареникова Т.А., магистрант,**Смирнова М.А., магистрант,**Дороганов В.А., канд. техн. наук, доц.**Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

## КОРУНДОВЫЕ ЛЕГКОВЕСНЫЕ ОГНЕУПОРЫ НА ОСНОВЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ

**varenikova.t@mail.ru**

*Легковесные корундовые изделия успешно применяют для высокотемпературной изоляции, используемой во многих отраслях промышленности, в том числе особенно широко применяются в металлургическом и огнеупорном производстве. Данный вид изделий в основном производится методом литья, который имеет ряд существенных недостатков. В данной работе предлагается использовать метод вибропрессования, что позволит интенсифицировать технологический процесс производства. В статье представлены результаты исследования составов для получения корундовых теплоизоляционных огнеупорных материалов с использованием гидравлических вяжущих. Установлены основные закономерности влияния содержания компонентов шихты на физико-механические характеристики образцов. Выявлены оптимальные составы, которые удовлетворяют требованиям, предъявляемым в соответствии с ГОСТ 5040-2015 для марок КТ-1,1 и КТ-1,3.*

**Ключевые слова:** *огнеупоры, теплоизоляционные материалы, корунд, глинозем, высокоглиноземистый цемент.*

В настоящее время теплоизоляционные материалы широко применяются, в самых разных отраслях промышленности и потребность в них постоянно растет. Применение теплоизоляционных материалов снижает материалоемкость, экономит топливо, и способствует интенсификации тепловых процессов. Поэтому теплоизоляционные материалы входят в обязательный ассортимент огнеупорной промышленности [1–3]. Общая технологическая направленность при производстве новых теплоизоляционных материалов сводится к интенсификации процессов, снижению энергозатрат и материалоемкости, что является одним из главных критериев оценки научно-технического уровня производства. В связи с этим, особо актуальным становится вопрос совершенствования производства огнеупорной теплоизоляции различного назначения [4–5]. Легковесные корундовые изделия успешно применяют для высокотемпературной изоляции, используемой во многих отраслях промышленности, в том числе особенно широко применяются в металлургическом и огнеупорном производстве [6]. Данный вид изделий в основном производится методом литья из высокоглиноземистых дисперсных систем, мелового молочка и выгорающих веществ с последующей продолжительной сушкой и обжигом при температурах 1450–1550 °С [7–10]. Наличие большого количества влаги (до 35 %) в формовочной системе способствует существенному увеличению технологического цикла производства (до 200 ч.), а высокая температура термообработки

приводит к повышению энергозатрат. Помимо этого после обжига изделия подвергаются механической обработке для достижения заданных размеров, что также является существенным недостатком данной технологии.

В связи с выше изложенным, целью данной работы является разработка и исследования составов масс для корундовых легковесных огнеупоров с меньшей энергоемкостью производства. Для этого предлагается использовать высокоглиноземистые формовочные системы, в качестве вяжущего в которых будет использоваться глиноземистый цемент с содержанием  $Al_2O_3$  не менее 70 %, что позволит существенно снизить формовочную влажность и использовать метод виброформования. Использование данного метода формовки способствует полному исключению механической обработки изделий после обжига, так как данный способ позволяет получать изделий с точными геометрическими формами в соответствии ГОСТ 5040-2015 "Изделия огнеупорные теплоизоляционные. Технические условия".

Для достижения поставленной цели в данной работе в качестве сырьевых материалов использовались электроплавленный корунд (фракция менее 500 мкм), предварительно термообработанный при 1200 °С технический глинозем (фракция менее 40 мкм) и высокоглиноземистый цемент марки М-72 фирмы Secar, химический состав которых представлен в табл. 1. Основной минералогической фазой корунда и глинозема является  $\alpha-Al_2O_3$ , а высокоглиноземистый це-



мент представлен различными видами алюмината кальция.

Таблица 1

## Химический состав сырьевых материалов

| Наименование материала   | Содержание оксидов, %          |                  |                  |                   |                                |      |       |                  |
|--------------------------|--------------------------------|------------------|------------------|-------------------|--------------------------------|------|-------|------------------|
|                          | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO  | CaO   | TiO <sub>2</sub> |
| Электроплавленный корунд | 99,9                           | 0,02             | 0,01             | 0,03              | 0,03                           | 0,01 | -     | 0,01             |
| Глинозем                 | 99,5                           | 0,06             | 0,02             | 0,06              | 0,04                           | 0,01 | -     | 0,02             |
| Цемент                   | 72,7                           | 0,24             | -                | 0,43              | 0,63                           | 0,34 | 26,17 | -                |

В процессе экспериментальной работы исследовали влияние содержания высокоглиноземистого цемента на основные физико-

механические свойства корундового легковеса, в соответствии с составом, представленными в табл. 2.

Таблица 2

## Составы исследуемых высокоглиноземистых масс

| № состава | Содержание цемента, % | Содержание глинозема, % | Влажность массы, % | Содержание Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , % |
|-----------|-----------------------|-------------------------|--------------------|-----------------------------------------------|
| 1.1       | 3                     | 97                      | 8,1                | 98,1                                          |
| 1.2       | 5                     | 95                      | 8,9                | 97,6                                          |
| 1.3       | 7                     | 93                      | 9,3                | 97,0                                          |
| 1.4       | 10                    | 90                      | 10,4               | 96,1                                          |
| 1.5       | 20                    | 80                      | 12,1               | 93,2                                          |

На основе представленных в табл. 2 составов были отформованы образцы методом вибропрессования с последующими сушкой при температуре 100 °С в течении 6–8 часов и термообработкой при 300 °С и 1300 °С с выдержкой

при максимальной температуре 1 час. После термообработки были определены основные физико-механические характеристики, которые представлены на рис. 1–2.

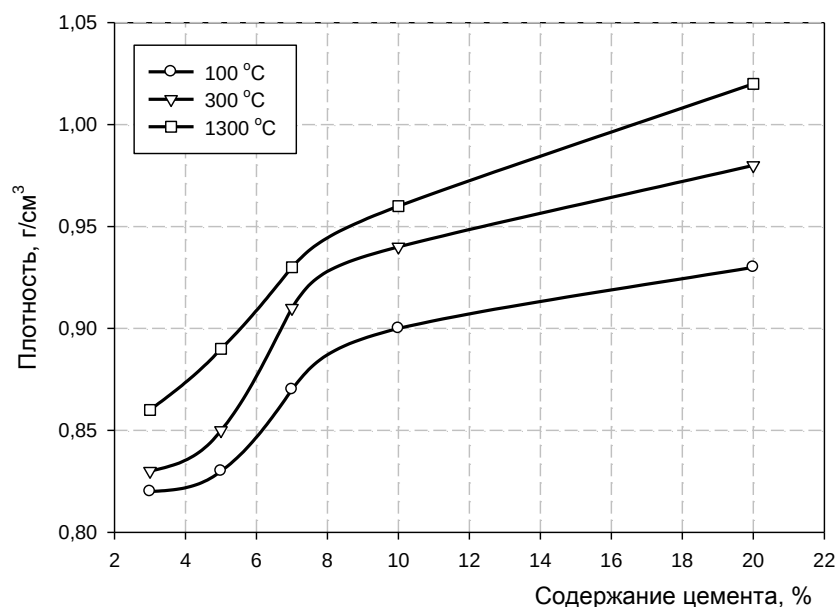


Рис. 1. Зависимость плотности образцов корундового легковеса, термообработанных при различной температуре, от содержания цемент

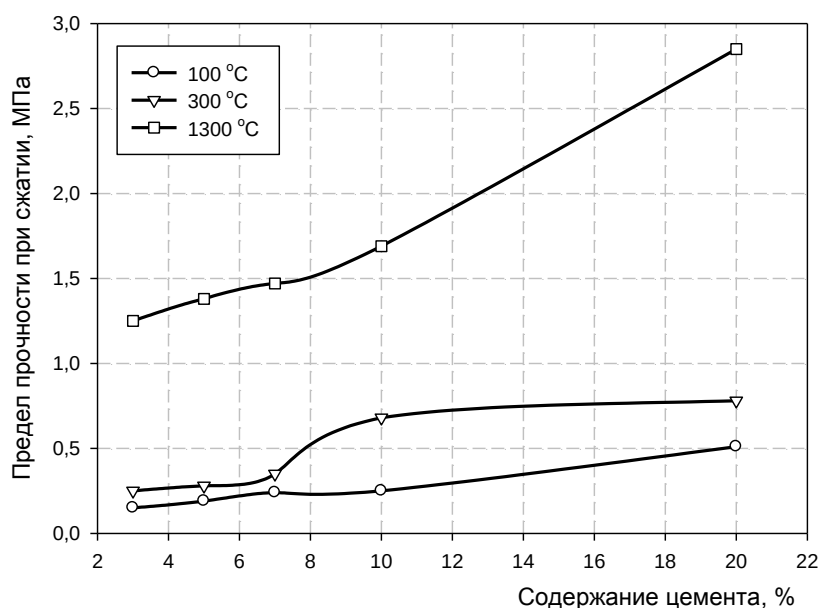


Рис. 2. Зависимость предела прочности образцов корундового легковеса, термообработанных при различной температуре, от содержания цемент

Анализ представленных графических зависимостей показал, что повышение содержание цемента с 3 до 20 % в системе приводит к увеличению плотности образцов на 7–16 % (рис. 1) в зависимости от температуры термообработки, при этом максимальной плотностью 0,93–1,02 г/см<sup>3</sup> характеризуются образцы, содержащие 20 % цемента. Повышение температуры предварительной термообработки также приводит к незначительному увеличению плотности материала на 5–9 %. Из анализа прочностных характеристик (рис. 2) следует, что рост концентрации высокоглиноземистого цемента приводит к повышению прочностных показателей образцов в 2–3 раза. Изменение температуры с 100 °C до 300 °C приводит к незначительному росту прочности, а при повышении температуры до 1300 °C прочность образцов увеличивается в 5–8 раз в зависимости от содержания цемента в системе. Максимальными прочностными характеристиками (2,8–2,9 МПа) обладают образцы термообработанные при 1300 °C и содержащие 20 % цемента. Из выше изложенного следует, что наиболее оптимальным составом корундо-

вого легковесного огнеупора является образцы состава № 1.5 (табл. 1), термообработанные при 1300 °C, которые содержат 80 % глинозема и 20 % цемента, содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> составляет 93,2 %, что полностью удовлетворяет требования ГОСТ 5040-2015 и соответствует марки КТ-1,1.

Для получения теплоизоляционных корундовых материалов марки КТ-1,3, в соответствии с ГОСТ 5040-2015, необходимо получить материал характеризующейся плотностью не выше 1,3 г/см<sup>3</sup>, прочностью не ниже 3,5 МПа и содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> должно превышать 95 %. Разработанный выше материал не соответствует предъявляемым требованиям по прочности и содержанию Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. В связи с этим на дальнейшем этапе работы были проведены исследования направленные на создание более прочного каркаса за счет введение в состав более крупнодисперсной составляющей в виде порошка электроплавленного корунда фракции менее 0,5 мм. Составы экспериментальных образцов с электрокорундом представлены в табл. 3.

Таблица 3

#### Составы исследуемых высокоглиноземистых масс

| № состава | Содержание цемента, % | Содержание глинозема, % | Содержание электрокорунда, % | Влажность массы, % | Содержание Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , % |
|-----------|-----------------------|-------------------------|------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------|
| 1.6       | 10                    | 90                      | -                            | 10,4               | 96,1                                          |
| 1.7       | 10                    | 85                      | 5                            | 10,1               | 96,1                                          |
| 1.8       | 10                    | 80                      | 10                           | 9,8                | 96,1                                          |
| 1.9       | 10                    | 75                      | 15                           | 9,6                | 96,1                                          |

Образцы формовали и термообработывали по аналогичной методике, как и предыдущие составы. После определения основных физико-

механических характеристик были построены графики зависимостей, которые представлены на рис. 3–4.

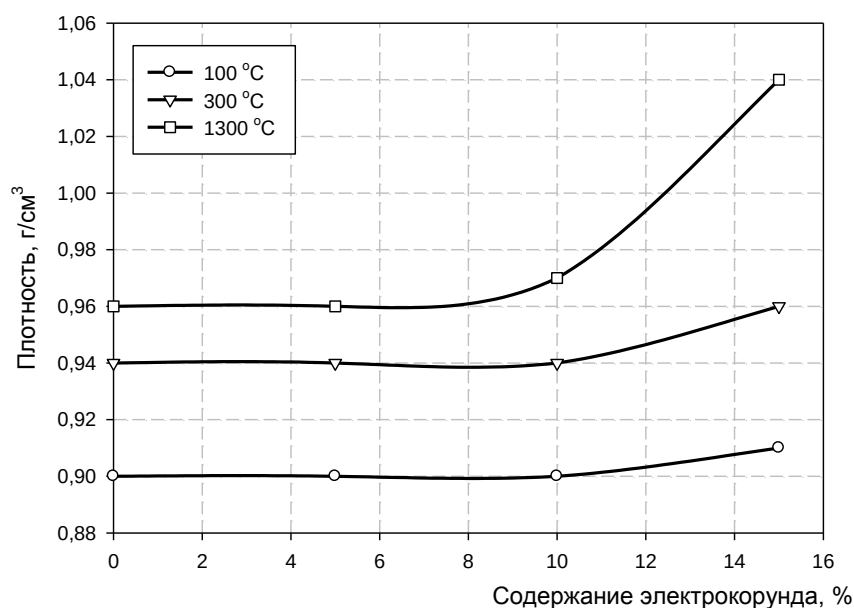


Рис. 3. Зависимость плотности образцов корундового легковеса, термообработанных при различной температуре, от содержания электрокорунда

Из анализа представленных зависимостей следует (рис. 3), что увеличение содержания электрокорунда до 10 % в формовочной массе практически не приводит к изменению плотности образцов, которая составляет 0,90–0,97 г/см³ в зависимости от температуры термообработки. При повышении концентрации корунда до 15 % наблюдается незначительный рост плотности на 1–7 % до значений 0,97–1,04 г/см³ при соответ-

ствующих температурах термообработки. Увеличение температуры предварительной обработки образцов приводит к росту плотности на 6–12 % во всем диапазоне содержания электрокорунда. Из выше изложенного следует, что плотность экспериментальных составов с добавлением электрокорунда не превышает 1,04 г/см³, что соответствует требованиям ГОСТ 5040-2015.

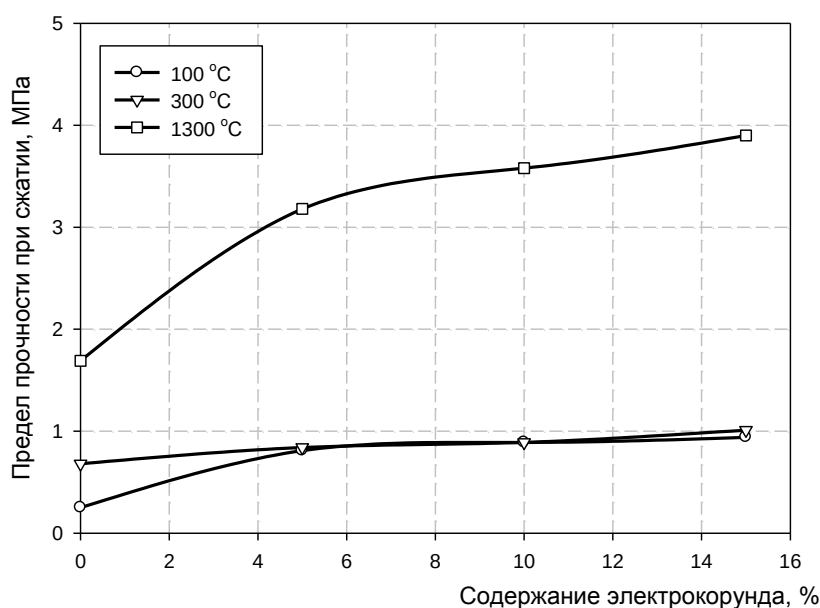


Рис. 4. Зависимость предела прочности образцов корундового легковеса, термообработанных при различной температуре, от содержания электрокорунда

Анализируя прочностные характеристики экспериментальных образцов корундового легковеса, представленных на рис. 4, можно отметить, что введение электрокорунда практически не изменяет или незначительно повышает прочность при низких температурах предварительной обработки (100–300 °С), которая не превышает 1 МПа. Составы обожженные при температуре 1300 °С отличаются резким повышением прочности в 3–6 раз во всем диапазоне измене-

ния содержание электрокорунда. Максимальными значениями прочности при сжатии 3,5–4,0 МПа характеризуются образцы содержащие 10–15 % электрокорунда, что удовлетворяет марки КТ-1,3 в соответствии с ГОСТ 5040-2015.

В табл. 4 представлены сопоставительные характеристики экспериментальных образцов и требования, предъявляемые к данному виду изделий в соответствии с ГОСТ 5040-2015.

Таблица 4

#### Характеристики корундовых теплоизоляционных материалов

| Показатели                                    | Требования<br>ГОСТ 5040-2015<br>(марки КТ-1,1 и КТ-1,3) | Экспериментальные<br>составы |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------|
| 1. Массовая доля $Al_2O_3$ , %, не менее      | 90–95                                                   | 93–96                        |
| 2. Массовая доля $Fe_2O_3$ , %, не более      | 0,3–1,0                                                 | 0,2                          |
| 3. Массовая доля $SiO_2$ , %, не более        | 0,5                                                     | 0,1                          |
| 4. Плотность кажущаяся, г/см, не более        | 1,1–1,3                                                 | 1,0–1,1                      |
| 5. Предел прочности при сжатии, МПа, не менее | 2,5–3,5                                                 | 2,5–4,0                      |

Из представленных в табл. 4 данных следует, что разработанные экспериментальные составы полностью удовлетворяют требованиям ГОСТ 5040-2015 и соответствует маркам корундовых теплоизоляционных огнеупоров КТ-1,1 и КТ-1,3. Оптимальные составы могут содержать 10–20 % высокоглиноземистого цемента, 75–90 % глинозема и до 15 % электроплавленного корунда. При этом следует отметить, что переход от классического способа формования методом литья к вибропрессованию позволил снизить формовочную влажность более чем в 3 раза и температуру обжига на 150–250 °С, что существенным образом сокращает производственные затраты на весь технологический цикл. Таким образом, разработанные в данной работе материалы могут быть рекомендованы к промышленному выпуску на предприятиях по производству огнеупорных материалов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горлов Ю.П., Меркин А.П., Устенко А.А. Технология теплоизоляционных материалов. М.: Стройиздат, 1980. 396 с.
2. Горяйнов К. Э., Горяйнова С. К. Технология теплоизоляционных материалов и изделий. М.: Стройиздат, 1982. 376 с.
3. Воронов Г.В., Старцев В.А. Огнеупорные материалы и изделия в промышленных печах и объектах вспомогательного назначения. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2006. 303 с.

4. Шубин В.Н. Производство корундового легковеса // Огнеупоры. 1971. №3. С 30–32.

5. Андрианов Н.Т., Балкевич В.Л., Беляков А.В., Власов А.С., Гуман И.Я., Лукин Е.С., Мосин Ю.М., Скидан Б.С. Химическая технология керамики. М.: ООО РИФ "Строиматериалы", 2012. 496 с.

6. Peretokina N.A., Doroganov V.A. Development and study of the compositions of unshaped fireclay-based heat-insulating refractories and a technology for making them// Refractories and Industrial Ceramics. 2011. Vol. 52, №1. P. 52–54.

7. Peretokina N.A., Doroganov V.A. Lightweight foam products based on diatomite// Refractories and Industrial Ceramics. 2011. Vol. 52. № 3. P. 191–194.

8. Евтушенко Е.И., Перетоккина Н.А., Дороганов В.А., Сулейманова Л.А., Сыса О.К., Бедина В.Ю., Миженина О.В. Теплоизоляционные материалы на основе искусственных керамических вяжущих различного состава// Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 6. С. 149–151.

9. Кашеев И.Д., Стрелов К.К., Мамыкин П.С. Химическая технология огнеупоров. М.: Интермет Инжиниринг, 2007. 752 с.

10. Лурье М.А., Гончаренко В.П. Легковесные огнеупоры в промышленных печах. М.: Металлургия, 1974. 239 с.

---

**Varenikova T.A., Smirnova M.A., Doroganov V.A.****CORUNDUM LIGHT-WEIGHT REFRACTORIES BASED ON HYDRAULIC BINDERS**

*Lightweight corundum products are successfully used for high-temperature insulation, applied in many industries, especially in metallurgical and refractory industries. This type of products is mainly produced by casting, which has a number of significant drawbacks. In this paper, it is proposed to use the method of vibrocompression, which would allow intensifying the technological process of production. The article presents the results of studying compositions for the preparation of corundum heat-insulating refractory materials using hydraulic binders. The main regularities of the influence of the charge components composition on the samples' physico-mechanical characteristics are established. The optimal compositions have been identified that meet the requirements imposed in accordance with GOST 5040-2015 for KT-1,1 and KT-1,3 grades.*

**Key words:** *refractories, heat-insulating materials, corundum, alumina, high-alumina cement.*

---

**Вареникова Татьяна Анатольевна**, инженер, магистрант кафедры технологии стекла и керамики.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

E-mail: varenikova.t@mail.ru

**Смирнова Марина Александровна**, магистрант кафедры технологии стекла и керамики.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

E-mail: marinasm82@mail.ru

**Дороганов Владимир Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой технологии стекла и керамики.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

E-mail: tsk\_bgtu@mail.ru

DOI: 10.12737/article\_590878fae15c39.44971100

*Яшкина С.Ю., аспирант,  
Дороганов В.А., канд. техн. наук, доц.*

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

## КЕРАМИЧЕСКИЕ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫЕ КОМПОЗИТЫ ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТОГО СОСТАВА С ДОБАВКОЙ ОКСИДА ВИСМУТА\*

tsk\_bgtu@mail.ru

*В данной статье представлена технология получения новых радиационно-защитных керамических материалов на основе высокоглиноземистого вяжущего и заполнителя, оксида висмута. Синтез вяжущего осуществлялся по хорошо зарекомендовавшим себя принципам получения керамобетонов на основе искусственных керамических вяжущих (ИКВ). Представлены результаты испытания опытных образцов, выявлены оптимальные условия получения и соотношения компонентов, обеспечивающие высокие физико-механические и радиационно-защитные свойства материала. Отработаны технологические приемы создания керамических композитов с плотностью от 2800 до 5550 кг/м<sup>3</sup>.*

**Ключевые слова:** искусственные керамические вяжущие, оксид висмута, керамические композиционные материалы, радиационно-защитные материалы, гамма-излучение, линейный коэффициент ослабления.

**Введение.** Современный период развития общества характеризуется необычайно быстрым прогрессом техники и технологии. Возрастает интенсивность использования технологических агрегатов, оборудования и аппаратов, неуклонно повышаются рабочие температуры, все более разнообразными и сложными становятся механические нагрузки и рабочие среды, в условиях которых должны длительно работать материалы.

Важное значение имеют и материалы и композиты, обладающие высокими радиационно-защитными и конструктивными свойствами, а также стойкостью к воздействию различных агрессивных сред при высоких температурах. Одними из перспективных материалов, для данных целей, являются керамические композиты с заданным спектром исходных свойств, которые могут быть дополнительно изменены в зависимости от предназначения и условий службы, а так же с функцией активной (селективной защиты). Так доказана эффективность применения при излучениях повышенной мощности неорганических композитов на основе оксидов тяжелых металлов в сочетании с алюмосиликатной матрицей. При этом необходимым условием является знание особенностей структуры таких композитов, физико-механических свойств при различных условиях [1–5].

В связи с вышеизложенным целью данной работы является разработка и исследование композиционных радиационно-защитных керамических материалов в системе  $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ , которые могут найти применение в авиации и космосе, ядерной энергетике, военно-промышленном комплексе, химической технологии и биотехнологии, медицине и т.д. [6–11]

**Методология.** Получение искусственного керамического вяжущего (ИКВ) осуществляли методом мокрого помола в шаровой мельнице периодического действия с постадийной догрузкой материала. Реологические свойства суспензии были исследованы на вискозиметре «Reotest-2». Оценка радиационно-защитных характеристик композиционных материалов осуществлялась по следующей методике. Пластины материала (композита) толщиной  $h$  располагали между коллимированным источником излучения и коллимированным детектором. Такой эксперимент (и его модель) называется "экспериментом в геометрии узкого пучка" по ГОСТ 25146-82.

**Основная часть.** Для создания материалов, способных выдерживать механические нагрузки, различного рода излучения подходят композиты на керамической связке. В ходе испытаний было предложено использовать керамическое вяжущее на основе высокоглиноземистого шамота, которые, как показали эксперименты, отличаются повышенной механической прочностью, а также радиационно-защитной способностью [12–15].

Была предпринята попытка использования в качестве модификатора добавки нанодисперсного кремнезема, в качестве заполнителя дополнительно применяли электроплавленный корунд и оксид висмута.

На основе высокоглиноземистого шамота была синтезирована методом мокрого помола ИКВ. Длительность помола составляла 18–20 ч. После помола ИКВ подвергалась стабилизации путем гравитационного перемешивания в течение 3–4 ч с целью снижения сил межчастичного взаимодействия в системе, улучшения реотех-

нологических свойств, удаления захваченного при помоле воздуха и усреднения состав во всем объеме суспензии. Полученная ИКВ характеризовалась следующими основными свойствами:

- плотность – 2,45 г/см<sup>3</sup>;
- относительная влажность – 13,8 %;
- время истечения – 98 сек;
- объемная концентрация твердой фазы –

0,66.

С помощью седиментационного метода был проведен анализ зернового состава твердой фазы ИКВ высокоглиноземистого шамота. Данная суспензия характеризуется полидисперсным распределением частиц твердой фазы с коэффи-

циентом полидисперсности 9,8–10,0. Средний медианный диаметр частиц составляет 3,1–3,2 мкм, содержание частиц более 0,63 мкм находится в пределах 2,7–2,8 %, а частиц менее 0,1 мкм (100 нм) – 2,6–2,7 %, что подтверждается данными электронной микроскопии (рис. 1, а). Суспензия имеет тиксотропно-дилатантный характер течения (разрушение исходной тиксотропной структуры и последующее дилатантное структурообразование). Порошок оксида висмута представляет собой частицы сферической формы размером не более 35 мкм (рис. 1, б).

Были исследованы составы с различным содержанием  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ , которые представлены в табл. 1.

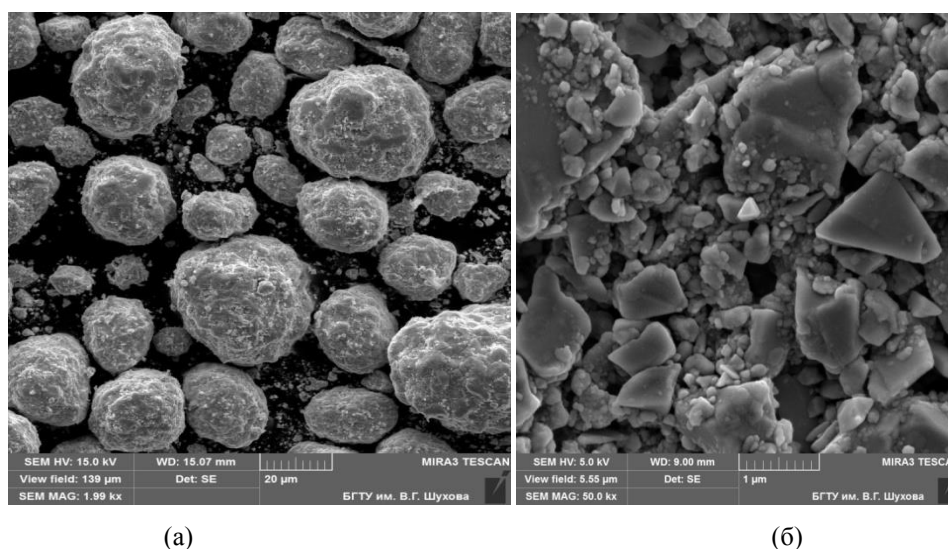


Рис. 1. Электронно-микроскопические изображения суспензии (а) и заполнителя  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  (б)

Таблица 1

### Составы радиационно-защитных материалов

| № состава | Содержание компонентов, % |                         |                         |
|-----------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|
|           | ИКВ                       | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{Bi}_2\text{O}_3$ |
| 1         | 50,0                      | 50,0                    | —                       |
| 2         | 38,5                      | 23,0                    | 38,5                    |
| 3         | 19,0                      | 23,0                    | 58,0                    |
| 4         | —                         | 25,0                    | 75,0                    |

Из представленных в табл. 1 составов, методом статического прессования с удельным давлением 100 МПа, были отформованы образцы – балочки (65×15×10 мм). Формовочная влажность составляла 6–7 %, при этом состав 4 доувлажнялся до необходимого значения раствором нанокремнезема марки AS – 40 (зарегистрированная торговая марка «Ludox» компании «GRACE Davison»), которая представляет собой водную коллоидную дисперсию наночастиц двуоксида кремния с диаметром не более 22 нм и влажностью 60 %.

Отформованные образцы подвергались сушке при 100 – 110 °С и обжигу при различных

температурах до 1300 °С. После термообработки с помощью рентгенофазового анализа был определен минералогический состав образцов при различных температурах обжига.

При термообработке вплоть до 1300 °С состав №1 (табл. 1) без добавки  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  характеризуется постоянством минералогического состава.

При нагревании образцов с добавкой  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  (составы №2 – 4, табл. 1) в интервале температур 100–500 °С все составы также характеризуются минералогическим постоянством, при этом присутствуют фазы муллита, корунда и  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ . При повышении температуры обжига образцов



до 600 °C начинается образование силикатов висмута  $2\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$  и  $12\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ . Дальнейшее увеличение температуры обжига до 700 °C приводит к более интенсивному образованию силикатов висмута, о чем свидетельствуют увеличение интенсивности отражений для данных соединений. В ходе этого процесса весь  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  переходит в силикаты, при этом межплоскостные отражения оксида висмута полностью исчезают. Происходит резкое снижение интенсивности пиков муллита, а в составе № 4 это соединение полностью отсутствует. При дальнейшем увеличении температуры термообра-

ботки до 800 °C и выше у всех составов наблюдается дальнейшее образование силикатов висмута, при этом в составах № 3-4 идентифицированы две фазы  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  и  $12\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ , а в составе № 2 – кроме двух выше указанных образуется и  $2\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$  (рис. 2). Можно предположить, что в составах №2-3 образование силикатов висмута происходит в результате разложения муллита и связывания  $\text{SiO}_2$  в силикаты висмута, а в составе № 4 силикаты образуются за счет взаимодействия  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  и нанокремнезема, вводимого в качестве вяжущего.

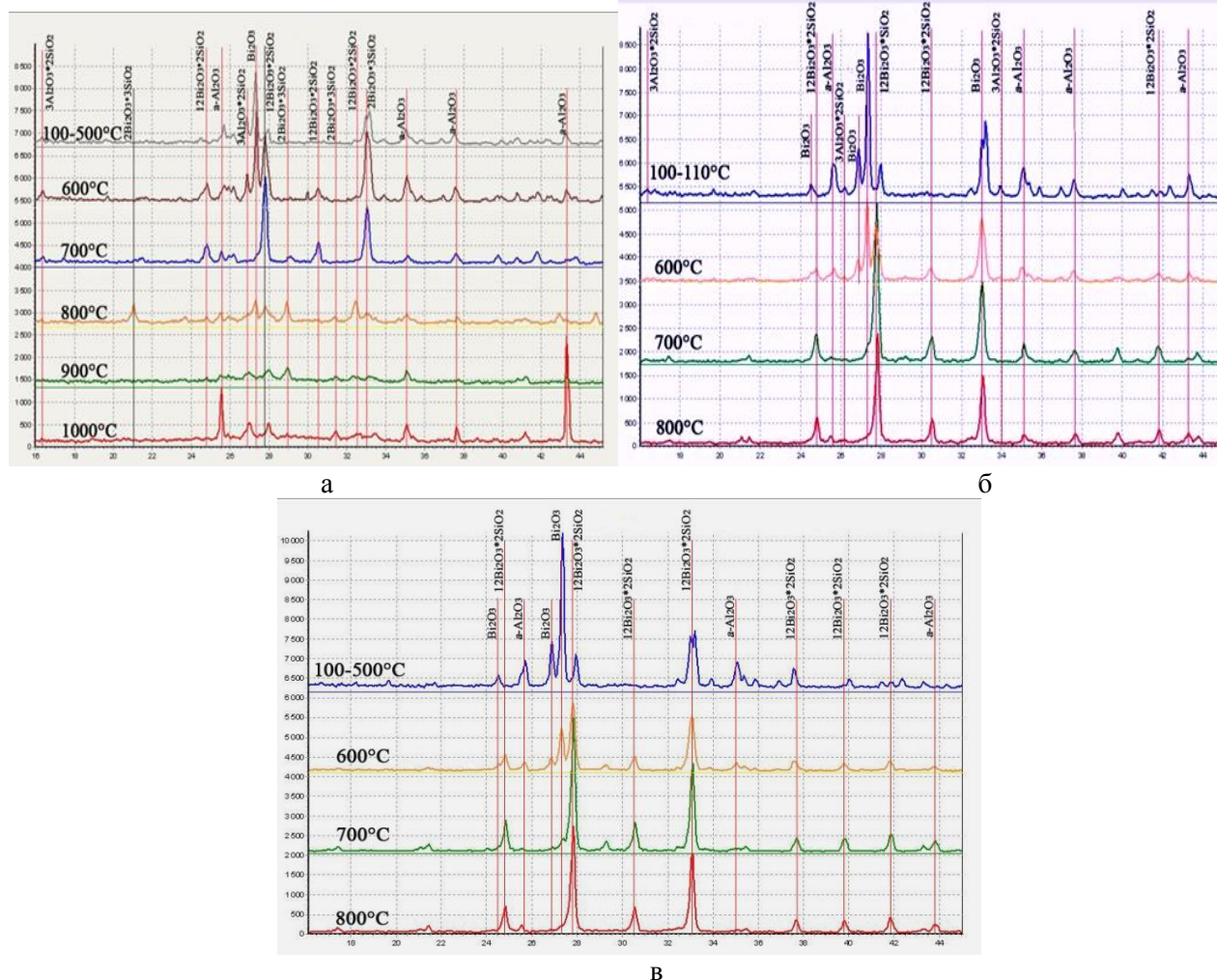


Рис. 2. Рентгенограммы образцов радиационно-защитных композитов  
а – состав №2, б – состав №3, в – состав №4

Установлено, что, чем выше содержание  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  в составе, тем интенсивней процесс разложение муллита. Так, например, при содержании 38,5 %  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  муллит сохраняется вплоть до температуры 900 °C, при увеличении содержания оксида висмута до 58 % муллит полностью разлагается при температуре 700 °C, что на 200 °C ниже чем у предыдущего состава.

На образцах с различным содержанием оксида висмута после термообработки при разных

температурах были определены основные физико-механические характеристики, которые представлены на рис. 3–4.

Изменение температуры термообработки висмутсодержащих образцов также оказывает влияние на значения кажущейся плотности материалов, которую характеризует зависимость, представленная на рис. 3.

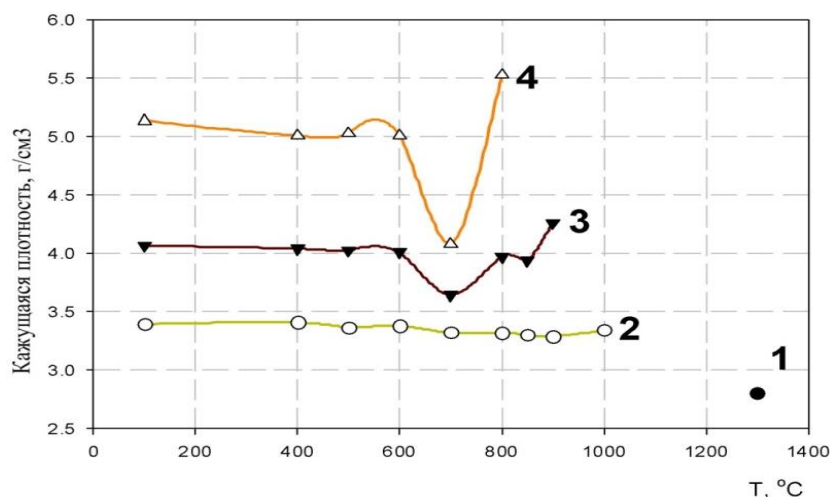


Рис. 3. Зависимость кажущейся плотности образцов с различным содержанием  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  от температуры обжига (номера на кривых соответствуют составам табл. 1)

Из анализа представленных графиков следует, что при увеличении температуры обжига до 600 °C плотность образцов практически не изменяется. Повышение температуры до интервала образования силикатов висмута (700 °C) приводит к существенному снижению плотности материалов на 10–18 % составов № 3 и № 4, а при дальнейшем повышении температуры до 800–900 °C начинается процесс спекания, сопровождающийся увеличением плотности материала на 14–25 %. Следует отметить, что плотность образцов состава № 2 практически не изменяется во всем температурном интервале вплоть до 1000 °C и находится в пределах 3,3–3,4 г/см³. Это свидетельствует о том, что в данном составе процессы образования силикатов висмута проходят с меньшей интенсивностью.

Изменение температуры обжига образцов на основе висмутсодержащих составов приводит к существенным изменениям прочности матери-

ала, о чем свидетельствуют данные представленные на рис. 4. Образцы состава № 2 с повышением температуры обжига характеризуются увеличением прочности во всем температурном интервале вплоть до 1000 °C. Прочность данного материала при конечной температуре составляет 13–13,5 МПа, что сопоставимо с прочностью образцов исходного состава № 1 (без добавки оксида висмута), но термообработанного при 1300 °C. Образцы состава № 3 характеризуются относительной постоянностью прочностных характеристик во всем температурном интервале. В случае термообработки материалов на основе состава № 4, который содержит максимальное количество оксида висмута, наблюдается максимум прочности при температуре 500 °C. При дальнейшем повышении температуры обжига образцов данного состава до 700 °C происходит снижение прочности в связи с интенсивным образованием силиката висмута.

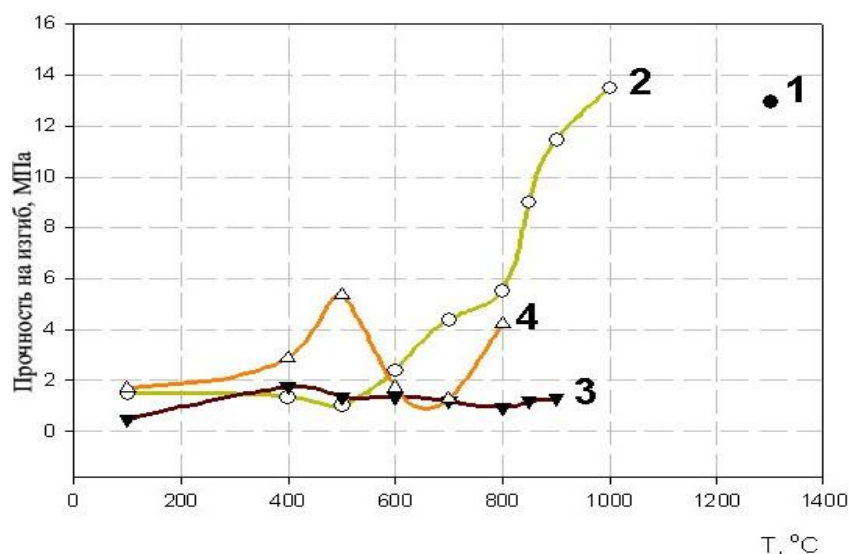


Рис. 4. Зависимость прочности на изгиб образцов с различным содержанием  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  от температуры обжига (номера на кривых соответствуют составам табл. 1)

Таким образом, из анализа экспериментальных данных по подбору и исследованию керамических радиационно-защитных материалов было установлено, что введение в керамический материал оксида висмута приводит к существенному росту плотности изделий, при этом, чем больше содержание  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ , тем ниже температура обжига. Оксид висмута, в данном случае, выступает в роли плавня в керамической туго-

плавкой матрице и не снижает существенно основные физико-механические характеристики. В результате были подобраны оптимальные технологические параметры получения керамических радиационно-защитных материалов в системе  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Bi}_2\text{O}_3$  различного состава (в зависимости от области применения), основные физико-механические характеристики которых представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Основные характеристики керамических радиационно-защитных материалов**

| № п/п | Содержание $\text{Bi}_2\text{O}_3$ , % | $T_{\text{обж.}}$ , °C | $\rho_{\text{каж.}}$ , г/см <sup>3</sup> | $\sigma_{\text{изг.}}$ , МПа |
|-------|----------------------------------------|------------------------|------------------------------------------|------------------------------|
| 1     | 38,5                                   | 1000                   | 3,3-3,5                                  | 13,0-14,0                    |
| 2     | 58,0                                   | 900                    | 4,2-4,4                                  | 1,8-2,0                      |
| 3     | 75,0                                   | 800                    | 5,4-5,6                                  | 3,5-4,0                      |

На основе составов, представленных в табл. 2, были изготовлены образцы радиационно-защитной керамики в виде таблеток диаметром 50 мм и высотой 5–7 мм. Формование образцов производили методом двухстороннего полусухого прессования на гидравлическом прессе в

металлическую форму при удельном давлении 100 МПа. После формования образцы подвергались сушке и обжигу по установленному температурному режиму (табл. 2). Общий вид образцов после обжига представлен на рис. 5.



Рис.5. Общий вид образцов радиационно-защитной керамики с различным содержанием  $\text{Bi}_2\text{O}_3$

Далее были проведены исследования влияния содержания  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  на значения линейного коэффициента ослабления экспериментальных

образцов радиационно-защитных материалов (табл. 3).

Таблица 3

**Линейный коэффициент ослабления  $\mu$ , см<sup>-1</sup> точечного гамма-источника (узкий пучок мощностью 1120 кэВ) для композитов**

| № | Состав композиционного материала                                             | Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup> | $\mu$ , см <sup>-1</sup> |
|---|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| 1 | Высокоглиноземистый керамобетон (состав № 1, табл. 1)                        | 2750                                 | 0,22                     |
| 2 | Керамический композит с 38,5 % $\text{Bi}_2\text{O}_3$ (состав № 2, табл. 1) | 3430                                 | 0,45                     |
| 3 | Керамический композит с 58 % $\text{Bi}_2\text{O}_3$ (состав № 3, табл. 1)   | 4350                                 | 0,48                     |
| 4 | Керамический композит 75 % $\text{Bi}_2\text{O}_3$ (состав № 4, табл. 1)     | 5510                                 | 0,52                     |

Из представленных в табл. 3 данных следует, что введение в керамическую матрицу тяжелого заполнителя ( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ) приводит к повышению плотности, и, соответственно, росту коэффициента ослабления, т.е. улучшению радиационно-защитных свойств композита. Это свойственно для высоких энергий ( $E > 0,66$  МэВ), при которых решающую роль в характеристике защитных свойств материала принадлежит его плотности [16].

**Выводы.** В результате проведенных исследований выявлены технологические особенности получения функциональных радиационно-защитных керамических композиционных материалов с функцией активной и селективной защиты от гамма-излучений. Отработаны технологические приемы создания керамических композитов с плотностью от 2680 до 5500 кг/м<sup>3</sup> на основе муллитокорундовых ИКВ с активным наполнителем – оксидом висмута. Установлено, что оптимальными по физико-механическим и радиационно-защитным свойствам следует считать составы, получаемые в сочетании муллитокорундового ИКВ с наполнителем на основе оксида висмута (38 %), при этом они характеризуются плотностью до 3500 кг/м<sup>3</sup> и прочностью на изгиб до 14 МПа. В результате показано, что использование муллитокорундовых искусственных керамических вяжущих открывает широкие возможности применения разнообразных наполнителей при синтезе композитов с объемным структурированием.

Таким образом, закономерности, выявленные при проведении исследований, могут найти применение при разработке композитов нового поколения, а также при решении фундаментальных и прикладных задач при защите от гамма-излучений.

*\*Работа выполнена в рамках Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова.*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Королёв Е.В., Самошин А.П., Смирнов В.А., Королева О.В., Гришина А.Н. Методики и алгоритм синтеза радиационно-защитных материалов нового поколения. Пенза: ПГУАС, 2009. 130 с.
2. Воронов Д.В. Радиационная стойкость защитного конструкционного композита на основе цементного вяжущего и железоксидного наполнителя: дис. канд. техн. наук. Белгород, 2009. 142 с.
3. Гульбин В.Н., Колпаков Н.С., Поливкин В.В. Радио- и радиационно-защитные композиционные материалы с наноструктурными наполнителями // Известия ВолгГТУ. 2014. №23. С. 43–51.
4. Хенгли Э., Джонсон Э. Радиационная химия. М.: Атомиздат 1974. 416с.
5. Милинчук В.К. Радиационная стойкость материалов // Соровский образовательный журнал. 2000г. №4. С.27–28
6. Птицына В.И., Коровина Н.А., Алексеева Е.Н. Огнеупоры для космоса. Справочник. М.: «Металлургия», 1967. 268с.
7. Радоуцкий В.Ю. Радиационная, химическая и биологическая защита: учеб. пособие / В.Ю. Радоуцкий, В.Н. Шульженко, Ю.К. Рубанов и др.; под ред. В.Ю. Радоуцкого. Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. 185 с.
8. Пикаев А.К. Современная радиационная химия. М.: Наука, 1987. 448с.
9. Труханов К.А. Радиационная и электромагнитная безопасность длительных и дальних пилотируемых космических полетов: автореф. дисс. докт. техн. наук / К.А. Труханов; ГНЦ РФ М.: ИМБП РАН, 2006
10. Королев Е.В., Гришина А.Н. Основные принципы создания радиационно-защитного материала. Определение эффективности химического состава // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. Казань: 2009. № 1(11). С. 261–265.
11. Radaev S.F., Simonov V.I., Kargin Yu.F. Structural features of  $\gamma$ -phase  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  and its place in the sillenite family // Acta Crystallogr. 1992. Vol. 348. P. 604–609.
12. Пивинский Ю.Е., Суздальцев Е.И. Кварцевая керамика и огнеупоры. Том 1. Теоретические основы и технологические процессы. М.: «Теплоэнергетик», 2008. 672 с.
13. Пивинский Ю.Е. Теоретические аспекты технологии керамики и огнеупоров. Избранные труды. СПб.: Стройиздат СПб, 2003. 544с.
14. Саенко С.Ю. Экологическая безопасность при хранении радиоактивных отходов: разработка защитных материалов на основе высокопрочных керамик // Збірник наукових праць СНУЯЕтаП. 2010г.
15. Костюков Н.С., Харитонов Ф.Я., Антонова Н.П. Радиационная и коррозионная стойкость электрокерамики. М., Атомиздат, 1973, 224 с.
16. Павленко В.И., Ястребинский Р.Н., Володченко А.Н., Четвериков Н.А. Контейнерная технология утилизации твердых радиоактивных отходов АЭС // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. №5. С. 165–169.



---

**Yashkina S.Yu., Doroganov V.A.****CERAMIC RADIATION-PROTECTIVE COMPOSITES BASED ON HIGH-ALUMINA BINDER BISMUTH OXIDE ADDITIVE**

*In this paper technology to produce new radiation-protective ceramic materials based on high-alumina binder and bismuth oxide aggregate is given. The binder synthesis was carried out in accordance with well-established principles underlying production of ceramic concretes based on artificial ceramic binders (ACB). The test results of samples are presented. Optimal production conditions and component mix proportions providing high physico-mechanical and radiation-protective material properties were identified. Technological creating methods of ceramic composites having density from 2800 to 5550 kg/m<sup>3</sup> have been developed.*

**Key words:** artificial ceramic binders, bismuth oxide aggregate, ceramic composite materials, radiation-protective materials, gamma radiation, linear attenuation coefficient.

---

**Яшкина Светлана Юрьевна**, аспирант кафедры технологии стекла и керамики.

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

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

E-mail: kolomytseva\_asp@mail.ru

**Дороганов Владимир Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии стекла и керамики.

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

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

E-mail: tsk\_bgtu@mail.ru

# МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.12737/article\_590878faf21b78.45764369

Богданов В.С., д-р техн. наук, проф.,  
Василенко О.С., аспирант,  
Богданов Д.В., канд., техн. наук, доц.,  
Фадин Ю.М., канд. техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КОНУСНОЙ ИНЕРЦИОННОЙ ДРОБИЛКИ

v.bogdanov1947@gmail.com

В данной статье представлена методика расчета производительности конусной инерционной дробилки, учитывающее конструктивные особенности рабочей камеры дробилки, скоростной режим ее работы, а также дробящее усилие, действующее на измельчаемый материал.

**Ключевые слова:** конусная дробилка, усилие дробления, скорость вращения, угол наклона конуса, масса, производительность.

В последние годы, в связи с возросшим потреблением щебня, как в жилищном, так и дорожном строительстве увеличивается количество дробильно-сортировочных комплексов, в которых на третьей стадии дробления применяются конусные инерционные дробилки [1, 2].

Для организации рационального режима работы технологической линии важно знать производительность дробилок на каждой стадии дробления. Чтобы предотвратить «завал» материалов, производительность последующей дробилки должна быть больше на 10–15 %, чем у предыдущей. При этом следует иметь в виду то, что чем выше производительность дробилки,

тем она дороже, тем больше капитальные затраты на весь технологический комплекс, что в целом повышает себестоимость готового продукта, т.е. снижает его конкурентоспособность на рынке.

Поэтому очень важно правильно выбрать дробилку по ее главному показателю – производительности. Она должна быть не больше и не меньше требуемой [3].

При расчете объемной пропускной способности конусной инерционной дробилки целесообразно исходить из предположения, что материал движется в зоне параллельности камеры как сплошная среда [4, 5].

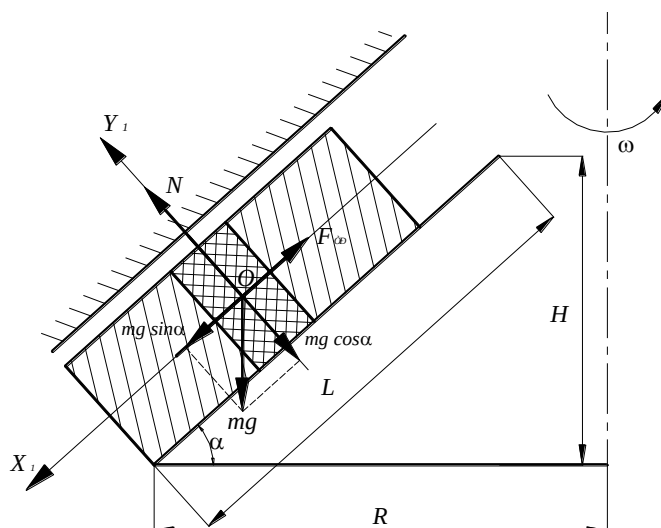


Рис. 1. Расчётная схема для определения объёмной пропускной способности конусной инерционной дробилки в зоне параллельности

Для вычисления пропускной способности зоны параллельности камеры дробления конусной инерционной дробилки введём декартову систему координат  $X_1 O Y_1$ . Начало координат

поместим в  $O$  центре масс. Согласно расчётной схеме (рис.1) уравнения движения, описывающее поведение выделенного объёма массы « $m$ » имеют следующий вид:

$$m\ddot{x}_1 = mg \sin \alpha - F_{mp}; \quad (1)$$

$$m\ddot{y}_1 = -mg \cos \alpha + mA\omega^2 \sin \omega t + N,$$

где  $F_{mp}$  – сила трения, возникающая между движущимся материалом и поверхностью подвижного конуса (Н), которая связана с силой нормального давления  $N$  следующим соотношением:

$$F_{mp} = \mu N, \quad (2)$$

здесь  $\mu$  – коэффициент трения.

Второе слагаемое в правой части системы (1) представляет собой выражение периодической силы воздействия подвижного конуса на материал в зоне параллельности с амплитудой  $A$  и частотой  $\omega$ .

В силу того, что ускорение вдоль оси „y“ отсутствует ( $\ddot{y}_1 = 0$ ), тогда согласно (1) находим, что:

$$N = mg \cos \alpha - mA\omega^2 \sin \omega t. \quad (3)$$

Подстановка (3) в первое уравнение системы (1) с учётом соотношения (2), приводит к следующему выражению:

$$\ddot{x}_1 = g \sin \alpha - \mu(g \cos \alpha - A\omega^2 \sin \omega t). \quad (4)$$

Объёмный расход материала (пропускная способность) вычисляем, опираясь на теорию бункеров [6]. Пространство, заключённое между образующей подвижного конуса и чашей камеры дробления можно интерпретировать как бункер, заполненный сыпучим материалом. Тогда пропускную способность дробилки можно рассматривать с позиции „истечения“ материала из пространства, образованного двумя вложенными усечёнными конусами (рис. 2.).

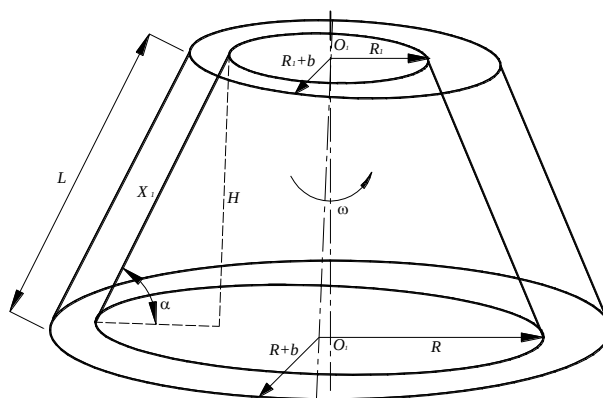


Рис.2. Расчётная схема истечения материала из зоны параллельности конусной инерционной дробилки.

Объём пространства, заключённого между двумя вложенными усечёнными конусами  $\Delta V$  равен

$$\Delta V = V_2 - V_1, \quad (5)$$

$$V_2 = \frac{1}{3} \pi H [(R+b)^2 + (R+b)(R_1+b) + (R_1+b)^2], \quad (6)$$

где  $H$  – высота усечённого конуса, м;  
 $H = L \sin \alpha$ ,

Аналогично величина объёма  $V_1$  определяется следующим соотношением:

$$V_1 = \frac{1}{3} \pi H [(R^2 + RR_1 + R_1^2)]. \quad (7)$$

Подстановка (6) и (7) в (5) приводит к выражению:

$$\Delta V = \pi H R b \left[ 1 + \frac{b}{R} + \frac{R_1}{R} \right]. \quad (8)$$

Согласно расчётной схеме рис. 2 находим:

$$R_1 = R - x_1 \cos \alpha. \quad (9)$$

где  $V_2$  – объём усечённого конуса, имеющего радиусы  $R+b$  – большего и  $R_1+b$  – меньшего основания, который определяется соотношением:

С учётом (9) соотношение (7) принимает вид:

$$\Delta V = \pi H R b \left[ 2 + \frac{b}{R} + \frac{x_1}{R} \cos \alpha \right]. \quad (10)$$

Тогда объёмная пропускная способность равна:

$$q = \left| \frac{d(\Delta V)}{dt} \right| = \pi H b \cos \alpha \frac{dx}{dt}. \quad (11)$$

Запишем объёмный расход материала в зависимости от угла поворота

$$\varphi = \omega t. \quad (12)$$

С учётом (12) соотношение (11) принимает значение



$$q = \pi H b \omega \cos \alpha \frac{dx}{d\varphi} . \quad (13)$$

В соотношении (4) перейдем от дифференцирования по времени к дифференцированию по углу поворота  $\varphi$ .

$$\frac{d^2 x}{d\varphi^2} = \frac{g}{\omega^2} (\sin \alpha - \mu \cos \alpha) + \mu A \sin \varphi . \quad (14)$$

Найдем изменение координаты  $x$  за один оборот. Для этого проинтегрируем (14) в пределах от 0 до  $2\pi$ . В результате получаем:

$$\frac{dx}{d\varphi} = 2\pi \frac{g}{\omega^2} (\sin \alpha - \mu \cos \alpha) . \quad (15)$$

Подстановка (15) в (13) приводит к окончательному результату,  $\text{м}^3/\text{с}$ :

$$q = 2\pi^2 \frac{g}{\omega} H b \cos \alpha (\sin \alpha - \mu \cos \alpha) . \quad (16)$$

Из полученного соотношения (16) следует, что объемный расход материала за один оборот конусной инерционной дробилки прямо пропорционален ширине разгрузочной щели „b“ и

обратно пропорционален частоте вращения дебаланса  $\omega$ ; при  $\omega \rightarrow \infty$  и  $q \rightarrow 0$  полученное уравнение объясняет эффект запрессовки материалом зоны параллельности [7].

Преобразовав соотношение (16) получаем уравнение, учитывающее массовый расход материала, т.е. производительность дробилки,  $\text{кг}/\text{ч}$ :

$$Q = 2\pi^2 \frac{g}{\omega} H b \cos(\alpha) (\sin \alpha - \mu \cos \alpha) \rho n , \quad (17)$$

здесь  $H$  – высота слоя материала заключенного в зоны параллельности,  $\text{м}$ ;  $\rho$  – плотность материала,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ,  $n$  – частота качения подвижного конуса,  $\text{мин}^{-1}$ .

Исходя из формулы (17) и экспериментальных данных, полученных нами, приведем графические зависимости изменения производительности от некоторых переменных.

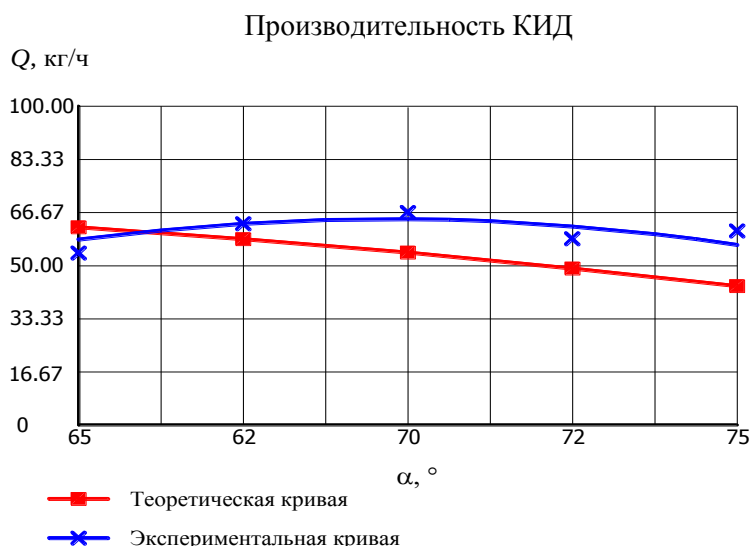


Рис. 3. График изменения общей производительности конусной инерционной дробилки КИД-60 от угла наклона образующей подвижного конуса

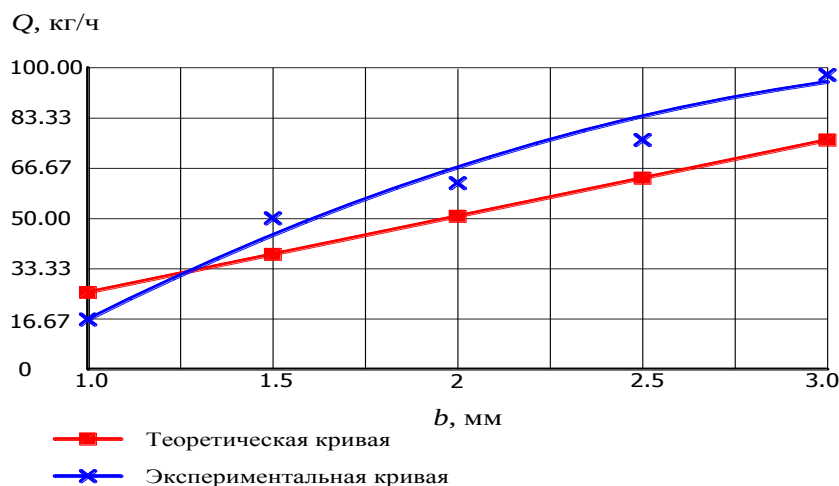


Рис. 4. График изменения общей производительности конусной инерционной дробилки КИД-60 от ширины разгрузочной щели

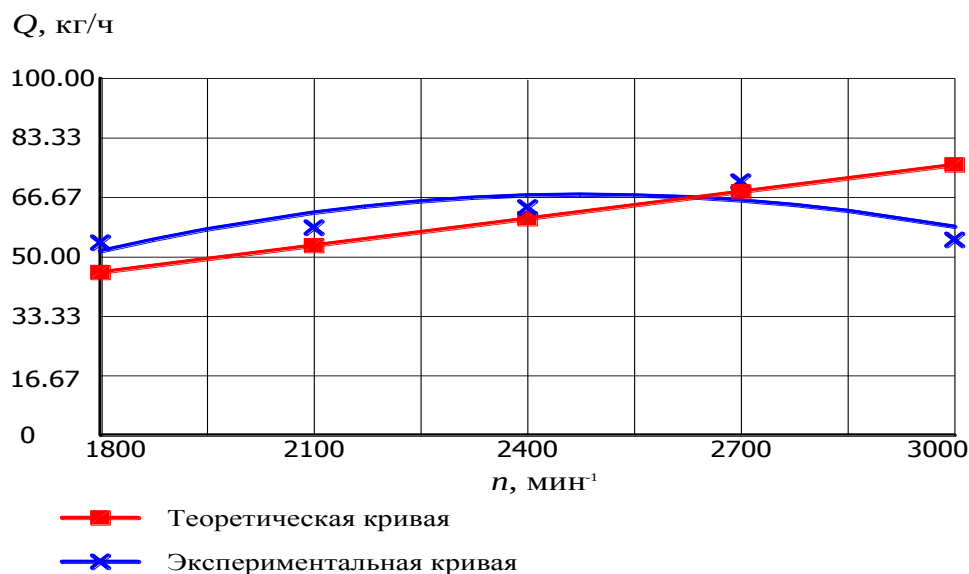


Рис. 5. График изменения общей производительности конусной инерционной дробилки КИД-60 от частоты качания подвижного конуса

Из приведённых графических зависимостей на рис. 3;4;5 следует достаточно хорошее совпадение теоретического описания производительности конусной инерционной дробилки в зависимости от технологических и конструктивных параметров с экспериментальными данными, что подтверждает правильность теоретических положений.

Таким образом, полученное нами уравнение (17) позволяет с достаточной для практических целей с точностью рассчитать производительность конусной инерционной дробилки с учетом конструктивных особенностей рабочей камеры и режимов работы.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фадин Ю.М., Авдеев Я.А. Классификация конусных дробилок // Материалы международной научно - практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и научно-технический прогресс». Старый Оскол: ООО «Ассистент плюс», 2014. С. 153–154.
2. Фадин Ю.М. Авдеев Я.А., Герасименко В.Б., Исаев В.С. Кинематика конусных дробилок // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства

строительных материалов: межвуз. сб. ст. / под ред. В.С. Богданова. Белгород, 2015. 484 с. Вып. XIV. С. 3–8.

3. Богданов В.С. Проблемы повышения эксплуатационной надежности дробильно-помольного оборудования // Цемент и его применение. 2015. №2. С. 48-48.

4. Клушанцев Б.В., Косарев А.И., Муйземнек Ю.А. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации. Москва: Машиностроение, 1990. 320с.

5. Демченко С.Е. Математическая модель процесса дробления в конусных дробилках // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2005. №11. С. 166–170

6. Гячев Л.В. Основы теории бункеров. Новосибирск: Изд-во Новосибирского университета, 1992. 310 с.

7. 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 – 2-е изд., перераб. и доп. Старый Оскол: ТНТ, 2016. 680с.

**Varenikova T.A., Smirnova M.A., Doroganov V.A.**

#### **CORUNDUM LIGHT-WEIGHT REFRACTORIES BASED ON HYDRAULIC BINDERS**

*Lightweight corundum products are successfully used for high-temperature insulation, applied in many industries, especially in metallurgical and refractory industries. This type of products is mainly produced by casting, which has a number of significant drawbacks. In this paper, it is proposed to use the method of vibrocompression, which would allow intensifying the technological process of production. The article presents the results of studying compositions for the preparation of corundum heat-insulating refractory materials using hydraulic binders. The main regularities of the influence of the charge components composition on*

*the samples' physico-mechanical characteristics are established. The optimal compositions have been identified that meet the requirements imposed in accordance with GOST 5040-2015 for KT-1,1 and KT-1,3 grades.*

**Key words:** *refractories, heat-insulating materials, corundum, alumina, high-alumina cement.*

---

**Богданов Василий Степанович**, доктор технических наук, профессор кафедры механического оборудования. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
E-mail: v.bogdanov1947@gmail.com

**Василенко Ольга Сергеевна**, аспирант кафедры механического оборудования. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
E-mail: olgavasilenko.85@mail.ru

**Богданов Денис Васильевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры механического оборудования. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: 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.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
E-mail: fadin.y@mail.ru

Бараковских Д.С., аспирант,  
Шишкин С.Ф., канд. тех. наук, доц.

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина

## ДВИЖЕНИЕ ДВУХФАЗНОГО ПОТОКА В РАЗГОННОЙ ТРУБКЕ СТРУЙНОЙ МЕЛЬНИЦЫ

d.s.barakovskikh@urfu.ru

Рассмотрен процесс движения двухфазного потока в разгонной трубке струйной мельницы. В рамках одномерной модели, движения сжимаемого газа, получена система уравнений, позволяющая, в зависимости от давления в начале разгонной трубки и расхода газа, определить основные параметры процесса разгона – скорость и концентрацию твердых частиц, необходимый диаметр и длину разгонной трубки. Из решения системы следует, что плотность двухфазного потока зависит от давления в начале разгонной трубки, и эта зависимость носит унитарный характер. Проведенные экспериментальные исследования процесса разгона двухфазного потока подтвердили адекватность, предложенной математической модели и характер зависимости плотности двухфазного потока от начального давления.

**Ключевые слова:** струйная мельница, разгонная трубка, уравнение движения, начальное давление, расход газа, скорость частиц, плотность двухфазного потока.

**Введение.** Измельчение в струйной мельнице – перспективный способ измельчения дисперсных материалов. Основные процессы, протекающие в данных аппаратах – эжектирование, разгон и разрушение твердых частиц о преграду или струя в струю. Все эти процессы влияют на эффективность измельчения, но разгон твердых частиц имеет определяющее значение. Процессу разгона частиц уделено внимание во многих работах [1–6, 9, 14]. В одних работах не учитываются расходная концентрация и свойства материалов, например, насыпная плотность [1, 14]. В других работах плотность газа принимается постоянной по длине разгонной трубки, т.е. газ рассматривается как несжимаемая среда, что является некорректным для высокоскоростных потоков [2].

**Основная часть.** Целью данной работы является разработка математической модели процесса разгона двухфазного потока в струйной мельнице, учитывая концентрацию и свойства дисперсных материалов, изменение плотности газа по длине разгонной трубки и граничные условия.

При выводе уравнений приняты следующие допущения:

1. Задача одномерная, рассматриваются осредненные по сечению разгонной трубки параметры двухфазного потока.

2. Газ и частицы имеют одинаковую температуру, теплообмена с окружающей средой не происходит. Течение газа адиабатическое с трением.

3. Частицы имеют одинаковый размер (монофракция) и взаимодействием частиц между собой можно пренебречь.

4. Концентрация частиц ограничена  $\mu=0,5–10$  кг/кг, поэтому уменьшением поперечного сечения трубки, за счет перекрытия сечения частицами, можно пренебречь.

5. При выводе уравнения движения частицы на горизонтальном участке трубы силой тяжести, действующей на частицу, пренебрегаем т.к. она на несколько порядков меньше силы сопротивления.

В рамках, принятых выше допущений, выведем уравнение движения газа с трением по трубе постоянного сечения, при наличии твердых частиц. На участке трубы длиной  $L$  уравнение Бернулли будет иметь известный вид [3, 7, 8, 11]

$$(M^2 - 1) \frac{dw}{w} + \frac{k}{a^2} dE_m + \frac{1}{a^2} dE = 0, \quad (1)$$

где  $M$  – число Маха  $M=w/a$ ;  $dE_m$  – работа сил трения, совершаемая при перемещении газа на расстояние  $dx$  отнесенная к одному килограмму газа, Дж/кг;  $dE$  – техническая работа, совершаемая газом по разгону твердых частиц, Дж/кг;  $w$  – скорость воздушного потока, м/с;  $a$  – скорость звука, м/с;  $k$  – показатель адиабаты.

Работу сил внутреннего трения  $dE_m$  можно выразить, если воспользоваться известным уравнением Дарси – Вейсбаха для определения потерь давления на трение при движении газа по трубе. Коэффициент трения  $\zeta(Re)$  входящий в это уравнение является функцией числа Рейнольдса и определяется либо по зависимости Блазиуса или Никурадзе [4,5,10].

Критерий Рейнольдса для трубы, при известном массовом расходе газа  $G$ , можно определить по зависимости

$$Re = \frac{4G}{\pi D \eta}, \quad (2)$$

где  $Re$  – критерий Рейнольдса для трубопровода;  $G$  – расход газа, кг/с;  $D$  – внутренний диаметр трубопровода, м;  $\eta$  – коэффициент динамической вязкости газа, Па·с.

Вязкость газа зависит от температуры. Коэффициент динамической вязкости газа при температуре  $T$  можно определить по формуле Сазерленда.

Для определения технической работы  $dE$  по перемещению частиц определим силу аэродинамического сопротивления  $dPs$ , действующую со стороны газа на частицы, находящиеся на участке  $dx$

$$dPs = \frac{3}{8} C_x (w - u)^2 \rho \frac{\mu G dx}{u r \rho_t}, \quad (3)$$

где  $dPs$  – сила аэродинамического сопротивления;  $u$  – скорость частицы, м/с;  $C_x$  – коэффициент сопротивления частиц,  $C_x = f(Re_c)$ ;  $\mu$  – расходная концентрация материала, кг/кг;  $x$  – текущая координата сечения, м;  $r$  – радиус частиц, м;  $\rho_t$  – плотность частиц, кг/м<sup>3</sup>.

Работа сил трения действующих на частицы производимая одним килограммом газа найдется по формуле:

$$dE = \frac{w^2}{2} K \mu \frac{dx}{D}, \quad (4)$$

где  $K$  определяется выражением [3]

$$K = \frac{3}{4} \frac{C_x}{\zeta} \frac{(1-j)^2}{j} \frac{\rho}{\rho_t} \frac{D}{r}, \quad (5)$$

где  $\zeta$  – коэффициент трения при движении газа в трубопроводе,  $\zeta = f(Re)$ ;  $j$  – относительная скорость движения частиц,  $j = u/w$ ;  $\rho$  – плотность воздушного потока,  $\rho = f(\lambda)$ , кг/м<sup>3</sup>.

Работа по разгону твердых частиц совершается силой сопротивления, и как работа сил внутреннего трения, приводит к падению давления по длине трубки. Вследствие этого происходит снижение плотности газа (его расширение) и увеличению скорости воздушного потока. Известно, что работа сил трения не приводит к снижению температуры торможения. В тоже время техническая работа  $dE$ , совершаемая газом по увеличению кинетической энергии твердых частиц приводит к снижению температуры торможения  $T_0$  [4]. Произведем оценку этого влияния на процесс разгона твердых частиц. Как правило, концентрация твердых частиц в струйных мельницах около  $\mu = 2$  кг/кг. В таблице 1 приведен расчет температуры торможения и критической скорости при движении двухфазного потока при данной концентрации материала.

Таблица 1

Расчет температуры торможения при движении двухфазного потока

| $w$ , м/с | $j$  | $u$ , м/с | $\lambda$ | $T_0(j, \lambda)$ | $a_k$ , м/с | $\Delta$ , % |
|-----------|------|-----------|-----------|-------------------|-------------|--------------|
| 100       | 0.10 | 10.0      | 0.031     | 308.15            | 321.3       | 0.0          |
| 110       | 0.15 | 16.5      | 0.051     | 308.15            | 321.3       | 0.0          |
| 120       | 0.20 | 24.0      | 0.075     | 308.14            | 321.3       | 0.0          |
| 130       | 0.25 | 32.5      | 0.101     | 308.12            | 321.3       | 0.0          |
| 140       | 0.30 | 42.0      | 0.131     | 308.07            | 321.2       | 0.0          |
| 150       | 0.35 | 52.5      | 0.163     | 307.98            | 321.2       | 0.0          |
| 160       | 0.40 | 64.0      | 0.199     | 307.82            | 321.1       | -0.1         |
| 170       | 0.45 | 76.5      | 0.238     | 307.56            | 321.0       | -0.1         |
| 180       | 0.50 | 90.0      | 0.280     | 307.14            | 320.7       | -0.2         |
| 190       | 0.55 | 104.5     | 0.325     | 306.51            | 320.4       | -0.3         |
| 200       | 0.60 | 120.0     | 0.374     | 305.59            | 319.9       | -0.4         |
| 210       | 0.65 | 136.5     | 0.425     | 304.28            | 319.2       | -0.6         |
| 220       | 0.70 | 154.0     | 0.479     | 302.46            | 318.3       | -0.9         |
| 230       | 0.75 | 172.5     | 0.537     | 300.03            | 317.0       | -1.3         |
| 240       | 0.80 | 192.0     | 0.598     | 296.82            | 315.3       | -1.9         |
| 250       | 0.85 | 212.5     | 0.661     | 292.70            | 313.1       | -2.5         |
| 260       | 0.90 | 234.0     | 0.728     | 287.52            | 310.3       | -3.4         |

Из приведенных данных следует, что изменение критической скорости не превышает

3,5 %. Поэтому можно принять, что  $T_0 = \text{const}$  и  $a_k = \text{const}$ .

Температура газа определяется с помощью газодинамической функции  $\tau(\lambda)$

$$T_0(u) = T_{01} - \frac{1}{C_p} \mu \frac{u^2 - u_1^2}{2}, \quad (6)$$

где  $T_0$  – температура торможения, К;  $C_p$  – удельная теплоемкость при постоянном давлении, Дж/(кг·К).

Учитывая, что  $u = j\lambda a_k$  из уравнения (6) следует

$$T_0 = \frac{T_{01} + \frac{\mu}{C_p} \frac{u_1^2}{2}}{1 + \frac{\mu}{C_p} \frac{k}{k+1} R \lambda^2 j^2}, \quad (7)$$

где  $R$  – удельная газовая постоянная, для воздуха  $R=287,1$  Дж/(кг·К);  $\lambda$  – приведенная скорость воздушного потока,  $\lambda = w/a_k$ ;  $a_k$  – критическая скорость, м/с.

$$T = \tau(\lambda) T_0 = \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda^2\right) T_0, \quad (8)$$

где  $T$  – температура газа, К;  $\tau(\lambda)$  – газодинамическая функция.

$$\frac{4\pi r^3}{3} \rho_t \frac{du}{dt} = \frac{1}{2} C_x \pi r^2 \rho (w-u)^2 + \frac{4\pi r^3}{3} \rho \frac{dw}{dt} + \frac{2\pi r^3}{3} \rho \frac{d(w-u)}{dt}. \quad (12)$$

Учитывая, что для воздуха  $\rho_t \gg \rho$  и разделив обе части уравнения на массу, получим:

$$\frac{du}{dt} = \frac{3}{8} C_x \frac{\rho}{\rho_t} \frac{(w-u)^2}{r} + \frac{3}{2} \frac{\rho}{\rho_t} \frac{dw}{dt}. \quad (13)$$

Если в уравнении (13) перейти к относительной скорости частиц  $j=u/w$  и приведенной скорости потока  $\lambda=w/a_k$ , а также к безразмерной координате  $z$ , то уравнение (13) примет вид:

$$\frac{dj}{dz} = \frac{3}{8} C_x \frac{\rho}{\rho_t} \frac{(1-j)^2}{j} \frac{D}{r} - \frac{j}{\lambda} \frac{d\lambda}{dz}. \quad (14)$$

Коэффициент сопротивления частиц  $C_x$  определяется с помощью универсальной зависимости Браура–Мьюса [10], которая справедлива в широком диапазоне чисел Рейнольдса.

При заданном массовом расходе  $G$  газа и диаметре  $D$  трубы критерий Рейнольдса для частицы можно определить по зависимости:

$$Re_c = \frac{8rG(1-j)}{\eta \pi D^2}, \quad (15)$$

где  $Re_c$  – критерий Рейнольдса для частиц.

Таким образом, получаем систему нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений

С учетом полученных зависимостей уравнение Бернулли (1) примет вид:

$$(M^2 - 1) \frac{dw}{w} + k \varsigma \frac{M^2}{2} \frac{dx}{D} + \frac{M^2}{2} K \mu \frac{dx}{D} = 0. \quad (9)$$

Если перейти к приведенной скорости  $\lambda$  и относительной координате  $z=x/D$ , то уравнение (9) примет окончательный вид:

$$\frac{d\lambda}{dz} = \varsigma \frac{k}{k+1} \left[1 + \frac{\mu}{k} K\right] \frac{\lambda^3}{1-\lambda^2}. \quad (10)$$

Уравнение (10) представляет собой уравнение Бернулли в форме уравнения энергии для сплошной фазы при движении газа в разгонной трубке постоянного сечения и при наличии твердых частиц с расходной концентрацией  $\mu$ . Если положить  $\mu=0$ , то и уравнение (10) примет хорошо известный вид для движения сжимаемого газа с трением в трубе постоянного сечения [3, 12,14]

$$\frac{1-\lambda^2}{\lambda^2} \frac{d\lambda}{\lambda} = \frac{k}{k+1} \varsigma \frac{dx}{D}. \quad (11)$$

Уравнение движения частицы в разгонной трубке можно записать в следующем виде [6]

$$\begin{cases} \frac{d\lambda}{dz} = \varsigma \frac{k}{k+1} \left[1 + \frac{\mu}{k} K\right] \frac{\lambda^3}{1-\lambda^2}, \\ \frac{dj}{dz} = \frac{1}{2} \varsigma K - \frac{j}{\lambda} \frac{d\lambda}{dz} \end{cases}, \quad (16)$$

Данную систему ОДУ необходимо решать на участке разгонной трубки  $0 \leq z \leq L/D$ , где  $L$  – длина разгонной трубки, м.

При заданном расходе сжатого воздуха  $G$ , неизвестны параметры сжатого воздуха в начальном сечении. Задавать их произвольно некорректно, так как эти параметры зависят от величины потерь давления по длине разгонной трубки. В нашем случае приведенную скорость  $\lambda_1$  можно найти численным методом, решая систему уравнений методом Рунге-Кутты, соблюдая граничные условия:  $j(0)=j_1$  и  $\lambda(L/D)=\lambda_2$  причем  $P(\lambda_2)=P(L/D)=P_a$ .

При этом порозность неподвижного слоя  $\varepsilon_0$  определяется:

$$\varepsilon_0 = 1 - \frac{\rho_n}{\rho_t}, \quad (17)$$

где  $\varepsilon_0$  – порозность неподвижного слоя материала;  $\rho_n$  – насыпная плотность материала, кг/м<sup>3</sup>.

Порозность начала подвижности слоя (ожигения)  $\varepsilon_k = 1,2 \varepsilon_0$ , определяется экспериментально для конкретного материала.

Статическое давление  $P$  определяется из уравнения неразрывности:

$$P = \frac{G\sqrt{T_0}}{mFy(\lambda)}, \quad (18)$$

где  $P$  – статическое давление воздушного потока, Па;  $m$  – коэффициент, для воздуха  $m=0,0404$ ,  $\text{м}^{-1}\cdot\text{с}\cdot\text{К}^{0,5}$ ;  $F$  – площадь поперечного сечения трубы,  $\text{м}^2$ ;  $y(\lambda)$  – газодинамическая функция.

Полное давление найдется с помощью газодинамической функции  $\pi(\lambda)$ :

$$P_p = \frac{P}{\pi(\lambda)}, \quad (19)$$

где  $P_p$  – полное давление воздушного потока, Па;  $\pi(\lambda)$  – газодинамическая функция.

С помощью газодинамической функции  $\tau(\lambda)$  находится температура газа:

$$T = T_0 \tau(\lambda). \quad (20)$$

Плотность газа находится из уравнения неразрывности по зависимости:

$$\rho = \frac{G}{\lambda a_k F}, \quad (21)$$

Используя уравнение неразрывности для двух сечений для газа:

$$G = \varepsilon_1 \rho_1 w_1 = \varepsilon_2 \rho_2 w_2 = \varepsilon_1 \rho_1 a_k \lambda_1 = \varepsilon_2 \rho_2 a_k \lambda_2, \quad (22)$$

и уравнение неразрывности для твердой фазы:

$$G_t = (1 - \varepsilon_1) \rho_t u_1 = (1 - \varepsilon_2) \rho_t u_2, \quad (23)$$

выводятся соотношения, применяемы в любом сечении разгонной трубки:

$$\frac{(1 - \varepsilon)}{\varepsilon} = \frac{\rho}{\rho_t} \frac{\mu}{j} = \frac{P}{RT\rho_t} \frac{\mu}{j}, \quad (24)$$

где  $\varepsilon$  – порозность слоя материала;  $G_t$  – соответственно расход твердой фазы и газа,  $\text{кг/с}$ .

Из соотношения (24) определяется порозность:

$$\varepsilon = \frac{1}{1 + \frac{\rho}{\rho_t} \frac{\mu}{j}}, \quad (25)$$

На базе данной методики, можно получить изменение параметров двухфазного потока по длине разгонной трубки: скорости воздуха  $w_i(z_i)$  и частиц  $u_i(z_i)$ , температуры  $T_i(z_i)$ , давления  $P_i(z_i)$ , плотности  $\rho_i(z_i)$  и вязкости воздуха  $\eta_i(z_i)$ , порозности  $\varepsilon_i(z_i)$  и истинной локальной концентрации  $\mu_{iil}(z_i)$ , а также зависимости изменения относительной скорости частицы  $j(z)$  и приведенной скорости потока  $\lambda(z)$  по длине разгонной трубки.

Изменение этих параметров по длине показывают, что одним из факторов разгона твердых частиц является давление в начале разгонной трубки  $P_n$  и расход газа. Именно оно влияет на производительность и разгон. Давление в начале

трубки зависит от расходной концентрации  $\mu$  материала и сопротивления разгонной трубки. Когда давления в начале трубки не хватает для преодоления сопротивления, при заданной концентрации, возникает один из режимов запыления эжектора [3], при котором происходит обратный выброс части материала.

Для оценки начального давления для чистого газа используется приближенная формула Абрамовича [3]:

$$P_p = \frac{\alpha P_0 + P_a}{1 + \alpha}, \quad (26)$$

где  $\alpha$  – основной геометрический параметр эжектора;  $P_0$  – давление торможения, Па;  $P_a$  – атмосферное давление, Па.

Для двухфазного потока такой формулы нет, но предложенная методика позволяет рассчитать необходимое давление в начале разгонной трубки.

В работе [13] рассматривалось влияние давления на разгон двухфазного потока. Показана зависимость плотности двухфазного потока от давления в начале разгонной трубки. Эта зависимость носит унитарный характер при различных концентрациях материала и различных диаметрах сопла.

Для проверки адекватности предложенной методики использовался эжектор струйной мельницы, в котором измерялось давление в начальном сечении разгонной трубки. Экспериментальное значение давления в начале разгонной трубки  $P_{н.экc}$  сравнивалось с давлением  $P_{н.рас}$ , полученным при расчете предложенной модели.

Схема установки представлена на рисунке 1. Она включает в себя: бункер исходного материала 1, сверхзвуковое сопло 2, разгонную трубку 3, импульсные трубки 4 для отбора статического давления, камеру смешения 5. Установка имеет следующие геометрические параметры: длина разгонной трубки  $L=500$  мм, диаметр разгонной трубки  $D=15$  мм, диаметр сверхзвукового сопла  $d_s=6$  мм. Давление торможения перед соплом изменялось в пределах  $P_0=0,5-5$  ата. Эжектор находился под завалом, и расходная концентрация по материалу  $\mu$  устанавливалась самопроизвольно, в зависимости от давления торможения. Коэффициент эжекции равен нулю, т.к. бункер с материалом герметичен, поэтому расход воздуха в разгонной трубке будет равен расходу воздуха через сопло.

В качестве дисперсного материала использовался кварцевый песок с плотностью  $\rho_t=2650$   $\text{кг/м}^3$ , насыпной плотностью  $\rho_n=1600$   $\text{кг/м}^3$  и средним размером частиц  $d_c=334$  мкм.

Статическое давление измерялось микропроцессорным датчиком избыточного давления



Метран-100 ДИ и записывалось в режиме реального времени на ПЭВМ.

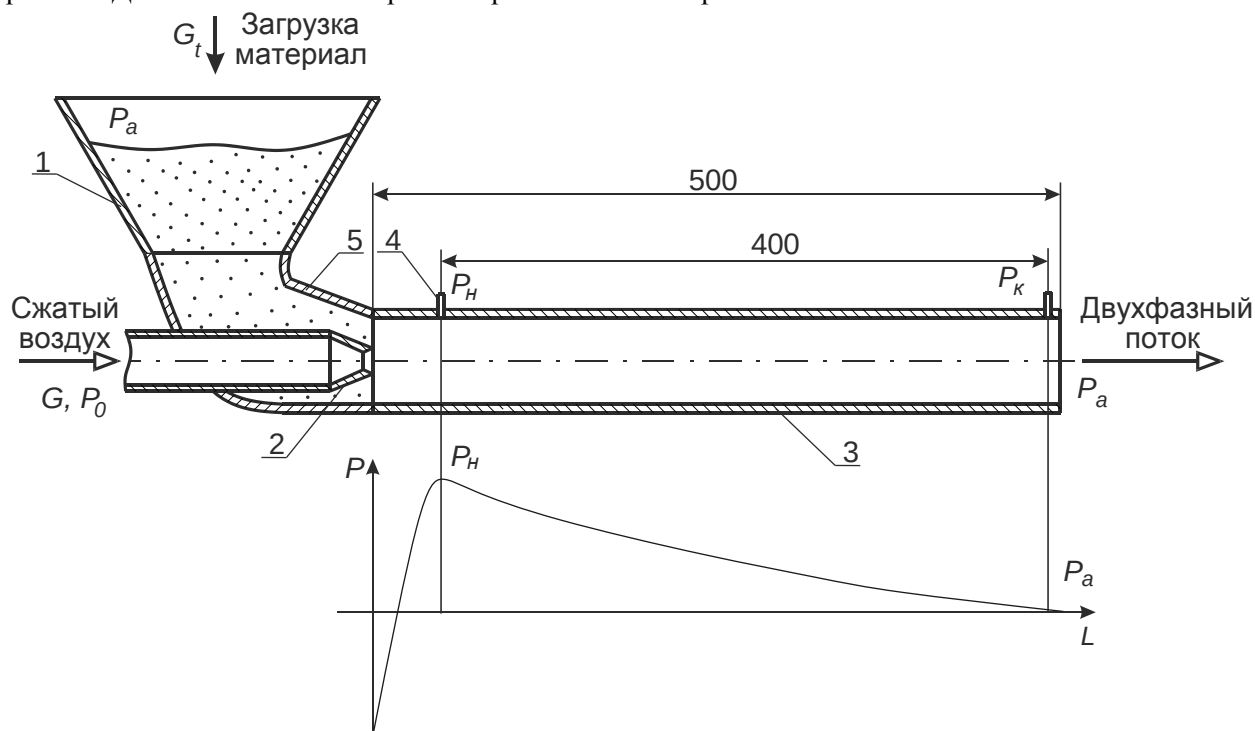


Рис. 1. Схема эжектора струйной мельницы с графиком распределения давления по длине разгонной трубки

Для определения плотности двухфазного потока  $\rho_{\text{дф}}$  в произвольном сечении трубы использовалась следующая зависимость:

$$\rho_{\text{дф}} = \frac{(G + G_t)}{F}, \quad (27)$$

где  $\rho_{\text{дф}}$  – плотность двухфазного потока,  $\text{кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ .

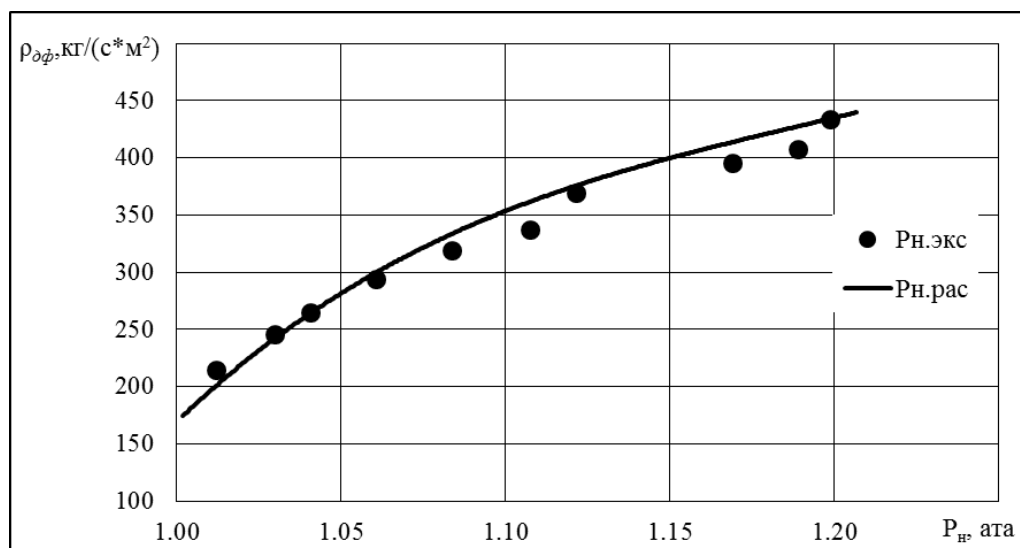
В таблице 2 приведены экспериментальные данные рабочих параметров эжектора при разном давлении торможения, а также сравнение расчетных и опытных значений статического давления в начале разгонной трубки.

Таблица 2

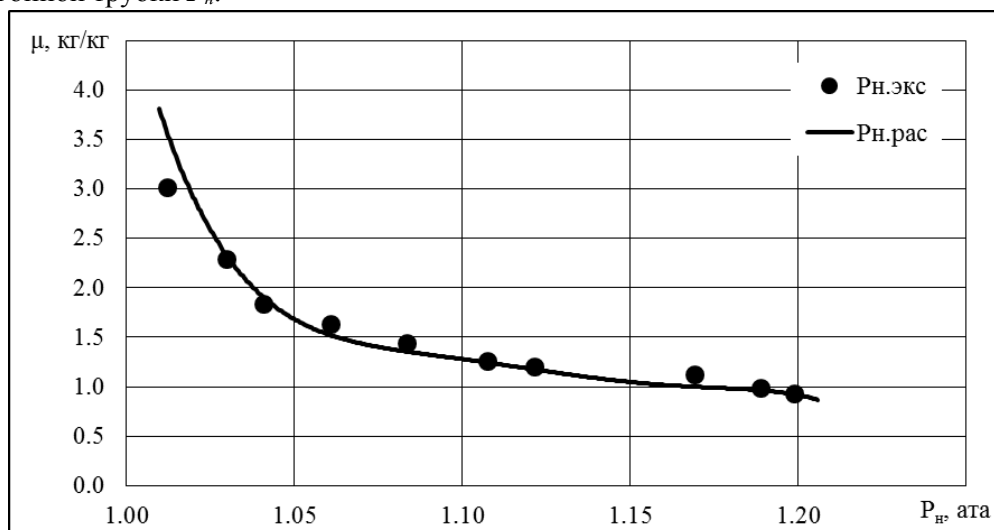
### Экспериментальные данные рабочих параметров эжектора

| №  | $P_0$ , ати | $G$ , кг/с | $Gt$ , кг/с | $\mu$ , кг/кг | $\rho_{\text{дф}}$ , $\text{кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ | $P_{\text{н.экс}}$ , ата | $P_{\text{н.рас}}$ , ата |
|----|-------------|------------|-------------|---------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1  | 0.5         | 0.0095     | 0.0286      | 3.020         | 215.215                                                      | 1.012                    | 1.019                    |
| 2  | 1.0         | 0.0132     | 0.0303      | 2.298         | 246.096                                                      | 1.030                    | 1.030                    |
| 3  | 1.5         | 0.0165     | 0.0303      | 1.839         | 264.750                                                      | 1.041                    | 1.042                    |
| 4  | 2.0         | 0.0198     | 0.0323      | 1.631         | 294.467                                                      | 1.061                    | 1.056                    |
| 5  | 2.5         | 0.0231     | 0.0333      | 1.445         | 319.205                                                      | 1.083                    | 1.073                    |
| 6  | 3.0         | 0.0264     | 0.0333      | 1.264         | 337.859                                                      | 1.107                    | 1.091                    |
| 7  | 3.5         | 0.0297     | 0.0357      | 1.204         | 369.987                                                      | 1.121                    | 1.114                    |
| 8  | 4.0         | 0.0330     | 0.0370      | 1.124         | 396.126                                                      | 1.169                    | 1.140                    |
| 9  | 4.5         | 0.0363     | 0.0357      | 0.985         | 407.295                                                      | 1.189                    | 1.164                    |
| 10 | 5.0         | 0.0396     | 0.0370      | 0.936         | 433.434                                                      | 1.199                    | 1.197                    |

На рисунке 2 представлен график зависимости плотности двухфазного потока  $\rho_{\text{дф}}$  от давления в начале разгонной трубки  $P_{\text{н}}$ .

Рис. 2. Зависимость плотности двухфазного потока  $\rho_{дф}$  от давления в начале разгонной трубки  $P_n$ 

На рисунке 3 представлен график зависимости концентрации материала  $\mu$  от давления в начале разгонной трубки  $P_n$ .

Рис. 3. Зависимость концентрации материала  $\mu$  от давления в начале разгонной трубки  $P_n$ 

Представленные данные свидетельствуют об адекватности предложенной математической модели, точность которой позволяет применять ее для инженерных расчетов. Из полученных данных следует, что для обеспечения максимальной плотности двухфазного потока необходимо обеспечить максимальное давление в начале разгонной трубки.

**Выводы.** Полученная система уравнений, описывает процесс разгона двухфазного потока в струйной мельнице в рамках одномерной модели. Данный метод учитывает расходную концентрацию материала, сжимаемость воздушного потока, давления в начале и на срезе разгонной трубки, расход газа. Расчетные и экспериментальные данные подтвердили унитарный характер зависимости плотности двухфазного потока от начального давления. Предложенный метод

позволяет рассчитать все параметры двухфазного потока, выбрать геометрические параметры, необходимые при разработке и проектировании струйных мельниц.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Витушкин В.В., Каретников Г.К., Овчинников В.М., Прохоров В.Н., Сутырин И.А. Исследование разгона частиц твердого материала в пневмоструйных измельчителях // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2004. №4. С. 43–56
2. Акунов В.И. Струйные мельницы. М.: Машиностроение, 1967. 263 с.
3. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. М.: Наука, 1991. 600с.

4. Дейч М.Е. Техническая газодинамика. Изд. 3-е, перераб. М.: «Энергия», 1974. 592 с. с ил.
5. Альтшуль А.Д., Киселев П.Г. Гидравлика и аэродинамика: учебн. пос. для вузов. М.: Стройиздат, 1975. 323 с.
6. Медников Е.П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей. М.: Наука, 1980. 176 с.
7. Шишкин С.Ф., Гаврилюк Д.Н., Калинин А.Н. Расчет пневмотранспорта на горизонтальных участках / Строительство и образование: сб. науч. тр. Екатеринбург, 2004. // Урал. гос. техн. ун-т, Урал. отд-ние Ассоц. строит. вузов РФ. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. С. 183–187.
8. Шишкин С.Ф., Гаврилюк Д.Н. Расчет процесса пневмотранспорта дисперсного материала с помощью газодинамических функций / Механика и процессы управления: труды XXXIV Уральского семинара. 2004 г., Екатеринбург // РАН, Урал. отделение проблем машиностроения, механики и процессов управления, ВАК, Мин. Обр. и науки РФ, Государственный ракетный центр «КБ им. В.П. Макеева 2004. С. 198–204.
9. Алхимов А.П., Клишков С.В., В.Ф. Косарев В.Ф., Фомин В.М. Холодное газодинамическое напыление. Теория и практика. М.: Физматлит, 2010. 536 с.
10. Плановский А.Н., Муштаев В.Н., Ульянов В.М. Сушка дисперсных материалов в химической промышленности. М.: Химия, 1979. 288 с.
11. Шишкин С.Ф., Шишкин А.С. Движение двухфазного потока в трубе постоянного сечения / Физико-химия и технология оксидно-силикатных материалов: материалы междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург, 17-19 февр. 2000 г. // Урал. гос. техн. ун-т, Урал. отд-ние Ассоц. строит. вузов РФ. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2000. С. 225–230.
12. Пирумов У.Г., Росляк Г.С. Газовая динамика сопел. М.: Наука, 1990. 368 с.
13. Шишкин С.Ф., Шишкин А.С. Процесс эжектирования твердых частиц в струйной мельнице / Физико-химия и технология оксидно-силикатных материалов: материалы междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург, 17-19 февр. 2000 г. // Урал. гос. техн. ун-т, Урал. отд-ние Ассоц. строит. вузов РФ. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2000. С. 230–233.
14. Бараковских Д.С., Шишкин С.Ф., Шишкин А.С. Движение частиц в разгонной трубке струйной мельницы при малых концентрациях // Вестник Белгородского государственного технического университета им. В.Г. Шухова 2016. №4. С.121–128.

---

**Barakovskikh D.S., Shishkin S.F.**

**MOVEMENT OF TWO-PHASE FLOW IN ACCELERATING TUBE OF THE JET MILL**

*Two-phase movement process in accelerating tube of the jet mill has been considered. The equations system in the framework of one-dimensional movement of the compressive gas has been obtained. The system in question allows the main parameters of the acceleration process i.e. velocity and solid particles concentration, diameter required and the accelerating tube length to be determined at the beginning of the tube acceleration and gas consumption, depending on pressure. From this solution, it follows that the two-phase flow density depends on pressure at the beginning of the accelerating tube and this pressure dependence is of universal character. The experimental investigations of the two-phase acceleration flow process carried out have confirmed adequacy of the mathematical model suggested and the character of the two-phase flow density dependence from the original pressure.*

**Key words:** jet mill, accelerating tube, movement equation, original pressure, gas flow consumption, particles velocity, two-phase flow density.

---

**Бараковских Дмитрий Сергеевич**, аспирант.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

Адрес: Россия, Екатеринбург, 620002, ул. Мира, 28. ИНМТ, ДСМ, Мт-126/4

E-mail: d.s.barakovskikh@urfu.ru

**Шишкин Сергей Федорович**, кандидат технических наук, доцент

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

Адрес: Россия, Екатеринбург, 620002, ул. Мира, 28. ИНМТ, ДСМ, Х-200

E-mail: shsf@planet-a.ru

DOI: 10.12737/article\_590878fb1ef922.54780407

Герасимов М.Д., канд. техн. наук, доц.,  
Горшков П.С., канд. техн. наук, доцент,  
Бражник Ю.В., старший преподаватель  
Грудина В.А., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ВАРИАЦИЙ НАСАДОК (СОПЕЛ) ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОГО 3D ПРИНТЕРА\*

mail\_mihail@mail.ru

Интенсивное развитие аддитивных технологий в целом ряде отраслей промышленности вызвало необходимость реализации подобных проектов в строительстве. На рынке строительной техники широко рекламируются установки для производства строительных работ и изготовления целого ряда строительных изделий. Следует отметить, что в настоящее время во многих научно-исследовательских центрах ведётся целый комплекс работ по отработке оптимальных составов строительной смеси, смесительного и формующего оборудования, средств автоматизации и управления для получения строительных трёхмерных моделей. Известно, что в смежных отраслях промышленности, таких как медицина, производство компьютерного оборудования, накоплен некоторый опыт, который может быть использован в аддитивных технологиях строительного производства. Анализ и критическая оценка существующих инструментов в смежных отраслях может существенно сократить объём и время научных исследований по внедрению аддитивных технологий в строительстве.

**Ключевые слова:** аддитивные технологии, строительное производство, шнековый нагнетатель, формующая головка, сопло, реологическая модель, эффективная вязкость.

Интенсивное развитие аддитивных технологий приводит к тому, что существенно меняются взгляды и на технологию изготовления как некоторых строительных изделий, так и строительных технологий в целом. На рынке строительной индустрии появляется [1, 2 и др.] целый ряд предложений по созданию и реализации строительных 3D принтеров. Данное направление в строительстве сегодня наращивает опыт создания и производства такого оборудования.

Следует отметить, что часть рабочих узлов 3D принтеров, в том или ином виде, используется в смежных отраслях промышленности. Если 3D принтер рассматривать как «печатающую руку в строительстве», для удобства назовём такое устройство – PERST, то оно в общем случае состоит из нескольких основных узлов и систем: рама; узел приготовления строительной смеси; система подачи, строительной смеси; формующий узел; система автоматического управления и система интеллектуального обеспечения. В качестве формующего инструмента, прежде всего, может быть рассмотрено – сопло.

### 1. Обзор областей техники, использующих инструмент – сопло.

Сопло – канал переменного поперечного сечения, предназначенный для разгона жидкостей или газов до определённой скорости и придания потоку требуемого направления [3]. Принцип действия сопла основан на непрерывном увеличении скорости жидкости или газа в направлении течения от входного до выходного

сечения. Для обеспечения течения жидкости (газа) необходим перепад давления с превышением его на входном сечении.

В частном случае, сопло представляет собой канал, суженный в середине.

Отличительной особенностью сопла является: назначение (для разгона жидкости, газов и газо-твёрдой смеси); форма канала (специальный профиль, сопло Лавалья, сопло Вентури); резкое изменение по длине сопла скорости потока ( $v$ ) и давления ( $p$ ).

1.1. Сопло Лавалья – газовый канал особого профиля, разгоняющий проходящий по нему газовый поток до сверхзвуковых скоростей, рис. 1.

Ни одно из конструктивных особенностей сопла Лавалья использовать в системе ПЕРСТ не имеет смысла, так как в данной системе бесконечно малые скорости движения потока в сравнении со скоростями в сопле Лавалья. Однако, характер поведения давления в любом виде формующего звена системы ПЕРСТ должен учитываться. Закономерность снижения давления от входного сечения к выходному – сохраняется в любом формующем устройстве проходного типа.

1.2. Сопло Вентури – сопло, рис. 2, которое состоит из входной части, горловины, и выходной части в виде расходящегося конуса, диффузора. Конструкция сопла ИСА 1932 регламентируется ГОСТ8586.3-2005(ИСО 5167-3:2003), рис. 3.

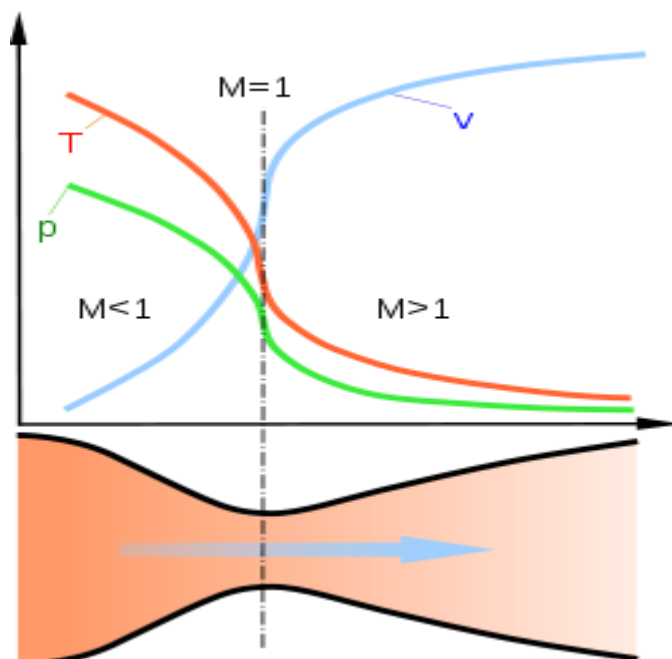


Рис. 1. Схема сопла Лавала [4]

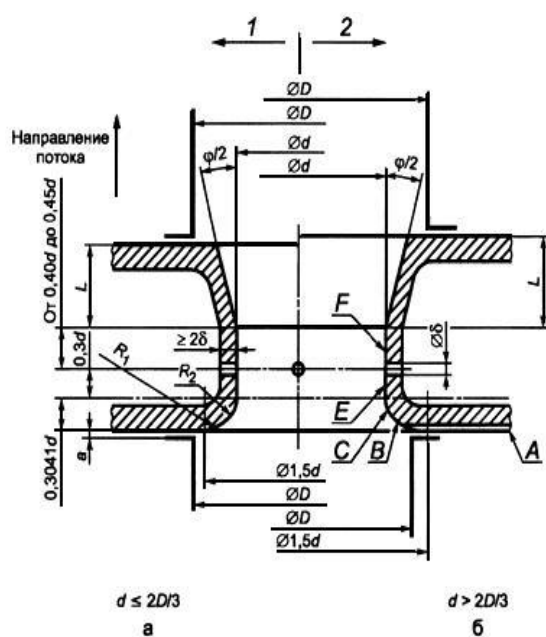


Рис. 2. Сопла Вентури

- 1 – укороченное сопло Вентури;  
2 – неукороченное сопло Вентури

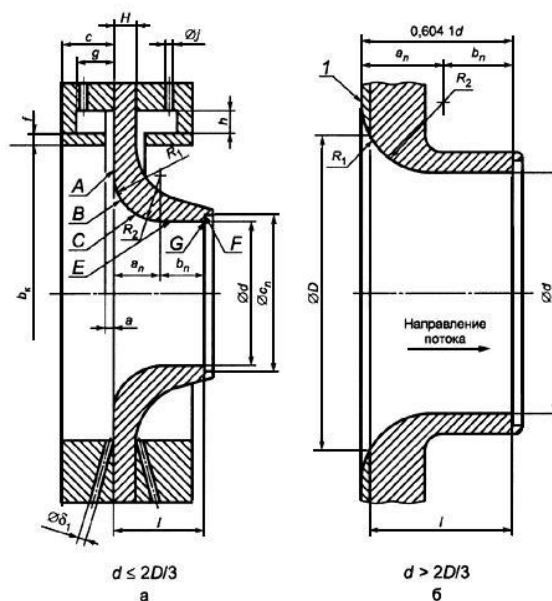


Рис. 3. Сопло ИСА 1932

Часть сопла, расположенная в трубе, является круглой. Сопло состоит из сужающейся секции с закругленным профилем и цилиндрической горловины.

### 1.3. Конструкции сопла для пескоструйной установки.

Пескоструйная обработка материалов представляет собой целую отрасль по обработке, восстановлению, продлению срока службы различных изделий и материалов. Пескоструйной

обработке подвергают такие материалы как металл, дерево, керамические материалы и многие другие. Среди объектов пескоструйной обработки: днища судов, трубопроводы, цистерны и металлические ёмкости, кирпичные кладки стен, деревянные конструкции зданий и сооружений.

Рассмотрим конструкции отдельных представителей таких сопел [5], которые являются расходным материалом.



Рис. 4. Сопла BLVW-6 (9,5 мм). Материал – Карбид бора. Ресурс (ч) – 1000



Рис. 5. BS435-8 (12,5 мм). Материал – Карбид бора. Ресурс (ч) – 1000



Рис. 6. Инструменты ООО «Группа Компаний «ТехноСпецСнаб»



Рис. 7. Сопла Вентури из карбида вольфрама серии СТС

Срок службы - до 400 часов; оболочка – алюминий; резьба – 50 мм Входной диаметр – 32 мм. Диаметр и длина сопла, мм: 6.5×130; 8.0×150; 9.5×170; 11.0×200; 12.5×210.



Рис. 8. Сопла Вентури из карбида вольфрама серии МТС. Срок службы – до 400 часов; оболочка – алюминий; резьба – 50 мм, входной диаметр – 25 мм. Диаметр и длина сопла, мм: 5.0×80; 6.5×80; 8.0×80; 9.5×80; 11.0×80; 12.5 ×80



Рис. 9. Сопла для трубной очистки серии РТС 360° из карбида вольфрама, срок службы – до 400 часов, оболочка – алюминий. Резьба – 50 мм. Входной диаметр – 32 мм. Диаметр и длина сопла: 8.0×75 мм

В комплект инструментов пескоструйных установок входят также соплодержатели и крабовые сцепления.

## 2. Обзор формующего оборудования экструзионных машин

Производство полимерных материалов получило широкое распространение в отечественной и зарубежной промышленности. Основы теории экструзионных процессов были заложены в первой четверти 20 века. Теорию экструзионных процессов формировали такие учёные,

как: Э.П. Бернхард, М. Рейнер, В. Филлипоф и другие.

Экструзия - метод формования в экструдере изделий или полуфабрикатов неограниченной длины продавливанием расплава полимера через формующую головку с каналами необходимого профиля [14]. Для этого используют шнековые или червячные экструдеры.

Наиболее простым является одношнековый экструдер без зоны дегазации (рис. 10). Основными элементами экструдера являются обогреваемый цилиндр, шнек (с охлаждением или без

него), сетки, размещаемые на решетке, и формирующая головка. В зависимости от природы полимера, технологических режимов переработки

применяются шнеки различного профиля, в частности с различным характером изменения глубины  $h$  нарезки по длине шнека.

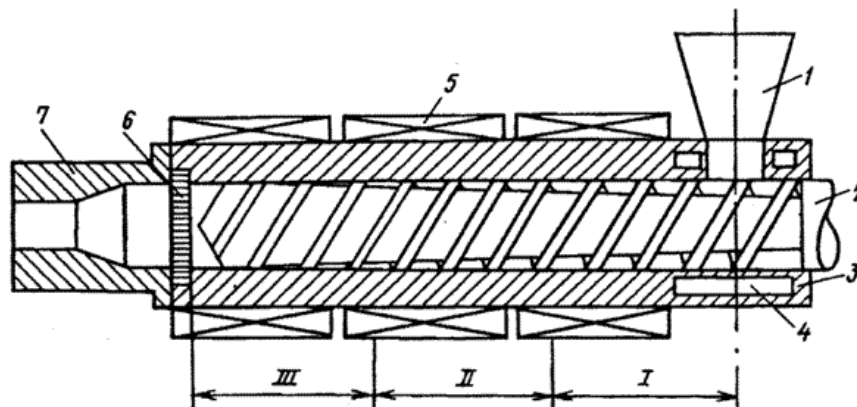


Рис. 10. Схема одношнекового экструдера: 1 – бункер; 2 – шнек; 3 – цилиндр; 4 – полость для циркуляции воды; 5 – нагреватель; 6 – решетка с сетками; 7 – формирующая головка; I, II, III – технологические зоны [5]

В зависимости от вида выпускаемого изделия применяют либо коротко-, либо длинношnekовые машины, т. е. с малым или большим отношением длины  $L$  к диаметру  $D$  шнека ( $L/D$ ). Значения  $D$  и  $L/D$  являются основными характеристиками одношнекового экструдера. Параметрический ряд отечественных экструдеров построен по диаметрам шнека:  $D = 20; 32; 45; 63; 90; 125; 160; 200; 250; 320$  мм. В наименовании типоразмера пресса указываются  $D$  и  $L/D$ . Например, ЧП-45х20 означает следующее: ЧП – червячный пресс,  $D = 45$  мм,  $L/D = 20$ .

Несмотря на простоту схемы формирующей головки на рис. 10, в практике проектирования и создания экструдеров, данный узел представляет собой сложное техническое решение и носит узкий, специализированный характер. Однако, шнековая часть экструдера представляет собой узел, универсальный для многих машин и его рассмотрение может быть полезным для системы PERST.

Важной особенностью экструдеров является зависимость производительности шнековой и формирующей части от давления прессования, рис. 11.

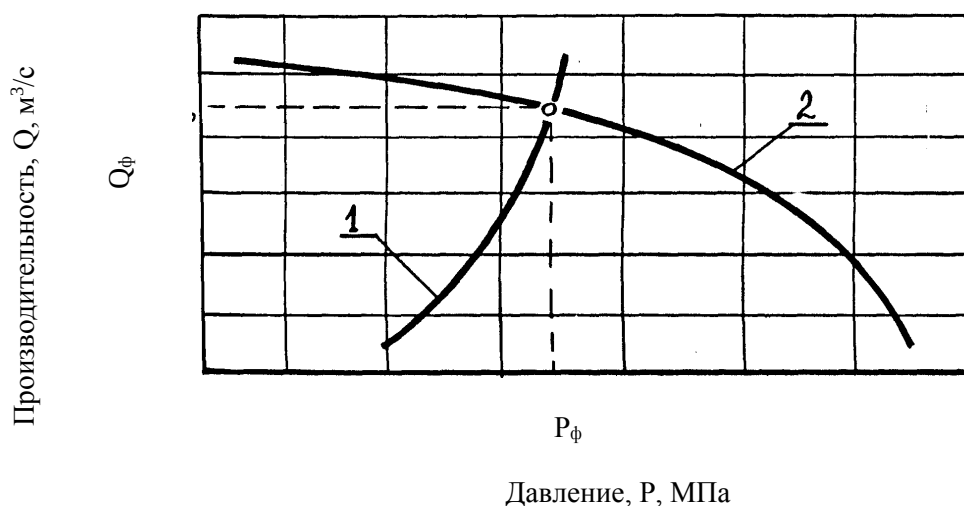


Рис. 11. Определение фактической производительности ( $Q_{\phi}$ ) и давления ( $P_{\phi}$ ) по характеристикам шнека (1) и формирующей головки (2) [7]

Из рис. 11 видно, что с ростом давления производительность головки растёт, а производительность шнеков – падает. Причём, шнек 1

подвержен меньшему влиянию давления, чем шнек 2.

Из приведенной информации видно, что формирующая часть экструдера не может служить



аналогом построения формующей части системы PERST. Однако, вопросы, относящиеся к шнековому нагнетателю, такие как соотношение диаметра и длины, изменение шага и глубины канала по длине и др., в полной мере могут учитываться при разработке шнековой части системы PERST.

### 3. Анализ оборудования керамического производства

Как показывает анализ оборудования для строительных 3D принтеров, в конструкции подающего материала механизма, как правило, присутствует шнековый и формующий рабочий орган. Причём, формующий механизм состоит из корпуса, внутри которого находится канал течения строительного материала. Поэтому, наиболее близкими по конструктивным признакам, для создания рабочего оборудования системы

PERST могут являться аналоги из керамического производства.

#### 3.1 Шнековый нагнетатель

Шнековый нагнетатель – довольно распространённый и изученный механизм. Существуют одношнековые и двухшнековые нагнетатели, с постоянным и переменным шагом винтовой поверхности, с постоянным и переменным объёмом межвиткового пространства. Однако, при большом разнообразии конструкций шнека следует обратить внимание на соотношение величины противодействия на участке транспортирования, расположенной за шнеком, и производительностью шнекового нагнетателя. Известно [8, 9], что наибольшее давление в шнековом механизме расположено в плоскости выпорной (конечной) лопасти.

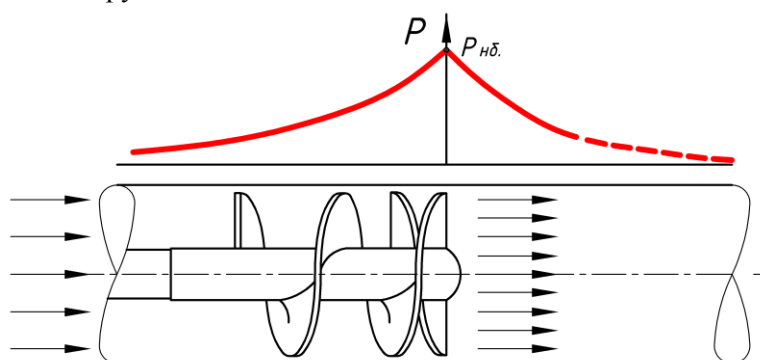


Рис. 12. Схема распределения давления в шнековом механизме

По всей длине шнека давление при работе шнека повышается от 0 до  $P_{нб.}$  Величина этого давления определяется с одной стороны нагнетательной способностью шнека, т.е. его геометрическими параметрами, а с другой стороны – сопротивлением формующей части. Если взять три шнека разной конструкции, например  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$ ,  $\Pi_3$ , то можно получить три разных процес-

са, что достаточно хорошо иллюстрируется графиками зависимости производительности и давления в механизме, рис. 13. Очевидно, что с увеличением противодействия производительность шнекового нагнетателя снижается. С другой стороны, в формующей части  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$ ,  $\Phi_3$  шнекового нагнетателя при увеличении давления  $P_{нб.}$  производительность растёт.

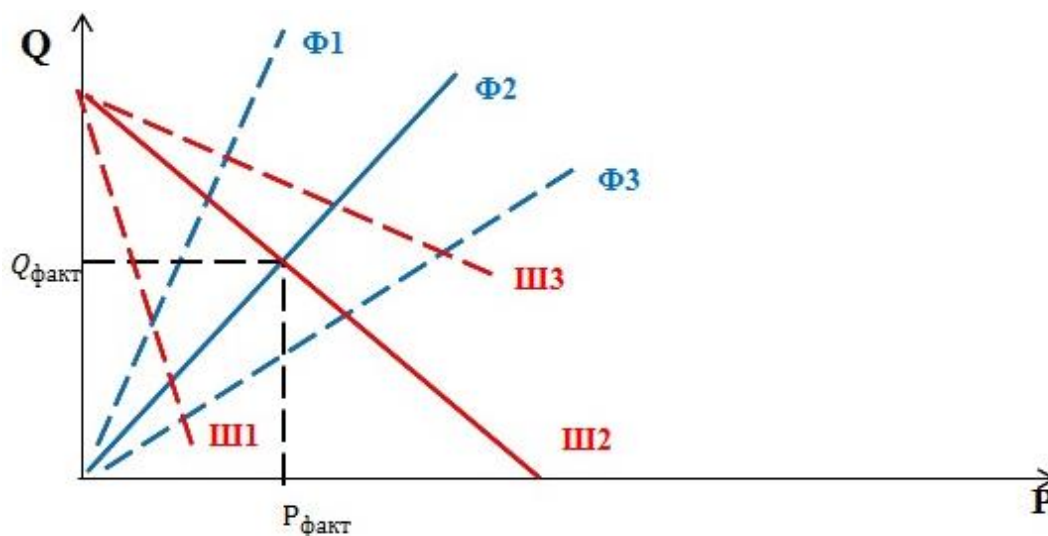


Рис. 13. Характеристики шнековой и формующей части шнекового нагнетателя

Для каждой пары «шнек - формующая головка» имеется фактическая производительность  $Q_{\text{факт}}$  и фактическое давление  $P_{\text{факт}}$ , которые определяются точкой пересечения их характеристик. Видно, что точкой пересечения характеристик системы «шнек - формующая головка» можно управлять посредством их конструктивных параметров.

Особым случаем работы шнекового нагнетателя может стать его использование в системе

PERST, когда расстояние транспортирования строительной смеси становится значительным, порядка нескольких метров. Сопротивление в формующей части дополняется сопротивлением подающего шланга. Такие условия работы шнекового нагнетателя могут привести к необходимости установки дополнительного шнекового нагнетателя на выходе строительной смеси из шланга, рис. 14.

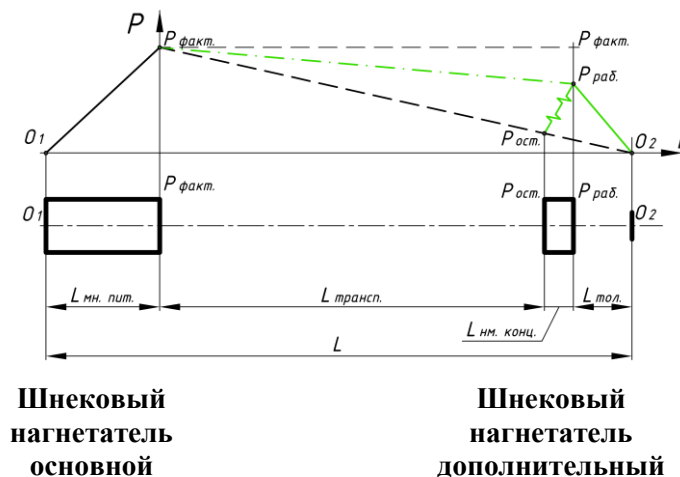


Рис. 14. Схема установки дополнительного шнекового нагнетателя

На длине подачи материала  $L$  имеем несколько участков: участок питающего шнека, участок транспортирования смеси, участок концевой шнека и участок формующей головки. Величина давления, которое развивает шнек составляет  $P_{\text{факт.}}$ . По мере продвижения смеси к выходному отверстию давление в системе снижается. Без концевой шнека давление снижается по линии « $P_{\text{факт.}} - O_2$ ». При наличии концевой шнека остаточное давление  $P_{\text{ост.}}$  можно повысить до необходимого -  $P_{\text{раб.}}$ , которое может составлять 0,7...0,9 от наибольшего давления. Таким образом, можно разделить функции основного шнекового нагнетателя – на транспортирование, а концевой – на формование.

### 3.2 Формующая часть – прессовая головка

Прессовая часть ленточного шнекового пресса для производства керамического кирпича состоит из прессовой головки и мундштука. Прессовая головка имеет канал с круглым входным и прямоугольным выходным отверстием. Мундштук имеет канал в виде призмы с прямоугольными отверстиями на входе и выходе.

При проектировании прессовой головки для системы PERST помимо конструктивных параметров: длина, соотношение входной и выходной площади, форма образующих канала, существенную роль будет играть вид и свойства формируемой строительной смеси.

## 4. Управление реологическими свойствами строительных смесей для системы PERST

Во всех отраслях промышленности, занимающихся переработкой вязкоупругих, вязкопластичных, упруго-пластичных и вязко-упруго-пластичных материалов, используют механизмы для определения и управления реологическими свойствами и реологическими характеристиками перерабатываемых материалов [10, 11, 12, 13]. В разных научных школах могут пользоваться разными реологическими характеристиками и методами их определения. Число реологических характеристик, которыми пользуются специалисты в разных отраслях промышленности более двух десятков [8]. Поэтому, количество реологических параметров строительных смесей желательно сократить до минимума и обеспечить сходимость, воспроизводимость результатов исследований и возможность использовать в расчёте при проектировании узлов вновь создаваемых машин.

Для описания поведения ньютоновской жидкости уравнение напряжения сдвига от градиента скорости записывается в виде

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}, \quad (1)$$

где  $\tau$  – напряжение сдвига, Па;  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости, Па·с;  $\frac{du}{dy}$  – градиент скорости, с<sup>-1</sup>.

Уравнение Шведова – Бингама, которое показывает, что течение пластических жидкостей наступает не сразу, а только после достижения определённого значения напряжения сдвига  $\tau_0$ .

$$\tau = \tau_0 + \mu \frac{du}{dy} \quad (2)$$

При напряжении сдвига  $\tau < \tau_0$  эти вещества ведут себя как упругие тела.

Дальнейшее изучение пластичных керамических масс показало, что их поведение при деформациях в действительности имеет еще более сложный характер, чем это следует из уравнения (2). Это связано с так называемым явлением аномалии вязкости. Сущность этого явления состоит в том, что после достижения предельного напряжения сдвига вязкость не остается величиной постоянной, а изменяется с ростом градиента скорости и зависит, в свою очередь, от напряжения сдвига и градиента скорости. Вязкость материалов, зависящая от градиента скорости и напряжения сдвига, получила название "эффективной вязкости".

Реологическое уравнение течения пластичной глины записывается в виде

$$\tau = \tau_0 + \mu_{\text{эф}} \frac{du}{dy} \quad (3)$$

Таким образом, при определении параметров глинообрабатывающих машин принято [8,9] подставлять значения вязкости  $\mu_{\text{эф}}$ , полученные в зависимости от скоростного режима работы машины, т.е. от градиента скорости.

Такая практика нашла широкое применение в переработке пластмасс при решении аналогичных задач. Полученные таким способом расчетные результаты хорошо совпадают с экспериментальными данными, и точность полученных расчетных уравнений в основном зависит от точности определения реологических характеристик перерабатываемой глиномассы.

Как показали работы [7,8,9,15,16], проведенные под руководством проф., д.т.н. Туренко А.В., МГСУ, с точностью, достаточной для инженерных целей, может быть получена информация о поведении материала в процессе движения, если воспользоваться понятием эффективной /аномальной/ вязкости.

Понятием эффективной вязкости очень удобно пользоваться, так как это дает возможность вместо 20 критериев, описывающих поведение пластичных материалов при их деформации, пользоваться практически одним –  $\mu_{\text{эф}}$ .

**5. Метод построения реологических кривых керамических строительных масс в диа-**

## **пазоне градиентов скоростей работы системы PERST**

Наиболее полно реологические свойства керамических масс могут быть описаны реологической кривой течения – графиком зависимости эффективной вязкости / или напряжения сдвига/ от градиента скорости.

Для численного определения реологических параметров высоковязких пластических материалов разработаны различные приборы и методы. Обычно для этой цели применяют капиллярные или ротационные вискозиметры. Однако в силу специфических свойств пластичных глин формируемой влажности эти приборы, как правило, оказываются непригодными для реологических исследований. Поэтому была разработана специальная методика для определения реологических показателей таких систем [7,8,16].

**5.1 Построение реологических кривых на лабораторных стендах**

Построение реологических кривых на лабораторных стендах имеет смысл и цель в том случае когда необходимо получить полную реологическую кривую в широком диапазоне градиентов скоростей используемого оборудования, например, от 0 до 4500 с<sup>-1</sup>. В нашем случае остановимся на градиентах скоростей, которые могут возникать при формировании непрерывной ленты материала, укладываемой в изделие. Теоретические исследования [8,15,16] показали, что изменение величины давления и расхода обрабатываемого материала в конусной головке ленточного пресса пропорциональны изменению вязкости керамической массы и геометрическим параметрам рабочего канала лабораторного стенда.

Для ленточного шнекового пресса с конической головкой, насадкой, эффективная вязкость  $\mu_{\text{эф}}$ . (Па·с) определяется по формуле [7,8]:

$$\mu_{\text{эф}} = \frac{3\pi D^3 d^3 \Delta P}{128 Q l (D^2 + Dd + d^2)}, \quad (4)$$

где  $D$  – диаметр канала на входе, м;  $d$  – диаметр канала на выходе, м;  $l$  – длина канала, м;  $\Delta P$  – давление в головке на входе в канал, Н/м<sup>2</sup>;  $Q$  – «расход» материала через канал, м<sup>3</sup>/с.

Градиент скорости составляет:

$$\dot{\gamma} = \frac{du}{dy} = \frac{256Q}{\pi(D+d)^3} \quad (5)$$

На рис. 15 представлен график зависимости вязкости от градиента скорости бескудниковской и кембрийской глин в интервале их формовочной влажности. График получен изложенным методом. График построен в логарифмических координатах, в которых зависимость  $\mu_{\text{эф}} - \frac{du}{dy}$ , представляет собой прямую линию.

Математическая интерпретация этой графической зависимости описывается степенным уравнением вида [7]:

$$\mu_{эф} = \mu_1 \cdot \left(\frac{du}{dy}\right)^{(\Psi-1)} \quad (6)$$

Две константы  $\mu_1$  и  $\Psi$  - минимально возможное число параметров, которыми можно характеризовать данную зависимость и, следовательно; это уравнение описывает поведение пластичной глины в предварительно простой математической форме. Параметр  $\Psi$  может быть легко найден из графика, так как тангенс угла наклона прямой равен  $(\Psi - 1)$ . С другой стороны, при градиенте скорости равном единице,  $\lg \frac{du}{dy} = 0$  и коэффициент  $\mu_1$  определяется по отрезку, отсекаемому прямой на ординате  $\frac{du}{dy} = 1$ . Чем выше вязкость материала, тем выше расположена его прямая на графике.

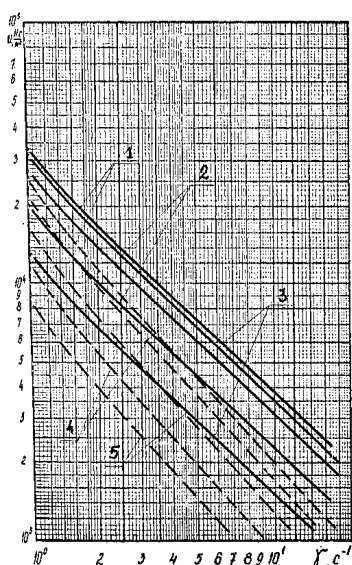


Рис. 15. Зависимость эффективной вязкости  $\mu_{эф}$  от градиента скорости  $\dot{\gamma}$  глиномассы Защитинского месторождения влажностью:

1 – 18,75%, 2 – 20,2 %, 3 – 21,7 %, 4 – 22,2%,  
5 – 23,5%, при температуре  $t = 34...35^\circ\text{C}$ .

— — — коническая насадка,  
— — — клиновая насадка

Таким образом, путем сравнения реологической кривой исследуемой керамической смеси с реологической кривой изученной смеси, можно на основании графика не только качественно оценить деформативные свойства интересующего нас материала, но, принимая во внимание однозначную зависимость усилий, возникающих в узлах глинообрабатывающих машин, от вязкости материала и их геометрических характеристик, графически определить ориентировочную величину основных параметров этих машин, являющихся исходными при их прочностном расчете.

В дальнейшем, когда накопится достаточное количество реологических «кривых течения», пластичные глины можно будет классифицировать по формовочным свойствам в соответствии с величиной коэффициентов  $\mu_1$  и  $\Psi$ . Это еще более упростит расчет оптимальных механических режимов работы оборудования.

Наличие интеллектуального блока в системе PERST, может позволить осуществлять управление аддитивным процессом по реологическим параметрам каждой строительной смеси. Такое условие может быть реализовано в случае, если указанные реологические параметры получать непосредственно на формирующем агрегате системы PERST.

**Вывод.** Аддитивные технологии в строительстве и в производстве строительных изделий является бурно развивающимся направлением в строительной отрасли. Существуют отдельные виды производств, в которых уже используются некоторые результаты научных исследований и конструкции узлов и деталей машин, которые можно и нужно учесть при создании машин с условным названием «печатающая рука строительная - PERST». К таким элементам системы PERST можно отнести конструкции сопла пескоструйных машин, конструкции нагнетательных шнеков, методики определения реологических параметров формовочных смесей.

\* Работа выполнена в рамках реализации федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 - 2020 годы», соглашение № 14.577.21.0193 о предоставлении субсидии от 27 октября 2015 года, тема: «Разработка роботизированного комплекса для реализации полномасштабных аддитивных технологий инновационных материалов, композитов, конструкций и сооружений». Уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEFI57715X0193.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. <http://top3dshop.ru/kupit-3d-printer/building/>
2. <http://3dsol-model.ru/oborudovanie/stroitelny-e-3d-printery/>,
3. Политехнический словарь. Гл. ред. И.И. Артоболевский, М., «Советская энциклопедия», 1976. 608 с.
4. <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/321107#>.
5. [http://tradeacons.com/magazin/peskostrujnoe-oborudovanie/sopla\\_dlja\\_peskostrujnogo\\_apparata](http://tradeacons.com/magazin/peskostrujnoe-oborudovanie/sopla_dlja_peskostrujnogo_apparata)
6. <http://listpp.ru/index.php?id=23>

7. Герасимов М.Д. Разработка формулирующей части шнекового пресса и повышение эффективности пластического формования изделий строительной керамики: Автореф. дис. канд. техн. наук. Белгород, 1999. 22 с
8. Туренко А.В. Расчёт глиноперерабатывающего оборудования и прессов пластического формования для производства керамических строительных изделий: Учебное пособие. М.: МИСИ, 1985. 86 с.
9. Туренко А.В., Герасимов М.Д. Малогабаритный кирпичеделательный агрегат для формования безобжиговых керамических строительных материалов. Тезисы докл. Междунар. конф. «Ресурсо- и энергосберегающие технологии строительных материалов, изделий и конструкций», Часть.4, БелГТАСМ, Белгород, 1995, С.12.
10. Волярович М.П. Ротационные вискозиметры для исследования реологических свойств дисперсных систем (обзор) // Коллоидный журнал. 1966. Т. 28. №2. С. 198–211.
11. Горбатов А.В. Реология мясных и молочных продуктов. М.: Пищевая промышленность. 1976. 384 с.
12. Пивинский Ю.Е. Керамические вяжущие и керамобетоны. М.: Металлургия, 1990. 272 с
13. Рыбьева Т.Т. Ещё о коническом пластометре для определения реологических свойств строительных материалов // Строительные материалы. 1981. №10. С.19–20.
14. Рейнер М. Реология. Пер. с англ. М.: «Наука», 1969. 223 с.
15. Силенок С.Г., Борщевский А.А., Горбовец М.Н. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. Учебник для ВУЗов. М.: Машиностроение, 1990. 416 с.
16. Туренко А.В., Герасимов М.Д., Королёв В.А., Усманов А.К. Способ определения реологических свойств пластических глиномасс в заводских условиях. В науч. Реф. Сб. Промышленность строительных материалов. Серия 4. М.: ВНИИЭСМ, 1979, С. 25–28.

---

**Gerasimov M.D., Gorshkov P.S., Brazhnik Y.V., Grudina V.A.**

**DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR USING VARIATION VARIANTS (SOPEL) FOR BUILDING 3D PRINTER**

*The intensive development of additive technologies in a number of industries has necessitated the implementation of similar projects in construction. In the construction equipment market, installations for the production of construction works and the manufacture of a number of construction products are widely advertised. It should be noted that at present a whole range of works is being carried out in many research centers for working out the optimal compositions of the building mix, mixing and molding equipment, automation and control means for obtaining building 3D models. It is known that in related industries such as medicine, the production of computer equipment, some experience has been accumulated that can be used in additive technologies of construction industry. Analysis and critical evaluation of existing tools in related industries can significantly reduce the amount and time of research on the introduction of additive technologies in construction.*

**Key words:** *additive technologies, construction production, screw supercharger, molding head, nozzle, rheological model, effective viscosity.*

---

**Герасимов Михаил Дмитриевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры подъёмно-транспортных и дорожных машин, руководитель учебно-научно-исследовательской лаборатории «Инновационные вибрационные технологии и машины»

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

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

E-mail: mail\_mihaile@mail.ru

**Горшков Павел Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры механического оборудования.

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

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

gorshkov\_p@mail.ru

**Бразжник Юлия Викторовна**, старший преподаватель кафедры механического оборудования.

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

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

**Грудина Виктория Андреевна**, аспирант кафедры технологии стекла и керамики.

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

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

E-mail: gruvik7@mail.ru

Гаврунов А.Ю., канд. техн. наук,  
Богданов Н.Э., магистрант,  
Карагодина К.И., аспирант,  
Шеховцова Ю.А., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В ВИБРАЦИОННОЙ МЕЛЬНИЦЕ НА УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД ЭНЕРГИИ

nikita.bogdanov.rus@gmail.com

В данной статье приведены результаты экспериментальных исследований вибрационной мельницы. Получены уравнения регрессии в кодированном и натуральном виде в результате проведения полного факторного эксперимента по центральному композиционному плану, проведена их интерпретация в графическом виде. Рассмотрено влияние основных факторов: частоты вибрации и вращения барабана мельницы, коэффициентов загрузки помольной камеры мелющими телами и измельчаемым материалом помольной камеры на удельный расход энергии. Дан всесторонний анализ влияния исследуемых факторов на параметр оптимизации. Показано какие из факторов являются наиболее существенными. Сделан вывод и даны рекомендации касающиеся рациональном режиме измельчения в вибрационно-вращательной мельнице.

**Ключевые слова:** вибрационная мельница, измельчаемый материал, мелющие тела, удельный расход энергии, производительность, тонкость помола.

**Введение.** В качестве объекта исследований была выбрана вибрационно-вращательная мельница [1]. На основании поисковых экспериментов [2–4] были определены факторы, которые оказывают наиболее существенное влияние на параметры оптимизации [5] – производительность, тонкость помола [6] и удельный расход энергии [7].

**Методология.** Такими факторами стали  $x_1(\varphi_1)$  – коэффициент загрузки барабана мельницы мелющими телами он изменялся в пределах 0,46–0,74;  $x_2(n)$  – частота вращения барабана мельницы; изменялась от 12,3 мин<sup>-1</sup> до 23,7 мин<sup>-1</sup>;  $x_3(\omega)$  – частота вибрации помольной камеры,

пределы варьирования от 42,9 Гц до 57,1 Гц;  $x_4(\varphi_2)$  – коэффициент загрузки измельчаемым материалом, изменялся по отношению к массе мелющих тел в пределах от 0,08 до 0,2 [8, 9].

В результате реализации полного факторного эксперимента по центральному композиционному ортогональному плану (ЦКОП) 2<sup>4</sup> [10] были получены уравнения регрессии в кодированном и натуральном виде.

**Основная часть.** Уравнение регрессии, характеризующее зависимость удельного расхода энергии установки от изменения величины варьируемых факторов  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  и  $x_4$ , в кодированном виде:

$$q = 0,043 - 0,005 \cdot x_1 - 0,005 \cdot x_2 - 0,006 \cdot x_3 - 0,0005 \cdot x_4 + 0,003 \cdot x_1^2 + 0,0002 \cdot x_2^2 - 0,0002 \cdot x_3^2 - 0,0004 \cdot x_4^2 + 0,0014 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,0009 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,0028 \cdot x_2 \cdot x_4 + 0,0033 \cdot x_3 \cdot x_4 \quad (1)$$

Анализируя полученное уравнение (1), величины факторов и знаков перед ними можно сделать вывод, что наибольшее влияние на величину удельного энергопотребления  $q$  оказывает фактор  $x_3$ , частота вибрации помольной камеры. Фактор  $x_3$  имеет отрицательный знак, что свидетельствует о снижении удельного энергопотребления  $q$  установки при его увеличении. Это объясняется тем, что при увеличении частоты вибрации  $\omega$  помольной камеры мощность вибропривода возрастает незначительно по сравнению с ростом производительности установки, которая обусловлена более интенсивным измельчением материала, что приводит к снижению значения удельного энергопотребления  $q$ . Например, при увеличении частоты вибрации помольной камеры  $\omega$  с 45 до 55 Гц, величины

удельного энергопотребления  $q$  снижается с 0,049 до 0,037 кВт·ч/кг, а именно на 24 %.

Наибольшее влияние среди коэффициентов парного взаимодействия оказывают сочетания факторов  $x_2x_4$  и  $x_3x_4$ , имеющие положительные знаки. Это говорит о повышении удельного энергопотребления  $q$  установкой при одновременном увеличении частоты вибрации  $\omega$ , частоты вращения помольной камеры  $n$  и коэффициента загрузки барабана мельницы материалом  $\varphi_2$ . С увеличением количества материала в помольной камере при неизменном количестве мелющих тел эффективность их работы снижается, вследствие чрезмерного заполнения межшарового пространства материалом, тонкость помола готового продукта загущается [11]. Приведённая к 10-ти процентному остатку на сите 008 производительность установки снижает-

ся [12]. Увеличение частоты вибрации  $\omega$  частоты вращения помольной камеры приводит к увеличению потребляемой мощности привода. Например, с увеличением коэффициента загрузки материалом  $\varphi_2$  с 0,08 до 0,14 наблюдается незначительное повышение удельного энергопотребления  $q$  с 0,042 до 0,043 кВт·ч/кг, то есть на 2,3 %.

Однако, влияние фактора  $x_1$  - коэффициента загрузки мелющими телами, и фактора  $x_2$  - частоты вращения помольной камеры, так же заметно изменяет поведение функции отклика. Оба фактора имеют одинаковую величину коэффициентов и отрицательные знаки. Это говорит о том, что при увеличении  $x_1$  и  $x_2$  удельное энергопотребление  $q$  снижается. Увеличение коэффициента загрузки мелющими телами  $\varphi_1$  с 0,46 до 0,7 приводит к значительному снижению энергопотребления  $q$  с 0,056 до 0,041 кВт·ч/кг, а именно на 27 %. В данном случае это объясняется тем, что с увеличением количества мелющих тел пропорционально возрастает частота воздействия мелющих тел на измельчаемый материал, что повышает эффективность процесса измельчения. Этот эффект возрастает с частоты вращения помольной камеры. Приведённая к  $R_{008} = 10$  % производительность возрастает, удельный расход энергии снижается. Это очевидно и не требует дополнительных пояснений. Например, при увеличении частоты вращения помольной камеры  $n$  с 12,3 до 22 об/мин наблюдается снижение удельного энергопотребления

$$q = 0,3964 - 0,4649 \cdot \varphi_1 - 0,004 \cdot n - 0,0018 \cdot \omega - 1,0735 \cdot \varphi_2 + 0,3 \cdot \varphi_1^2 + 0,0001 \cdot n^2 - 0,25 \cdot \varphi_2^2 + 0,0175 \cdot n \cdot \varphi_1 - 0,0001 \cdot \omega \cdot \varphi_1 - 0,015 \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2 + 0,0035 \cdot n \cdot \varphi_1 + 0,0165 \cdot \omega \cdot \varphi_2. \quad (7)$$

На рис. 1, 2, 3 и 4 представлены наиболее характерные графические зависимости изменения удельного энергопотребления  $q$  от основных параметров установки  $\varphi_1$ ,  $n$ ,  $\omega$ ,  $\varphi_2$ .

На рис. 1 представлена зависимость удельного энергопотребления установки от коэффициента загрузки мелющих тел и частоты вращения помольной камеры.

Из графика (рис. 1) следует, что зависимость  $q=f(\varphi_1)$  имеет экстремальный характер. При значениях коэффициента заполнения  $\varphi_1$  мелющими телами 0,6–0,7 наблюдается наименьшее удельное энергопотребление  $q$  установкой.

Минимальное значение  $q$  достигается при среднем значении коэффициента загрузки мелющими телами  $\varphi_1=0,65$ , одновременно наименьшее значение  $q$  наблюдается при частоте вращения помольной камеры  $n=22$  об/мин. Экстремальный характер зависимости  $q=f(\varphi_1)$  объясняется тем, что при уменьшении коэффициента загрузки шарами эффективность процесса измельчения падает, происходит недоизмельче-

ние материала, снижается производительность мельницы, что, в свою очередь, при том же уровне потребляемой мощности привода приводит к повышению удельного расхода энергии -  $q$ .

Меньшее влияние на  $q$  оказывает частота вращения помольной камеры. Удельный расход энергии  $q$  возрастает при низких скоростях вращения барабана мельницы, что, в результате приводит к снижению загрузке помола готового продукта, и снижению производительности. При увеличении коэффициента заполнения мелющими телами  $\varphi_1$  с 0,46 до 0,65 происходит повышение количества соударений мелющих тел и, естественно, повышается производительность вибрационного измельчения. При дальнейшем увеличении  $\varphi_1$  удельный расход энергии возрастает, так как, вследствие увеличения колеблющейся массы, повышается потребляемая мощность привода мельницы.

При уменьшении частоты вращения помольной камеры от 18 до 14 об/мин происходит

$$x_k = \frac{x_n - x_{cp}}{\Delta}, \quad (2)$$

где  $x_k$  - обозначение фактора варьирования в кодированном виде;  $x_n$  - обозначение фактора варьирования в натуральном виде;  $x_{cp}$  - значение нулевого уровня варьирования фактора;  $\Delta$  - шаг варьирования.

На основании формулы (2). получим выражения для каждого фактора варьирования:

$$x_1 = \frac{\varphi_1 - 0,6}{0,1}, \quad (3)$$

$$x_2 = \frac{n - 18}{4}, \quad (4)$$

$$x_3 = \frac{\omega - 50}{5}, \quad (5)$$

$$x_4 = \frac{\varphi_2 - 0,14}{0,04}, \quad (6)$$

Рассчитав дисперсию воспроизводимости, произведем оценку значимости коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента, незначимые коэффициенты приравняем к нулю, не пересчитывая оставшиеся.

Тогда уравнение регрессии (1) в натуральном виде будет иметь следующий вид:



снижение интенсивности движения мелющих тел, в результате происходит агрегация и образование временных застойных зон, потребляемая мощность привода снижается, удельный расход энергии существенно возрастает. При

увеличении частоты вращения  $n$  до 22 об/мин интенсификация измельчения возрастает за счет циркуляции мелющих тел, возрастают истирающие нагрузки, увеличивается суммарная кинетическая энергия мелющих тел.

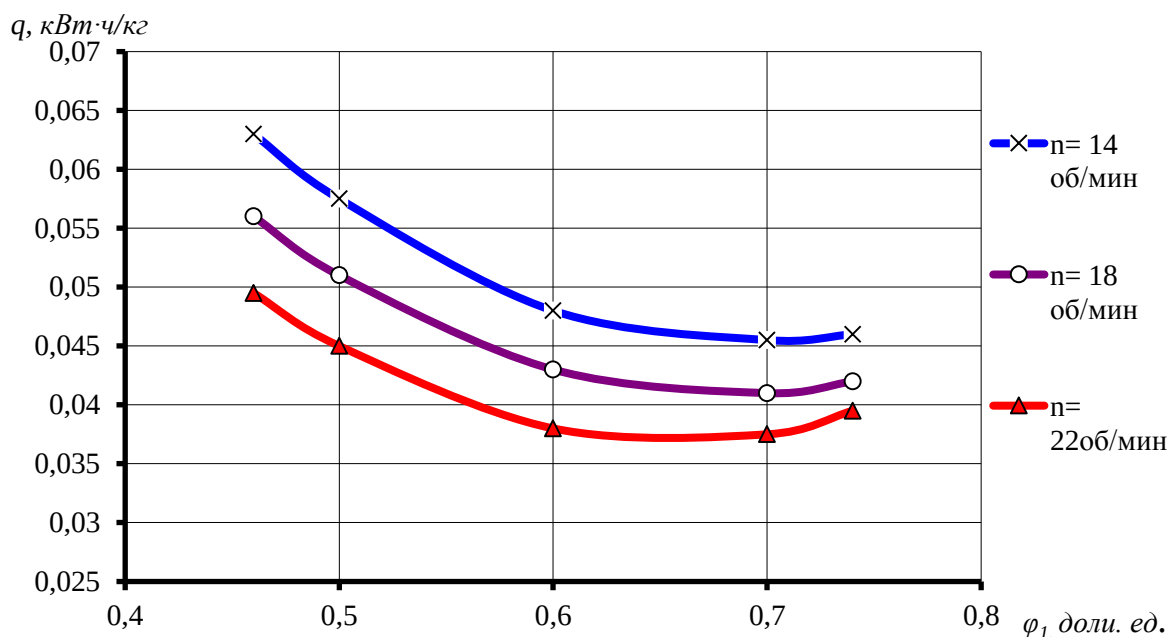


Рис. 1. Графики зависимости  $q=f(\varphi_1)$  при  $\omega=50$  Гц и  $\varphi_2=0,14$

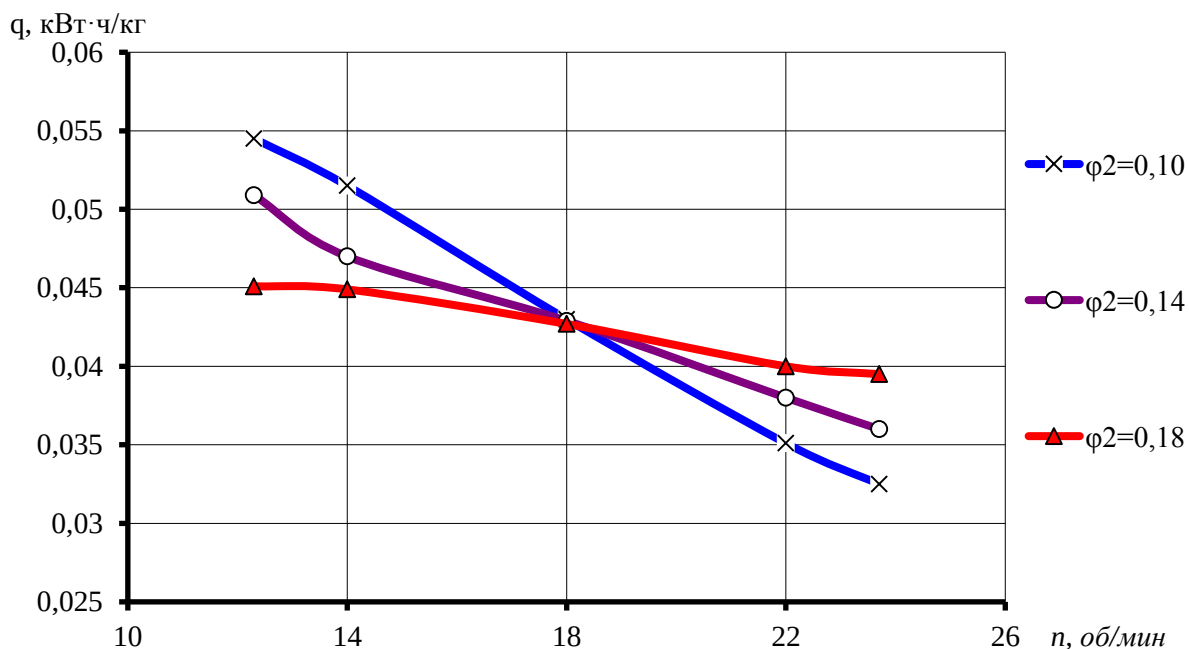


Рис. 2. Графики зависимости  $q=f(n)$  при  $\omega=50$  Гц и  $\varphi_1=0,6$

На рис. 2 представлена зависимость удельного расхода энергии установки от частоты вращения помольной камеры при различных величинах коэффициента загрузки материалом  $\varphi_2$ .

Из графика (рис. 2) видно, что зависимость  $q=f(n)$  имеет ниспадающий характер, другими

словами, при увеличении частоты вращения  $n$  помольной камеры удельный расход энергии  $q$  снижается, тонкость помола готового продукта и производительность мельниц, вследствие интенсификации движения мелющих тел в помольной камере, возрастают. Например, при увеличении частоты вращения  $n$  с 12,3 до 23,7 об/мин удель-

ный расход энергии  $q$  снижается с 0,05 до 0,036 кВт·ч/кг, а именно на 28 %. Наибольшее значение удельного расхода энергии  $q$  наблюдается при частоте вращения 12,3 об/мин и коэффициенте заполнения материала 0,1. Это естественно и не требует дополнительных пояснений.

Второстепенное влияние на функцию отклика  $q$  оказывает коэффициент загрузки материалом  $\varphi_2$ , который закономерно изменяет значение функции  $q$  в пределах 18 % от 0,039 до

0,032 кВт·ч/кг, обеспечивая наименьшее значение удельного расхода энергии  $q$  при повышенной частоте вращения 23,7 об/мин. Величина  $q$  сильнее изменяется при увеличении коэффициента  $\varphi_2$ , с 0,1 до 0,18. Например при  $n = 12,3$  об/мин.,  $\varphi_2 = 0,1$ ,  $q = 0,055$  кВт·ч/т, а при  $\varphi_2 = 0,18$   $q$  снижается до 0,045 кВт·ч/т, т.е на 18 %.

При частоте вращения помольной камеры 18 об/мин, изменение коэффициента загрузки материалом  $\varphi_2$  не влияет величину удельного расхода энергии  $q$  (рис. 2).

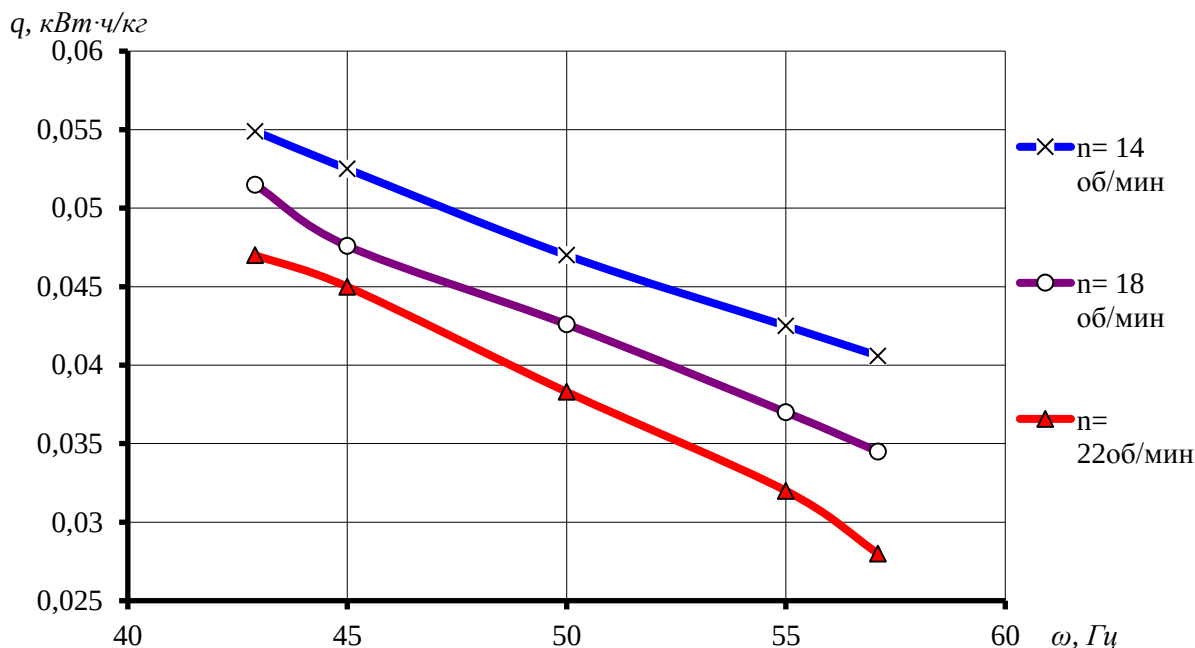


Рис. 3. Графики зависимости  $q=f(\omega)$  при  $\varphi_1=0,6$  и  $\varphi_2=0,14$

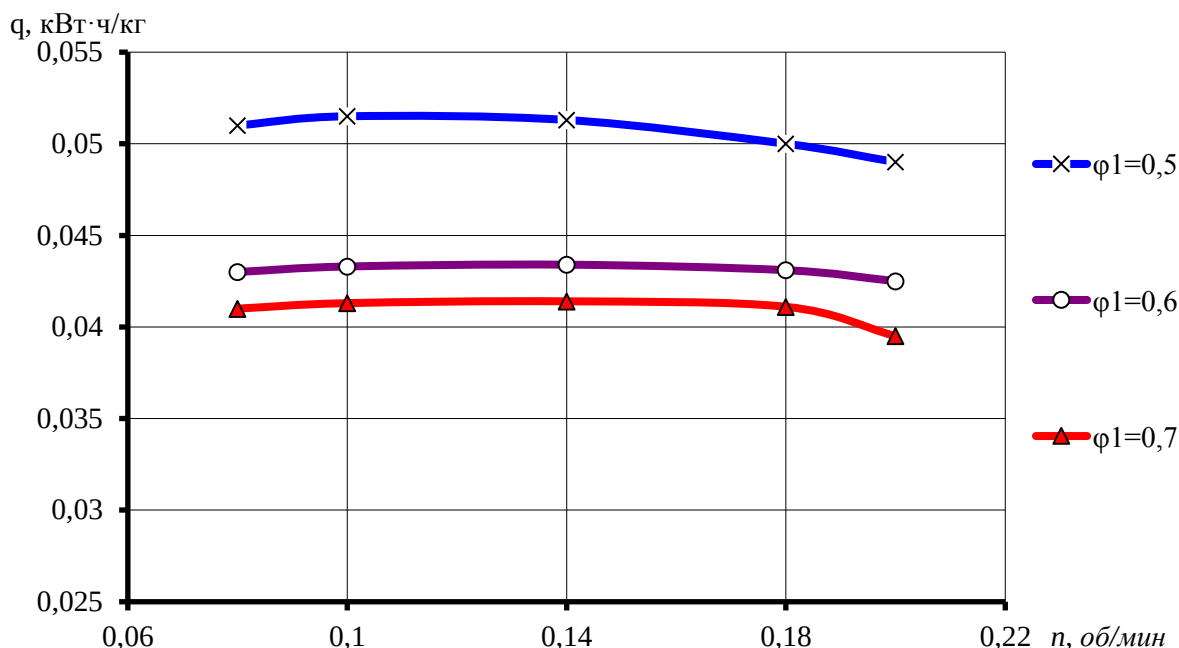
На рис. 3 представлена зависимость удельного расхода энергии  $q$  от частоты вибрации помольной камеры при различной частоте вращения.

Из графиков (рис. 3) видно, что зависимость  $q=f(\omega)$  линейная нисходящая, что говорит о взаимном влиянии основного и второстепенного факторов  $\omega$  и  $n$  на величину расхода энергии  $q$ . Снижение удельного расхода энергии  $q$  объясняется тем, что при увеличении частоты вибрации  $\omega$  энергонапряженность процесса измельчения возрастает, глубина проникновения колебаний увеличивается, повышая эффективность процесса измельчения в установке. При увеличении частоты вибрации  $\omega$  с 42,9 до 57,1 Гц величина удельного расхода энергии  $q$  снижается с 0,051 до 0,034 кВт·ч/кг, а именно на 33 %. Так же график 3 показывает, что с увеличением частоты вращения  $n$  с 14 до 22 об/мин наблюдается снижение удельного расхода энергии с 0,041 до 0,028 кВт·ч/кг, что составляет 32 %. Это объяс-

няется тем, что частота вращения  $n$  помольной камеры является фактором, оказывающим существенное влияние на параметры оптимизации, наряду с наиболее влиятельным из них – частотой вибрации  $\omega$ , что дает заметное повышение эффективности вибрационного измельчения.

На рис. 4 представлена зависимость функции удельного расхода энергии от коэффициента загрузки  $\varphi_2$  материалом и коэффициента загрузки  $\varphi_1$  мелющими телами.

Из графика (рис. 4) видно, что зависимость  $q=f(\varphi_2)$  имеет экстремальный вид, близкий к линейному. Однако, незначительная кривизна линий говорит о небольшом влиянии фактора  $\varphi_2$  на величину удельного расхода энергии  $q$ . Изменяющееся количество материала в помольной камере дает небольшие изменения общей потребляемой мощности приводов, что объясняет его незначительное влияние, в отличие от коэффициента загрузки  $\varphi_1$  мелющих тел.

Рис. 4. Графики зависимости  $q=f(\varphi_2)$  при  $\omega=50$  Гц и  $n=18$  об/мин

Наименьшие значения функции  $q$  0,042 и 0,041 кВт·ч/кг находятся в звездных точках, со значениями коэффициента загрузки  $\varphi_2$  материалом 0,08 и 0,2, а ее экстремальное значение 0,043 кВт·ч/кг лежит в диапазоне коэффициента от 0,1 до 0,18, что составляет разницу в 4,5 %.

Также на рисунке 4 показано влияние коэффициента загрузки мелющими телами  $\varphi_1$  на удельный расход энергии  $q$ , который при уменьшении  $\varphi_1$  с 0,6 до 0,5 вызывает увеличение удельного расхода энергии на измельчение с 0,041 до 0,05 кВт·ч/кг, а при увеличении  $\varphi_1$  с 0,6 до 0,7 снижает его значение с 0,041 до 0,039 кВт·ч/кг - снижение составляет 5 %. Это происходит благодаря изменению количества мелющих тел в помольной камере, которое напрямую влияет на степень измельчения готового продукта, качественные характеристики которого определяют производительность установки, тем самым обеспечивая более энергоэффективное вибрационное измельчение.

**Выводы.** Проанализировав уравнение регрессии (1) и графические зависимости (рис. 1, 2, 3 и 4) можно сделать вывод, что при увеличении частоты вращения помольной камеры и использовании более интенсивных частот вибрации  $\omega$  процесс позволяет снизить удельный расход энергии.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 2329361 Российская Федерация, МПК7 В 02 С 17/06. Вибровращательная мельница / Богданов В.С., Гаврунов А.Ю. (Россия); заявитель и патентообладатель БГТУ

им. В.Г. Шухова; заявл. 21.12.10; опубл. 21.12.10, Бюл. № 16; приоритет 21.12.10. 4 с.

2. Пономарев, А.Б. Методология научных исследований: учеб. пособие. Пермь: Изд. Перм. нац. исслед. поли-техн. ун-та, 2014. 186 с.

3. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М.: Изд. Машиностроение, 1981. 184 с.

4. Хартман К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. / Пер. с нем. К. Хартман. М.: МИР, 1977. 314 с.

5. Тюпиков В.Г. Моделирование и оптимизация процессов измельчения в вибрационных мельницах: дисс. канд. техн. наук: 05.17.08. М.: Изд. РХТУ, 2000. 219 с.

6. Богданов В.С., Ильин, А.С., Семикопенко И.А. Процессы в производстве строительных материалов и изделий. Белгород: Изд. Везелица, 2007. 512 с.

7. Богданов В.С., Гаврунов А.Ю., Шаптала В.Г. Кинематика движения загрузки в вибровращательной мельнице // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. № 4. С. 100-102.

8. Austin L., Yekeler M., Dumm T.F., Hogg R. The Kinetics and Shape Factors of Ultrafine Dry Grinding in a laboratory tumbling ball mill. Particle & Particle Systems Characterization, Volume 7, Issue 1-4, 1990. Pp. 242-247.

9. Beenken W., Gock E., Kurrer K. The outer mechanics of the eccentric vibration mill. Intern. J. of Mineral Processing. 1996. Pp. 44-45.

10. Мухачёв В.А. Планирование и обработка результатов эксперимента: Учебное пособие. Томск: Изд. Томск. гос. ун-та систем управления

и радиоэлектроники, 2007. 118 с.

11. Фролов К.В., Гончаревич И.Ф. Теория вибрационной техники и технологии. М.: 1981. 319 с.

12. Потураев В.Н., Францук В.П., Надутый В.П. Вибрационная техника и технология в

энергоемких производствах. Днепропетровск: Изд. НГА Украины, 2002. 186 с.

13. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. 2-е, перераб. и доп. Л.: Изд. Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1991. 304 с.

---

**Gavrunov A.Y., Bogdanov N.E., Karagodina K.I., Shekhovtsova Y.A.**

**EFFECT OF THE MODE OF THE GRINDING PROCESS IN A VIBRATION MILL ON A SPECIAL ENERGY CONSUMPTION**

*This article presents the results of experimental studies of a vibratory mill. Regression equations are obtained in coded and natural form as a result of the complete factorial experiment in the central composition-al plan, and their interpretation was shown graphically. The influence of the main factors is considered: the vibration frequency and rotation of the mill drum, the grinding factors of the grinding chamber, grinding bodies and the grindable material for the specific energy consumption. Was made a comprehensive analysis of the influence of the factors studied on the optimization parameter. It is shows which of the factors are the most significant. A conclusion is drawn and recommendations are given concerning the rational grinding regime in a vibratory rotational mill.*

**Key words:** vibrating mill, grinding material, grinding bodies specific energy consumption, productivity, fineness of grinding.

---

**Гаврунов Алексей Юрьевич**, кандидат технических наук, научный сотрудник кафедры механического оборудования.

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

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

**Богданов Никита Эдуардович**, магистрант института магистратуры.

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

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

E-mail: nikita.bogdanov.rus@gmail.com

**Карагодина Карина Игоревна**, аспирант кафедры механического оборудования.

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

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

E-mail: artemenkokarina@yandex.ru

**Шеховцова Юлия Александровна**, аспирант кафедры механического оборудования.

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

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

Фадин Ю.М., канд. техн. наук, проф.,  
Богданов В.С., д-р техн. наук, проф.,  
Юрьева М.В., магистрант,  
Вечканов А.В., студент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ВОЗВРАТНО-ПОТОЧНЫЕ ЦИКЛОНЫ. ИСТОКИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

fadin.y@mail.ru

*Почти на каждом современном предприятии не обойтись без пылеулавливающего оборудования, самое распространенное из которых – циклоны. Циклон – это устройство для улавливания пыли из газового потока путем разделения пыли от газов с помощью центробежной силы. Со времени возникновения конструкции циклонов непрерывно менялись и совершенствовались, а принцип работы оставался прежним. В данной статье было проведено исследование, направленное на изучение исторического возникновения такого многообразия циклонов. Описан опыт по унификации в зависимости от эффективности конструкций, приведены выводы.*

**Ключевые слова:** циклон, история, пылеуловитель, ЛИОТ, СИОТ, ВЦНИИОТ, НИИОГАЗ.

Циклон – это устройство для улавливания пыли из газового потока с помощью центробежной силы. Они составляют основную часть всего пылеулавливающего оборудования и используются во всех отраслях промышленности и, в частности, на предприятиях строительной индустрии [1].

В настоящее время существует множество разнообразных конструкций циклонов. Каждая из них имеет собственную историю появления и дальнейшего развития [2]. На протяжении всего прошлого столетия конструкции тщательно разрабатывались, а затем из них были отобраны самые универсальные и эффективные типы, которые находят применение и по сегодняшний день.

В начале XX века в Соединенных Штатах Америки впервые сформировалась идея использования центробежных сил для очистки газов от пылевидных частиц. Так в 1886 году американский инженер Мерсе О.М. изобрел первую в своем роде конструкцию циклона-пылеуловителя (рис. 1), назначение которой заключается в вычленении твердых частиц пыли из газа за счет закручивания воздушного потока в корпусе аппарата.



Рис. 1. Первый циклон-пылеуловитель

Первый циклон состоял из цилиндрико-конического корпуса, тангенциального входного патрубка и штуцеров для отвода очищенного газа и выведения механических примесей в пылесборник. Аппарат работал в непрерывном режиме, однако, выгрузка механических примесей из приемного бункера осуществлялась периодически, по мере его заполнения.

В основе работы циклона заложен принцип использования центробежной силы, которая возникает во время закручивания потока газа в корпусе аппарата. Эта сила зависит от угла входа загрязненного воздуха из входного патрубка в корпус цилиндра. Под ее действием твердые пылевидные частицы отбрасываются к стенке циклона и осаждаются в пылесборник, а очищенный газ удаляется через верхний патрубок. Основными достоинствами данного аппарата являются простота и надежность конструкции, а также отсутствие вращающихся частей, что делает процесс очистки энергоэффективным [3].

Необходимо отметить, что большой труд в изучение устройств, работающих по принципу завихрения воздуха центробежной силой, внес инженер Майзель. В своих трудах он подробно описывал работу циклонов.

В 30-е годы XX века использовались такие виды циклонов как циклон Шильде, циклон российской фирмы «Техмашстрой» и нормализованные циклоны. Размеры циклонов фирмы «Техмашстрой» не имели четких границ. В источниках упоминается только максимальный диаметр – 2700 мм. Циклоны с нормализованными размерами могли изменяться от 1830 до 4570 мм.

Выдающийся немецкий ученый Шильде внес значительный вклад в изучение гидродинамики вихревых потоков и предложил кон-

струкцию аппарата, которая позволяла повысить степень очистки газов (рис. 2). Принцип работы аппарата Шильде основан на снижении скорости газа во входном патрубке: это обеспечивает максимально возможную очистку газового потока от пылевидных частиц. Поэтому рекомендуется устанавливать такие циклоны на предприятиях, где скорость воздушного потока во входном патрубке не более 15–20 м/с. Аппараты Шильде имели диаметр от 800 до 3200 мм.

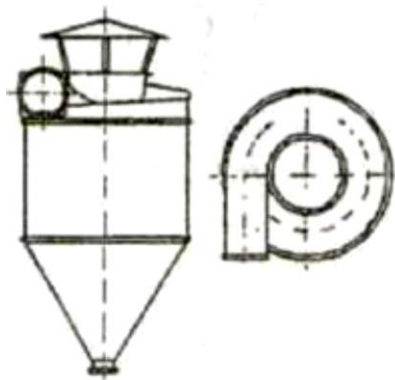


Рис. 2. Циклона Шильде

Новаторской установкой того времени стал циклон с радиальным вводом потока газа (рис. 3), который был создан для нефтеперерабатывающей промышленности инженером Файфелем [4]. Особенность работы этой установки заключается в том, что газ с пылевидными частицами подается в тангенциальное отверстие, расположенное в срединной части корпуса циклонной установки, а очищенный воздух выводится из аппарата через отверстие, находящееся в верхней части корпуса циклонной установки. В результате такой очистки происходит скапливание пылевидных частиц, которые впоследствии выводятся из аппарата через щелевые отверстия в торцевых крышках. Однако основным недостатком этого аппарата является ненадежность циклонной установки в результате быстрого забивания отверстия для отвода скоплений пыли.

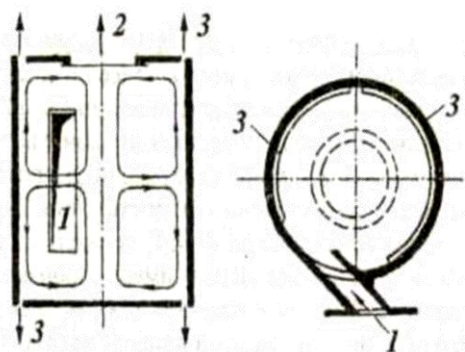


Рис. 3. Циклонный аппарат Файфеля:  
1 – входное отверстие; 2 – выходное отверстие очищенного газа; 3 – кольцевое отверстие выхода пыли

40-50-е годы XX века можно назвать новым этапом создания конструкций циклонных установок. Один из самых ярких представителей циклонов того времени – это циклонный аппарат Ленинградского института охраны труда (ЛИОТ) (рис. 4), который широко применялся до последнего десятилетия прошлого века. Наиболее часто на производстве можно было встретить одиночный цилиндрический циклон ЛИОТ, который имел производительность 17500 м<sup>3</sup>/ч при диаметре 1886 мм. Нормаль этого циклона была разработана еще 1934 году. Эта конструкция применялась для грубой очистки от неволокнистой пыли и древесных опилок, однако имела низкую эффективность.

В середине 50-х годов XX века конические циклоны Свердловского института охраны труда (СИОТ) получили широкое распространение благодаря высокой эффективности улавливания частиц [5]. Особенностью этой конструкции является то, что эти циклоны совершенно не имеют цилиндрической части, поэтому выхлопная труба вводится непосредственно в конус (рис. 5). Также сечение входного патрубка выполняется не круглой, а треугольной формы. Скорость входящего потока составляет 15–18 м/с.

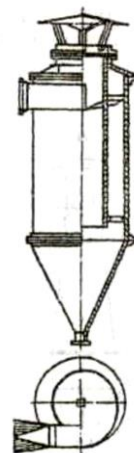


Рис. 4. Циклонный аппарат ЛИОТ

Циклоны Научно - исследовательского института по промышленной и санитарной очистке газов (НИИОГАЗ) начали набирать популярность в конце 60-х годов. Самые распространенные конструкции это спирально-конические циклоны (СК), спирально-конические с удлиненным конусом (СДК) и циклоны с повышенными гидравлическими сопротивлениями: СК-ЦН-34 и СДК-ЦН-33 – «сажевые» циклоны. Цифры, стоящие после названия (34 и 33) обозначают процентное соотношение диаметра выхлопной трубы и корпуса. Эти аппараты имеют значительно большую эффективность, чем цилиндрические циклоны. По эксплуатационным

характеристикам циклоны НИИОГАЗ в некоторых случаях могут заменить мокрые пылеуловители – скрубберы, эксплуатация которых в производственных условиях куда более сложна. Также необходимо отметить, что чуть позже был разработан модернизированный спирально-конический циклон, который предназначался для эксплуатации в производстве технического углерода, в установках каталитического крекинга нефтепродуктов, дегидрирования бутана. Однако гидравлическое сопротивление в этом циклоне значительно больше, чем у ранее описанных конструкций, как следствие меньшего отношения диаметров корпуса и выхлопной трубы (0,22). К этому типу следует также отнести циклон УЦ-38, применяющийся с 50-х годов в аспирационных установках зерновых элеваторов [6].

70-е года XX века ознаменовались созданием различных видов циклонов с одинаковым технологическим назначением [7]. Например, циклоны НИИОГАЗ ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У и ЦН-24 (рис.6). Параметры, стоящие после названия (11, 15, 24) означают угол развертки винтового подвода газа в верхней части циклона; индекс «У» (укороченный) применяется для маркировки только у циклона ЦН-15, который эксплуатируется в условиях при ограниченной высоте аппарата. В циклонах ЦН-15 и ЦН-24 высота и площадь входных отверстий больше, а скорость входа меньше, чем в циклонах ЦН-11 в

1,25 и 2,3 раза. Пропускная способность у циклонов ЦН-15 и ЦН-24 также больше, чем у ЦН-11 при условии равенства диаметров и одинаковых потерях гидравлического давления. Поэтому эффективность очистки газового потока от пыли в циклоне ЦН-11 выше, чем у ЦН-15 и значительно выше, чем у ЦН-24.

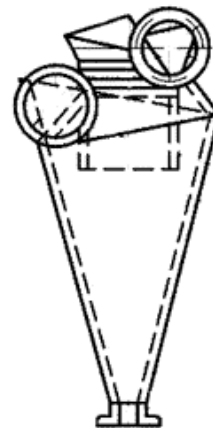


Рис. 5. Циклонный аппарат СИОТ

Циклон ЦМС также можно отнести к выпуску этой серии циклонов, у которых наименьший коэффициент местного сопротивления среди других циклонных аппаратов. ЦМС был разработан специально для малых котельных и установок промышленной теплотехники, работающих на естественной тяге [7].

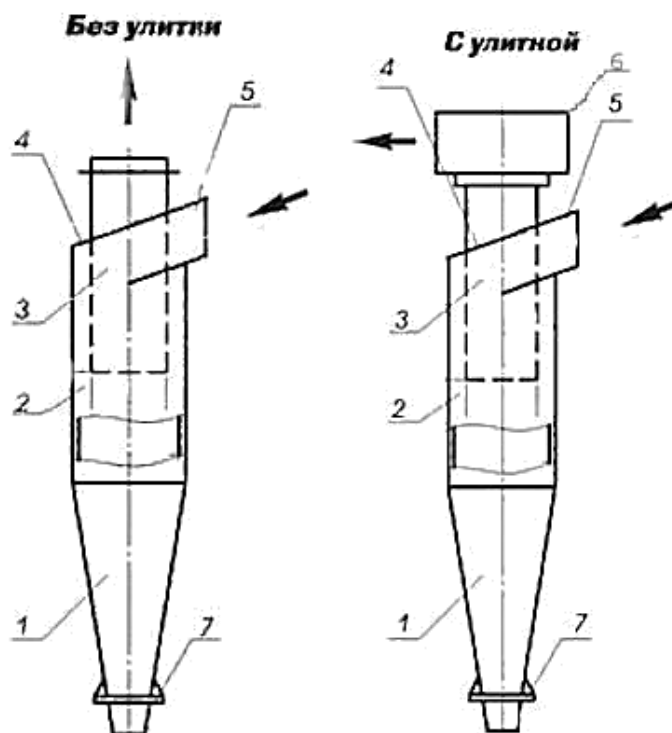


Рис. 6. Циклонный аппарат типа ЦН

1 – конусная часть корпуса, 2 – цилиндрическая часть корпуса, 3 – выхлопная труба, 4 – винтовая крышка, 5 – входной патрубок, 6 – улитка, 7 – опорный фланец



В это же время широкое применение в области пылеулавливания получили применение циклоны Московского института охраны труда (ВЦНИИОТ). Отличительная особенность их конструкции – это «обратный» конус, то есть расширяющийся к низу (рис. 7).

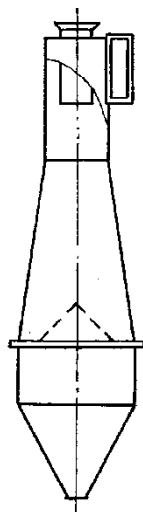


Рис. 7. Циклонный аппарат ВЦНИИОТ

Такая форма позволяет значительно уменьшить износ корпуса за счет ослабления влияния вторичных циркуляционных течений, а в неко-

торых случаях предотвратить «зависание» слипающейся пыли. Еще одна оригинальность конструкции циклонов ВЦНИИОТ заключается в устройстве нижнего сечения циклона, которое находится выше бункера. Конусное днище выполнено в виде обращенной вверх воронки с отверстием по оси. Внутренний конус, образующий кольцевую щель вдоль стенок корпуса, способствует отделению периферийных слоев течения, наиболее насыщенных пылевыми частицами, для их сброса в бункер [8]. Поэтому скорость циркуляции в бункере снижается, и за счет этого упрощается процесс пылеосаждения. Под влиянием разряжения воздух выходит из бункера через осевое отверстие. На поверхности внутренней части циклона возникает небольшое завихрение воздуха в направлении от стенок корпуса к центру, однако оно не может захватить осевшие пылевидные частицы благодаря внутреннему конусу [9]. Коэффициент местного сопротивления циклонов ВЦНИИОТ высокий: без улитки (для раскручивания потока на выходе) он равен скорости во входном патрубке, а именно 6,7. Преимуществами данной конструкции является наименьший износ конической части корпуса и отсутствие подсоса в бункере.

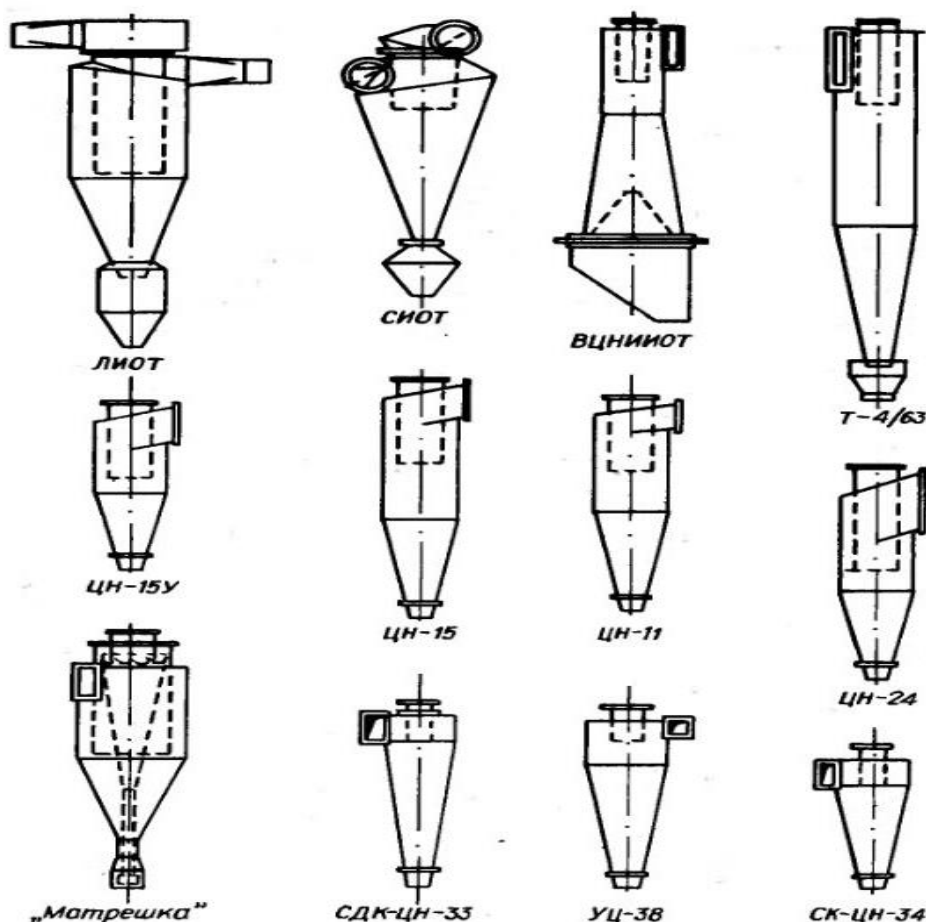


Рис. 8. Типы противоточных циклонов, испытанных по «Единой методике»

Поскольку на предприятиях эксплуатировалось более 20 различных конструкций возвратно-поточных циклонов, Всероссийским научно-исследовательским институтом охраны труда (ВНИИОТ, Ленинград) было принято решение провести испытания разновидностей циклонов для их дальнейшей оценки и унификации по единой методике, разработанной во ВНИИОТ и одобренной Госстроем [10]. В качестве обязательного раздела в нее входила «Единая методика анализа дисперсного состава промышленной пыли» [6]. В результате проведения экспериментов циклон ЦН-11 был включен Госстроем в унифицированный ряд пылеулавливающего оборудования как самый эффективный, удобный в эксплуатации, небольшой по габаритам и приемлемый для групповой компоновки. Типовые чертежи циклона ЦН-11 были разработаны в институте Проектпромвентилиация. Немного уступают ЦН-11 по степени очистки три вида циклона: ЦН-15, СИОТ и ВЦНИИОТ. Они тоже были рекомендованы к применению в некоторых случаях. Так, ЦН-15 имеет диаметр на 10 % меньше, чем ЦН-11, и также удобен для компоновки в группы. Циклон СИОТ по высоте меньше ЦН-11 на 30 %, но несколько больше (на 17 %) по диаметру. Некоторые преимущества циклона ВЦНИИОТ, связанные со своеобразной формой его конической части, уже упоминались. Циклон ЛИОТ не был рекомендован к дальнейшему применению [11].

Чтобы избежать внедрения в промышленность малоэффективных аппаратов, межотраслевые координационные совещания по проблеме «Очистка отходящих газов в сухих аппаратах циклонного типа» рекомендовало всем организациям-разработчикам новых сухих инерционных пылеуловителей направлять их образцы, рассчитанные на расход воздуха 5 тыс. м<sup>3</sup>/ч, в Семибратовский филиал НИИОГАЗ для стендовых испытаний [12].

На современном этапе развития науки конструкции циклонов также непрерывно совершенствуются, однако все они, на данный момент, не получили широкого производственного применения [13].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чалов В.А. Противоточный циклон с направляющим устройством выходного патрубка: дис. канд. техн. наук. Белгород. 2012. С. 18–20.
2. Юрьева М.В., Трубаева В.А., Фадин Ю.М., Даньков А.А. Основные конструкции пылеуловителей и выявление направлений их совершенствования // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: межвуз. сб. ст. / под ред. В.С. Богданова. Белгород, 2016. вып. XV. С. 293–297.
3. Авторское свидетельство 1130408А СССР, МПК В 04 С 05/04, В 04 С 05/08. Циклон / Богданов В.С., Севостьянов В.С., Богданов Н.С., Литвин А.Я., Пономарев Л.И. Бюлл. №47. (Заявлено 28.09.1983, опубликовано 23.12.1984).
4. Пирумов А.И. Аэродинамические основы инерционной сепарации / Под ред. Н.Я. Фабриканта. М.: Госстройиздат, 1961. 124 с.
5. Коузов П.А. Сравнительная оценка циклонов различных типов. Обеспыливание в металлургии. М.: Металлургия, 1971. 351 с.
6. Ушаков С.Г., Зверев Н.И. Инерционная сепарация пыли. М.: Энергия, 1974. 168 с.
7. Васильченко Н.М. Газоочистное оборудование: каталог. М.: ЦИНТИ-химнефтемаш, 1988. 120 с.
8. Пирумов А.И. Обеспыливание воздуха. М.: Стройиздат, 1974. 207 с.
9. Авторское свидетельство 1292844А1 СССР, МПК В 04 С 07/00. Циркуляционный прямоточный циклон / Богданов В.С., Богданов Н.С., Несмеянов Н.П., Воробьев Н.Д. Бюлл. №8. (Заявлено 10.11.1984, опубликовано 28.02.1987).
10. Мисюля Д. И., Кузьмин В.В., Марков В.А. Сравнительный анализ технических характеристик циклонных пылеуловителей // Труды БГТУ. Химия и технология неорганических веществ. 2012. №3. С. 154–162.
11. Веригин А. Н., Федоров В. Н., Малютин М. С. Конструкция современных циклонов для пылеулавливания. Изд.: С.-Петербургского университета, 2000. 336 с.
12. Коузов П.А., Мальгин А.Д., Скрыбин Г.М. Очистка газов и воздуха от пыли в химической промышленности. СПб: Химия, 1993. 320 с.
13. Богданов В.С., Жидков В.В., Семикопенко И.А., Логачев И.Н., Дмитриенко В.Г. Закономерности движения частиц порошка в зоне сепарации цилиндрической формы классификатора центробежного типа // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. №1. С. 60–65.

---

**Fadin Yu.M., Bogdanov V.S., Yureva M.V., Vechkanov A.V.****RECIPROCATING IN-LINE CYCLONE. ORIGINS OF ORIGINS AND DIRECTIONS FOR IMPROVEMENT**

*Almost every modern enterprise can't do without dust collecting equipment, the most common of which are cyclones. Cyclone is a device for capturing dust from a gas stream by separating dust from gases with the help of centrifugal force. Since the construction of the cyclones have continuously changed and improved, and the principle of operation has remained the same. In this article, a study was conducted aimed at studying the historical origins of such a variety of cyclones. The experience of unification is described depending on the efficiency of the structures, the conclusions are given.*

**Key words:** cyclone, history, dust collector, LIOT, SIOT, VCNIIOT, NIIOGAZ.

---

**Фадин Юрий Михайлович**, кандидат технических наук, профессор кафедры механического оборудования.

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

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

E-mail: fadin.y@mail.ru

**Богданов Василий Степанович**, доктор технических наук, профессор кафедры механического оборудования.

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

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

E-mail: v.bogdanov1947@gmail.com

**Юрьева Мария Вячеславовна**, магистрант.

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

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

E-mail: yurevamarina16@gmail.com

**Вечканов Андрей Владимирович**, студент.

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

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

Дуюн Т.А., д-р техн. наук, проф.,  
Бочарникова Г.В., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА СБОРКИ КОЛЛЕКТОРА КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

tanduun@mail.ru

В статье предложен новый способ сварки в процессе сборки коллектора котельного агрегата с использованием специальной прецизионной установки, обеспечивающей заданное базирование корпуса коллектора, равномерность сварного шва, стабильные характеристики качества без внутренних дефектов, повышение производительности сварочных работ. Представлены результаты исследования макроструктуры сварного шва и околошовной зоны термического влияния с использованием вакуумного сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения, свидетельствующие о достаточном качестве получаемого сварного соединения, обеспечении плотной и однородной структуры, отсутствии крупных карбидных зерен, внутренних дефектов. Предложенный способ автоматической сварки под слоем флюса может быть использован с целью повышения эффективности изготовления коллекторов: повышения производительности при обеспечении требуемого качества.

**Ключевые слова:** коллектор котельного экономайзера, обеспечение качества сборки, макроструктура сварного шва, дефекты сварного шва.

**Введение.** Котельный агрегат (котлоагрегат) – это крупногабаритное сложное устройство, состоящее из большого числа деталей и узлов. В состав котлоагрегата входит значительное количество элементов, работающих под высоким давлением и значительными тепловыми нагрузками, в связи с чем, в процессе изготовления к ним предъявляют повышенные требования. Одним из таких элементов является блок экономайзера (рис. 1), в состав которого входит коллектор, соединенный со змеевиками. Именно этот узел имеет наиболее высокую напряженность при работе котла.

Коллектор состоит из корпуса, двух днищ и ряда штуцеров (или патрубков), присоединяемых к нему с помощью сварки (рис. 2). При сварке коллекторов применяют стыковые соединения для приварки доннышек и угловые соединения для приварки штуцеров. При этом самым распространенным способом сварки является ручная электродуговая сварка штучными электродами. Такая технология весьма трудоемка и предъявляет высокие требования к опыту и квалификации рабочего для обеспечения высокого качества сварных соединений.

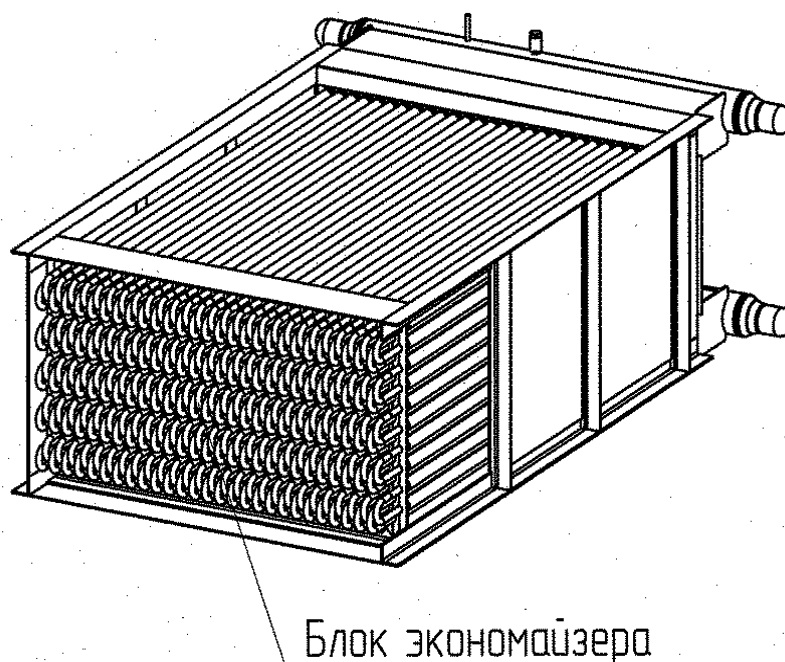


Рис. 1. Котельный агрегат с блоком экономайзера

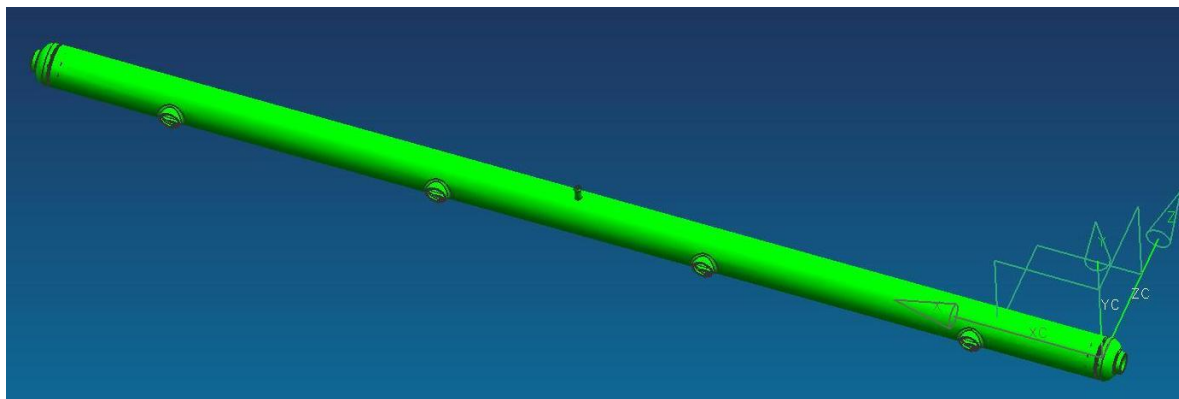


Рис. 2. Коллектор котлоагрегата

Практика сборки коллекторов показала, что использование ручной электродуговой сварки приводит как к наружным, так и к внутренним дефектам сварных соединений. Наружные дефекты – это различные нарушения взаимного расположения соединяемых деталей, вызванные погрешностями в их базировании и релаксацией напряжений, погрешности геометрических размеров и формы сварных швов, выражающихся в их неравномерности или неполномерности. Внутренние дефекты – это пористость, шлаковые включения, непровары и сплавления [1].

Кроме этого из-за неравномерности заполнения разделки шва и неравномерного охлаждения нарушается равновесие внутренних напряжений в металле корпуса коллектора и присоединяемых штуцеров. С учетом того, что на одном корпусе коллектора, как правило, присутствует до 10 штуцеров и более, дисбаланс внутренних напряжений вызывает значительные деформации как отдельных деталей, так и всего узла коллектора, а иногда и образование трещин.

Для уменьшения деформаций изделия после сварки применяют дополнительные технологические операции, способствующие релаксации внутренних напряжений, в том числе предвари-

тельный подогрев перед сваркой, отжиг после сварки, остывание под слоем теплоизоляции и изменение схемы сварки. Однако эти меры не помогают устранить погрешности, связанные с погрешностью базирования свариваемых деталей или квалификацией сварщика [2].

**Методология.** Для решения перечисленных проблем предложена специальная сварочная установка для прецизионной сварки коллекторов котлоагрегатов, схема которой представлена на рис.3. Корпус коллектора 10 базируется и закрепляется в приспособлении 3, имеющем возможность продольного перемещения по направляющим 11. Над корпусом расположена порталная установка 2, неподвижно установленная на столе 1. В центре поперечины портала расположен сварочный суппорт 6, имеющий возможность поворота вокруг вертикальной оси и снабженный механизмом вертикального подъема 7. Этот суппорт несет на себе две оппозитно размещенные сварочные головки 5 с бабинами для сварочной проволоки 4. В центре сварочного суппорта установлено зажимное устройство 8 для привариваемой детали – штуцера 9, при этом зажимное устройство не связано механически с поворотным сварочным суппортом 6 [3].

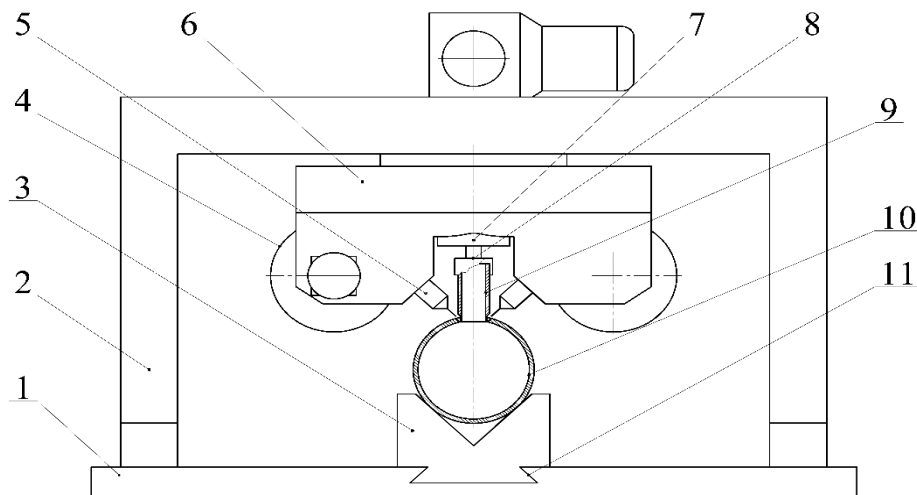


Рис.3. Установка для механизированной прецизионной сварки коллекторов

Применение механизированной установки имеет ряд преимуществ по сравнению с ручной сваркой: обеспечивает заданное базирование корпуса коллектора относительно рамы установки и позиционирование штуцера по отношению к базовому отверстию корпуса коллектора; обеспечивает равномерность сварного шва по длине и стабильные характеристики качества, исключая внутренние дефекты; облегчает труд рабочего и повышает производительность сварочных работ, снижает возможные деформации от перераспределения внутренних напряжений на начальной стадии сварки.

**Основная часть.** На прочностные характеристики сварного соединения существенное влияние оказывает качество наплавленного металла и структура сварного соединения. Необходимо обеспечить отсутствие внутренних дефектов, таких как поры, шлаковые включения, трещины, непровары и получить перлитную (перлитно-ферритную) структуру с отсутствием дендритного строения зерна и крупных карбидных зерен. Экспериментально доказано, что автоматическая сварка под слоем флюса исключает вышеуказанные дефекты и обеспечивает тре-

буемую структуру. Однако, для обеспечения качества сварного соединения необходимо также получить однородную (близкую к однородной) структуру сварного соединения, где сварной шов и зона сплавления близки по структуре с основным материалом.

Для контроля качества сварного шва, выполняемого с использованием предложенного метода сварки, необходимо провести исследование макроструктуры получаемого сварного шва. Для решения поставленной задачи был изготовлен контрольный образец сварного шва, выполненный автоматической сваркой под слоем флюса с предложенными режимами. После сварки образец был разрезан перпендикулярно сварному шву, зачищен под травление, протравлен и подготовленный под анализ макроструктуры. Анализ макроструктуры производился на вакуумном сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) высокого разрешения фирмы «Tescan» серии MIRA, который позволяет оценить зону термического влияния и структуру получаемого сварного шва (рис.4, рис. 5).

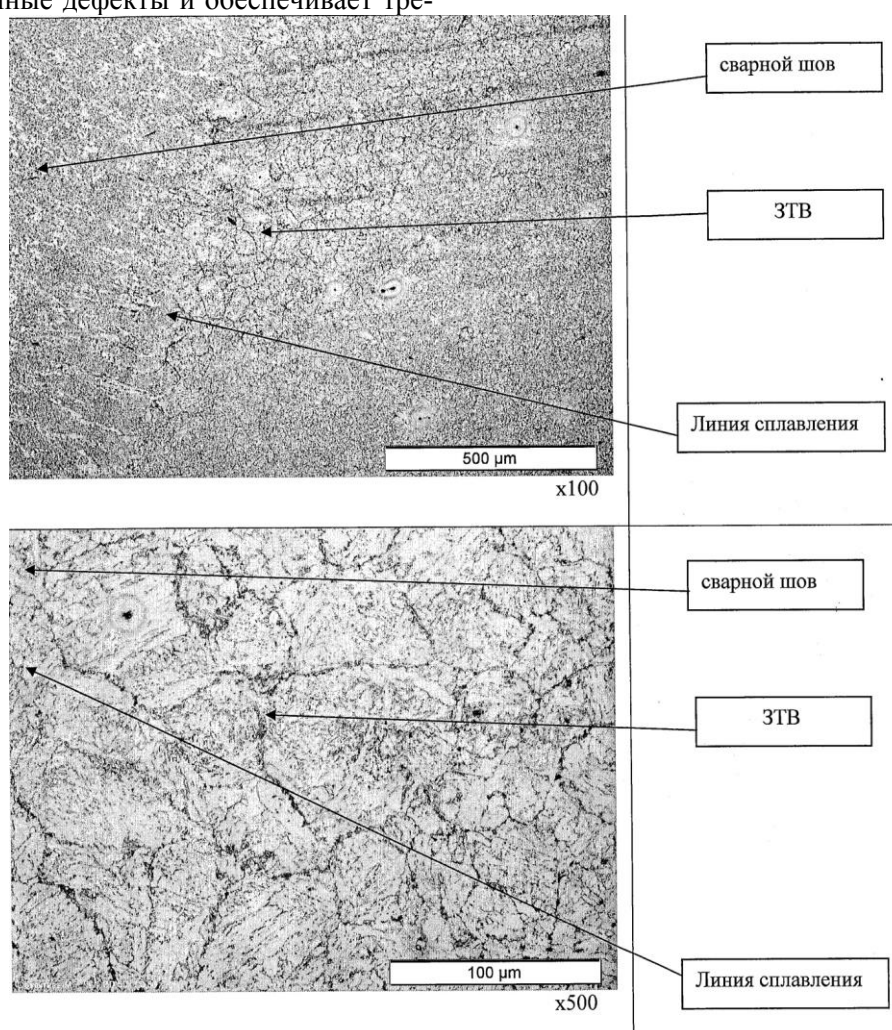


Рис. 4. Макроструктура линии сплавления

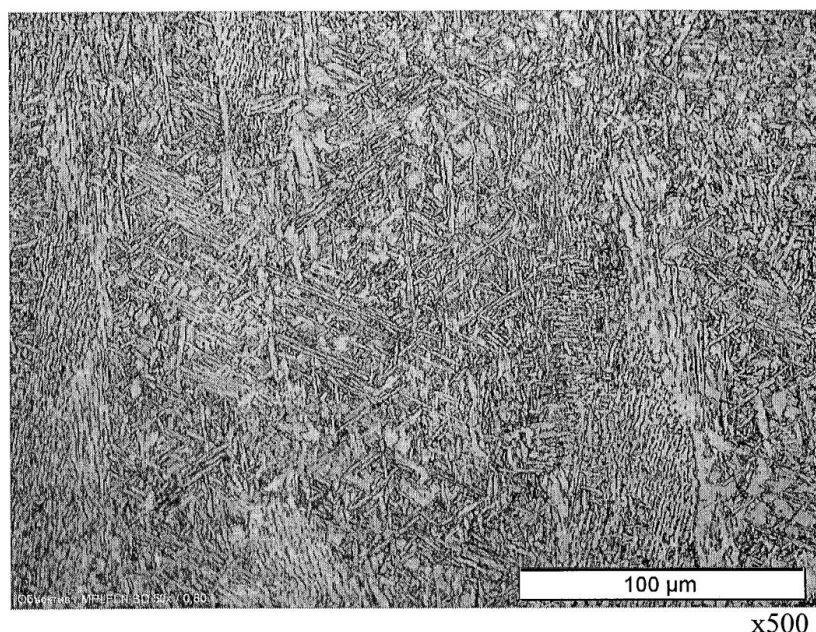


Рис. 5. Макроструктура зоны термического влияния

Одним из важных технологических параметров, обеспечивающих качество сварного соединения, является количество тепловложения в процессе подогрева перед сваркой, что позволяет корректировать градиент распространения температуры как в сварном шве, так и в зоне сплавления с получением требуемой структуры в околошовной зоне. Изучение тепловых процессов в металле шва и вблизи него необходимо по двум причинам: для количественного описания многочисленных реакций, которые идут между жидким металлом и шлаком или газом, а также для определения условий кристаллизации металла, различных структурных превращений и термомеханических процессов в металлах [4].

При сварке плавлением наплавленный металл контактирует со свариваемым металлом. В основном металле возникает зона термического влияния, примыкающая к линии сплавления, в которой под действием тепла, выделяемого источником нагрева, происходит изменение структуры и свойств свариваемого металла [5]. Зона термического влияния представляет собой неоднородную область сварного соединения, структура и свойства которой определяются фазовыми превращениями в стали, протекающими в процессе нагрева при сварке. В зоне термического влияния наблюдается образование ряда закономерных структур в зависимости от температур, до которых прогревался тот или иной участок металла при контакте с наплавленным металлом [6].

Полученные результаты макроструктуры сварного шва и околошовной зоны термическо-

го влияния свидетельствуют о достаточном качестве сварного соединения: структура сварного шва плотная и однородная, отсутствуют крупные карбидные зерна, нет дендритного строения зерна, внутренних дефектов, шлаковых включений, трещин и непроваров.

**Выводы.** По результатам исследований можно сделать вывод о том, что предложенный способ автоматической сварки под слоем флюса с использованием специализированной установки обеспечивает качество сварного соединения и может быть использован в процессе сборки коллекторов котлоагрегатов с целью повышения эффективности изготовления: повышения производительности при обеспечении требуемого качества.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Акулов А.И., Бельчук Г.А., Демянцевич В.П. Технология и оборудование сварки плавлением. Учебник для машиностроительных техникумов. М.: «Машиностроение». 1977, 432 с.
2. Голубев Ю.С., Потапов Н.П., Старченко Е.Г., Волобуев О.С. Состояние и перспективы развития производства и применения сварочных флюсов в отечественной промышленности. Сварочное производство. 2008. №12. С. 29–32.
3. Санин С.Н., Пелипенко Н.А., Квашенкова Г.В. Разработка приспособления для прецизионной сварки коллекторов котлоагрегатов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 4. С. 117–120.
4. Полухин П.И., Гринберг Б.Г., Жадан В.Т., Кантеник С.К., Васильев Д.Н. Технология



металлов и сварка. Учебник для ВУЗов. М.: «Высшая школа», 1977. С. 464.

5. Думов С.И. Технология электрической сварки плавлением. Учебник для машиностроительных техникумов. Изд. 2-е, перераб. и доп./Л.: «Машиностроение», 1978. 368 с.

6. Каховский Н.И., Готальский Ю.Н. Технология механизированной дуговой и электрошлаковой сварки. Учеб. пособие для подготовки рабочих на производстве. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: «Высшая школа», 1977. 358 с.

---

**Duyn T.A., Bocharnikova G.V.**

**ENSURING QUALITY OF ASSEMBLY OF THE COLLECTOR OF THE BOILER UNIT**

*In article quality control of a welded seam on means of a research of a macrostructure of a welded seam and control of carbide grains in an alloyage zone when using new installation for position welding of collectors is considered. Such control of welded seams is necessary in rather responsible designs, such as welding of unions to cases of collectors of water-heating coppers. This control assumes a research of a sample of a welded seam by means of a microscope in a zone of alloyage and in a zone of thermal influence regarding lack of a dendrid's structure of grain and large carbide grains that confirms the optimized process of the welding increasing productivity of the performed welding works.*

**Key words:** *a collector of the boiler economizer, installation for welding, control of a welded seam, a macrostructure of a welded seam, defects of a welded seam.*

---

**Дуюн Татьяна Александровна**, доктор технических наук кафедры технологии машиностроения, профессор. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

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

E-mail: tanduun@mail.ru

**Бочарникова Галина Валерьевна**, аспирант кафедры технологии машиностроения.

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

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

E-mail: brunette2311@mail.ru

Бойко А.Ф., д-р техн. наук, проф.,  
Клеймёнов К.Н., магистрант,  
Чунихин А.Б., студент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА И ИЗНОСА ЭЛЕКТРОДА-ИНСТРУМЕНТА ОТ ЧАСТОТЫ ИМПУЛЬСОВ ПРИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ПРОШИВКЕ ПРЕЦИЗИОННЫХ МИКРООТВЕРСТИЙ

maytobigeri@yandex.ru

В статье изложены результаты исследований производительности процесса и износ электрода-инструмента от частоты импульсов электроэрозионной прошивки микроотверстий диаметром  $D=0,01-0,2$  мкм. Получены математические модели зависимости, на основе которых оптимизированы режимы обработки. Установлено, что для каждого диаметра электрода-инструмента и каждой глубины отверстия существует оптимальное значение частоты. Результаты оптимизации табулированы.

**Ключевые слова:** износ электрода-инструмента, оптимальное значение частоты, математические модели.

**Введение.** Частота, как и энергия импульсов, является важнейшим параметром процесса электроэрозионной прошивки микроотверстий [1–4]. Оба параметра являются составляющими главной энергетической характеристики процесса – мощности, реализуемой в межэлектродном промежутке. Несмотря на то, что длительность импульсов составляет доли микросекунд, энергия, выделяемая в межэлектродном промежутке от единичного импульса, оказывается достаточной, чтобы в канале разряда температура достигла десятков тысяч градусов. При такой температуре плавятся и испаряются все материалы, поэтому короткие импульсы пригодны для обработки любых токопроводящих материалов. С увеличением частоты импульсов количество эродированных частиц в единицу времени будет увеличиваться, и производительность обработки расти. Однако, как и в случае с энергией импульсов, с увеличением частоты импульсов растет доля парогазовой фазы в межэлектродном промежутке, уменьшается эвакуационная способность процесса, растет доля «фиктивных» импульсов и вторичных разрядов, расходуемых на повторное диспергирование частиц. При этом замедляется рост производительности прошивки микроотверстий, нарушается его стабильность, увеличивается износ электрода-инструмента и, следовательно, снижается точность обработки. Таким образом, и в отношении частоты импульсов стоит исследовательская задача оптимизации.

Для исследования был проведен ряд экспериментов на электроэрозионном станке 04ЭП10М. Электроэрозионная обработка осуществлялась с использованием транзисторного генератора коротких импульсов (а.с.№884923).

В качестве электрода-инструмента использовалась омедненная вольфрамовая проволока, обрабатываемый материал – хромоникелевые стали типа 12Х18Н10Т, 3И-30. Эксперименты проводились на следующих режимах: глубина прошиваемого отверстия –  $H = 500$  мкм; частота вибрации электрода-инструмента  $f = 330$  Гц; амплитуда вибрации электрода инструмента – 12 мкм, энергия импульса  $E = 6,17; 9,25; 13, 18$  мкДж.

**Методология.** Эксперимент проводился следующим образом. Прошивка отверстия производилась тремя различными по диаметру  $d$  электродами-инструментами – 20 мкм, 30 мкм и 50 мкм. Для каждого диаметра электрода-инструмента прошивалось  $n = 4$  отверстия со следующими значениями частоты импульсов  $f_1=25$  кГц,  $f_2=33$  кГц,  $f_3=50$  кГц,  $f_4=100$  кГц. При прошивке замерялось время прошивки  $t$  и измерялся износ электрода-инструмента  $Z$ .

**Основная часть.** На рис. 1 представлены графики зависимости относительного линейного износа  $\gamma$  электрода-инструмента (%) от частоты  $f$  импульса при  $E = 9.25$  мкДж для трёх диаметров электрода-инструмента.

Полученные графики можно описать графоаналитическим методом с помощью математических функций в виде:

$$\gamma(d, f) = \frac{-1,072}{d^{-1,365} - 0,025} \cdot (1 - e^{\frac{f}{-0,42 \cdot d - 9,555}}), \quad (1)$$

где  $f$  – частота импульса, кГц;  $d$  – диаметр электрода инструмента, мкм.

Максимальная погрешность при описании данных математическими функциями в интересующих нас точках не превышает 10 %.

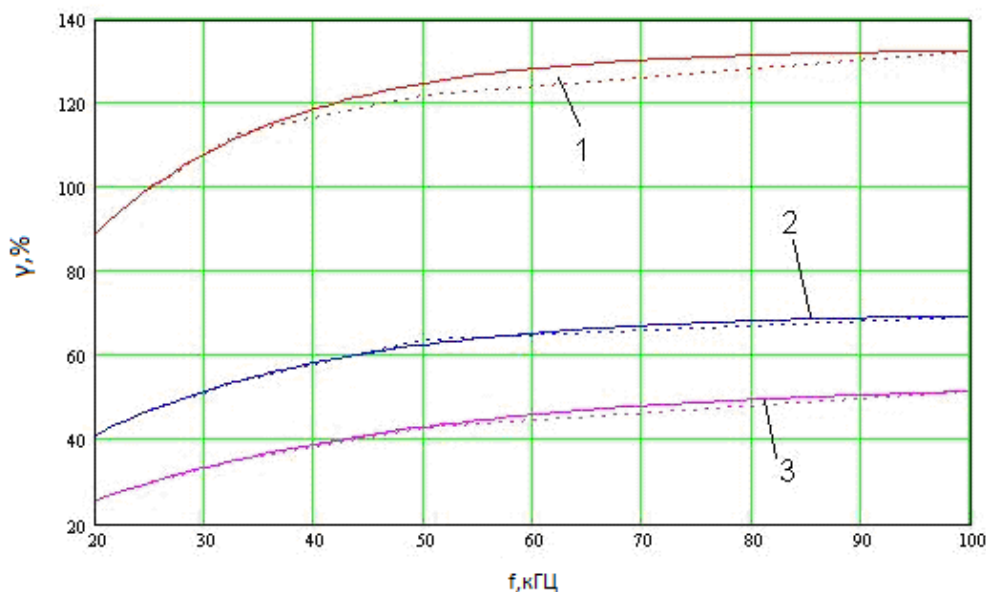


Рис. 1. Графики зависимости износа электрода-инструмента от частоты импульса:  
1 – для электрода-инструмента диаметром  $d=20$  мкм; 2 –  $d=30$  мкм;  
3 –  $d=50$  мкм (сплошные линии – экспериментальные, пунктирные – теоретические)

На рис. 2 представлен объемный график зависимости относительного линейного износа от диаметра электрода-инструмента и частоты импульсов.

Видно, что малый износ электрода-инструмента наблюдается при малой частоте импульса, и в этом диапазоне частот износ не-

значительно зависит от диаметра электрода. В диапазоне больших частот импульсов наблюдается резкое увеличение износа для малых диаметров электродов-инструментов, что говорит о необходимости оптимизации частоты импульса как одного из важных параметров процесса электроэрозионной обработки.

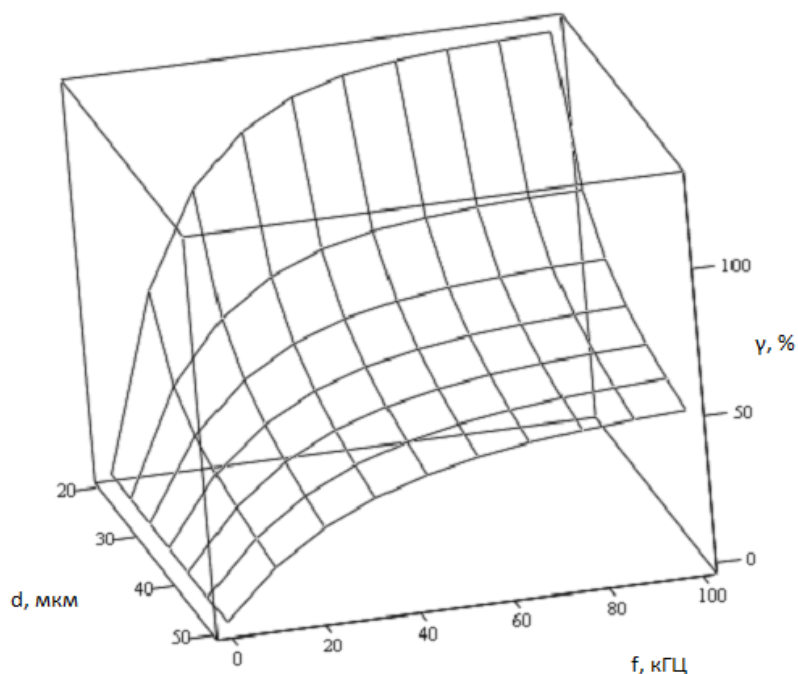


Рис. 2. График зависимости линейного износа от диаметра электрода-инструмента и частоты импульсов

На рис. 3 представлены графики зависимости производительности  $Q$  (мкм/сек) от частоты

импульса для трёх диаметров электродов-инструментов.

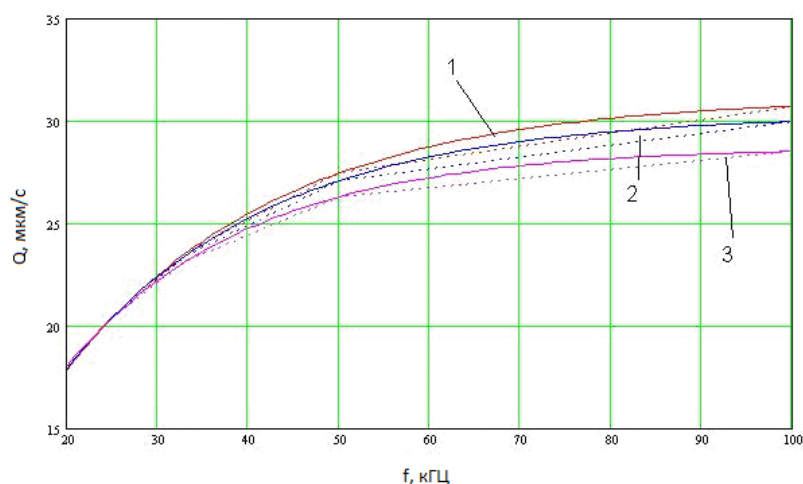


Рис. 3. Графики зависимости производительности от частоты импульса: 1 – для электрода-инструмента диаметром 20 мкм; 2 – 30 мкм; 3 – 50 мкм (сплошные линии – экспериментальные, пунктирные – теоретические)

Семейство этих графиков для разных диаметров электродов-инструментов можно описать графоаналитическим методом математически в виде функции:

$$Q(d, f) = (-0,08 \cdot d + 32,76) \cdot (1 - e^{\frac{f}{0,11 \cdot d - 25,7}}), \quad (2)$$

где  $f$  – частота импульсов, кГц;  $d$  – диаметр электрода-инструмента, мкм.

Максимальная погрешность при описании данных математическими функциями в интересующих нас точках не превышает 10 %.

На рис. 4 представлен объемный график зависимости производительности от диаметра электрода-инструмента и частоты импульсов.

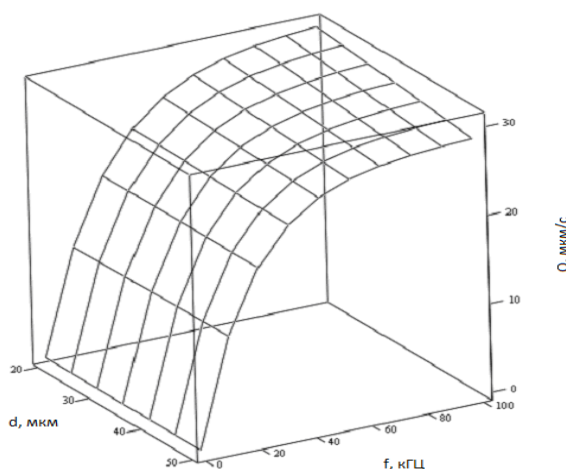


Рис. 4. График зависимости производительности от диаметра электрода-инструмента и частоты импульсов

Видно, что интенсивный рост производительности наблюдается в области малых частот импульса, что объясняется малым количеством образованных в межэлектродном промежутке эродированных частиц, эвакуация которых не вызывает затруднений.

С увеличением частоты импульсов количество продуктов эрозии, образованных в единицу времени, увеличивается, самоэвакуация их из

межэлектродного промежутка все более затрудняется, следствием чего является снижение темпов роста производительности.

На базе проведенных экспериментов были получены трёхфакторные зависимости относительно линейного износа  $\gamma$  электрода-инструмента и производительности  $Q$  от диаметра  $d$ , глубины  $H$  отверстия и частоты  $f$  импульсов

$$\gamma(d, H, f) = \left( \frac{0,23 \cdot d}{H} \cdot \left( e^{\frac{H}{2,3 \cdot d}} - 1 \right) + \frac{12,824}{d^{0,212-1,761}} \right) \cdot (1,51 - 1,51 \cdot e^{-0,045 \cdot f}), \quad (3)$$

$$Q(d, H, f) = (0,5 \cdot H \cdot (0,0009 \cdot d - 0,093) + 0,435 \cdot d + 21,8) \cdot (1,28 - 1,28 \cdot e^{-0,045 \cdot f}). \quad (4)$$

Тогда оперативное время обработки (4.18) будет иметь вид:

$$T_{\text{оп}}(d, H, f) = \frac{H}{(0,5 \cdot H \cdot 0,0009 \cdot d - 0,093) + 0,435 \cdot d + 21,8) \cdot (1,28 - 1,28 \cdot e^{-0,045 \cdot f})} + \frac{(25+10) \cdot \left( \frac{0,23 \cdot d}{H} \left( e^{\frac{H}{2,3 \cdot d}} - 1 \right) + \frac{12,824}{d^{0,212-1,761}} \right) \cdot (1,51 - 1,51 \cdot e^{-0,045 \cdot f}) \cdot H}{(33,75 \cdot d - H) \cdot 100} + t' \quad (5)$$

На рис. 5 представлен объемный график зависимости оперативной производительности  $Q_{\text{оп}} = \frac{H}{T_{\text{оп}}}$  от частоты импульса и глубины про-

шиваемого отверстия для трёх диаметров электродов-инструментов.

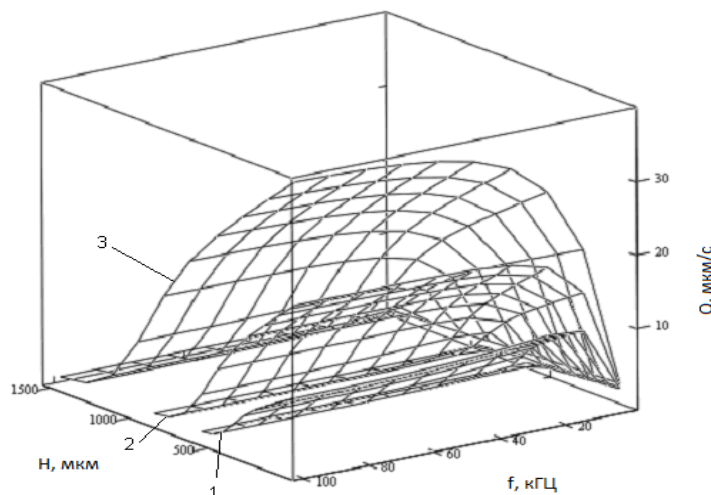


Рис. 5. Графики зависимости оперативной производительности от частоты импульсов и глубины прошиваемого отверстия:

1 – для электрода-инструмента диаметром 20 мкм; 2 – 30 мкм; 3 – 50 мкм

Из графика видно, что для определенного диаметра электрода-инструмента и определенной глубины прошиваемого отверстия производительность увеличивается с увеличением частоты, но до определенного значения частоты производительность увеличивается резко, а затем незначительно. Следовательно, построив график оперативного времени для определенного диаметра электрода-инструмента и глубины прошиваемого отверстия можно определить оптимальную точку частоты генератора импульсов, после которой увеличение частоты будет

нецелесообразно, так как практически нет роста производительности, но увеличивается износ электрода-инструмента (см. рис. 1, 2), что негативно сказывается на точности обработки.

На рис. 6 представлен график зависимости времени прошивки от частоты генератора для электрода-инструмента диаметром 50 мкм и глубины прошиваемого отверстия 800 мкм. Из графика видно, что до частоты 40 кГц идет резкое снижение времени обработки, а после почти не происходит снижение времени обработки.

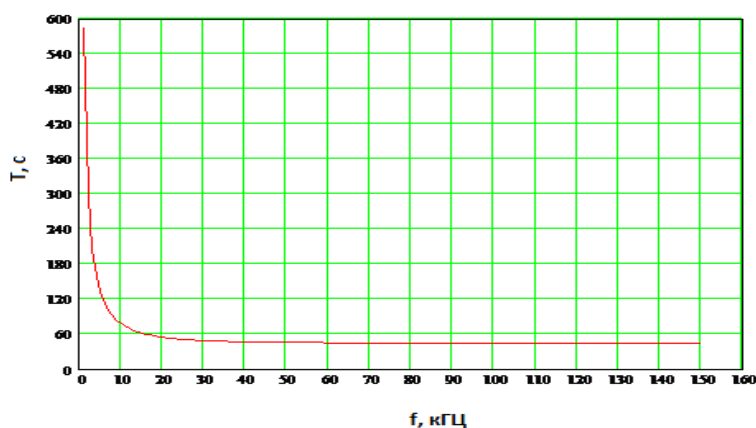


Рис. 6. Графики зависимости оперативного времени от частоты импульса для электрода-инструмента диаметром 50 мкм и глубины 800 мкм

В табл. 1 приведены некоторые значения оптимальных частот импульсов в зависимости от диаметра электрода-инструмента и глубины

прошиваемого отверстия, после которых увеличение частоты не целесообразно по вышеизложенным причинам.

Таблица 1

Оптимальные частоты генератора импульсов

| Глубина прошиваемого отверстия $H$ , мкм | Диаметр прошиваемого отверстия $d$ , мкм |    |    |
|------------------------------------------|------------------------------------------|----|----|
|                                          | 20                                       | 30 | 50 |
| 1                                        | 2                                        | 3  | 4  |
| 100                                      | 25                                       | 35 | 60 |
| 200                                      | 25                                       | 35 | 55 |
| 300                                      | 20                                       | 30 | 50 |
| 400                                      | 15                                       | 25 | 50 |
| 500                                      | 10                                       | 25 | 40 |
| 600                                      | 8                                        | 20 | 40 |
| 700                                      | -                                        | 10 | 40 |
| 800                                      | -                                        | 5  | 35 |
| 900                                      | -                                        | 3  | 30 |
| 1000                                     | -                                        | -  | 20 |

Прочерки в таблице обозначают такие глубины, на которых нецелесообразно производить прошивку из-за очень большого износа электрода-инструмента.

#### Выводы.

1. С увеличением частоты импульсов наряду с ростом производительности увеличивается износ электродов-инструментов, особенно в диапазоне малых диаметров. Наибольший рост производительности наблюдается в области малых частот.

2. В исследуемом диапазоне изменения частот импульсов экстремума зависимости относительно износа электрода-инструмента и производительности электроэрозионной прошивки микроотверстий от частоты импульсов не наблюдается.

3. Оптимальной частотой импульсов принято такое её наименьшее значение, дальнейшее увеличение которого не даёт заметного роста оперативной производительности, но увеличивает износ электрода-инструмента и, как следствие, снижает точность обработки. Таким образом, частотная характеристика процесса электроэрозионной прошивки микроотверстий имеет односторонний оптимум.

4. На основе односторонней оптимизации для каждого диаметра электрода-инструмента и каждой глубины прошиваемого микроотверстия получены оптимальные значения частот импульсов. С уменьшением диаметра и увеличением глубины микроотверстий оптимальное значение частоты уменьшается.

5. Разработанный метод оптимизации частоты импульсов является новым научным решением в технологии электроэрозионной прошивки микроотверстий и может быть использован при создании адаптивно-программного управления электрическими режимами обработки.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Pusacheva E.I., Boyko A.F. Research of multiple-factor dependence of wear of an electrode tool and development of a technique of its optimization at an electroerosion of small openings // International Journal of Applied Engineering Research (IJAER). 2014. V. 9. №22. P. 16821-16836
2. Бойко А.Ф. Эффективная технология и оборудование для электроэрозионной прошивки прецизионных микроотверстий - Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. 314с.
3. Погонин А.А., Бойко А.Ф., Домашенко Б.В. Влияние энергии и частоты импульсов тока на производительность электроэрозионной обработки капиллярных отверстий // Новые материалы и технологии в машиностроении: сб. докл. Пятая междунар. науч.-техн. конф. Брянск, 2006г./ Брянская гос. инж. - техн. акад.-Брянск, 2006. С. 133-136.
4. Погонин А.А., Бойко А.Ф., Блинова Т.А. Влияние энергии и частоты импульсов тока на качество поверхности капиллярных отверстий, полученных в результате электроэрозионной прошивки // Наука на рубеже тысячелетий: сб. мат-ов 5-й междунар. науч. - практ. конф., Там-

бов, 26-27 окт. 2008г./ ТГТУ. Тамбов, 2008. С. 157–159.

---

**Boyko A.F., Kleymenov K.N., Chunikhin A.B.**

**THE RESEARCH ON THE PROCESS PRODUCTIVITY AND WEAR OF THE TOOL ELECTRODE ON THE FREQUENCY OF THE PULSES OF THE ELECTROEROSIVE FLASHING OF MICROHOLES**

*The article presents the results of the research on the process productivity and wear of the tool electrode on the frequency of the pulses of the electroerosive flashing of microholes with a diameter  $D = 0.01-0.2 \mu m$ . It points out the obtained mathematical models of dependence, which provided the basis for the optimization of processing regimes. It is established that for each diameter of the tool electrode and each hole depth there is an optimal frequency value. The optimization results are tabulated.*

**Key words:** wear of the tool electrode, optimal frequency value, mathematical models.

---

**Бойко Анатолий Федорович**, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения.

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

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

E-mail: boyko\_1947@bk.ru

**Клеймёнов Кирилл Николаевич**, магистрант кафедры технологии машиностроения.

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

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

E-mail: kirill.kleymenov@mail.ru

**Чунихин Антон Борисович**, студент кафедры технологии машиностроения.

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

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

E-mail: maytoigeri@yandex.ru



DOI: 10.12737/article\_590878fb7932c3.02818288

Качаев А.Е., канд. техн. наук  
ООО «Воскресенский завод «Машиностроитель»  
ПАО «Горнопромышленная финансовая компания»  
Орехова Т.Н., канд. техн. наук

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ОПИСАНИЕ ВИХРЕВОГО ДВИЖЕНИЯ ДВУХФАЗНОГО ПОТОКА В ПНЕВМОСМЕСИТЕЛЕ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

doctor\_cement@mail.ru

Совершенствование технологий производства сухих строительных смесей связано не только с улучшениями их составов, но и с использованием высокотехнологичного эффективного оборудования, которое обеспечивало бы необходимое качество готового продукта. Применение современных пневмосмесителей простой конструкции позволяет получать смеси необходимого качества за счет использования внутри камеры гомогенизации не только осевого двухфазного потока, но и интенсифицирующего его движение вихревого подвода воздуха.

Анализ сложного движения частиц в потоке воздуха, создаваемом в камере гомогенизации, позволяет сделать вывод о необходимых режимах работы пневмосмесителя относительно конкретного состава сухой смеси. Существующие конструкции пневмосмесителей мало изучены и практически не используются при массовом производстве, так как сдерживающим фактором из применения по-прежнему остается повышенный расход энергоносителя. Если в конструкции пневмосмесителя применить совмещенный принцип гомогенизации осевого двухфазного потока с вихревым, то в виду снижения временного промежутка на его перемешивание, можно сделать вывод о том, что суммарный расход энергоносителя на единицу готового продукта снижается, а однородность, следовательно, и качество смеси повышается.

**Ключевые слова:** пневмосмеситель; камера гомогенизации; частица; двухфазный поток; осевая, радиальная и окружная скорости.

**Введение.** На современном этапе развития технологий сухих строительных смесей в нашей стране важную роль при их производстве играет возможность использования эффективных технологических агрегатов. Специфика производства сухих смесей предусматривает гибкость технологических операций в виду обеспечения их широкой номенклатуры, а также качество выпускаемой продукции в сравнении с существующим многообразием аналогов.

Достижения в области строительного материаловедения, касающиеся составов сухих строительных смесей, обуславливают основные направления совершенствования техники и технологии гомогенизации их дисперсных компонентов. При этом, однородность продукта является основной характеристикой требуемого качества современных строительных смесей [1].

В зависимости от типа строительных смесей, например, таких как легкие (теплоизоляционные), тяжелые (отделочные штукатурки), особо тяжелые (смеси для заливки стяжек полов) и др., необходимо осуществлять подбор смесительного оборудования, которое бы удовлетворяло той или иной технологии производства. Так, например, для легких теплоизоляционных смесей целесообразно использовать пневмосмесители [2, 3, 4] непрерывного действия. Глав-

ными достоинствами пневмосмесителей разработанной конструкции можно назвать получение однородного продукта с высокой степенью однородности, а также возможность производства смесей в непрерывном цикле.

Совершенствование конструкции пневмосмесителей направлено на возможность получения однородных дисперсных систем, при этом не мало важную роль играют и вопросы ресурсо- и энергосбережения в условиях предприятий, которые используют в своей технологической цепочке оборудование подобного типа.

В конструкциях пневмосмесителей [2, 3] основное перемешивание дисперсных компонентов смеси происходит за счет движущегося в камере гомогенизации осевого двухфазного потока, который под действием подведенного с периферии камеры воздуха начинает закручиваться в вихрь (рис. 1). Теоретические исследования движения вихревого потока двухфазной среды в пневмосмесителе позволяют адекватно оценить характер процесса гомогенизации, определить конструктивные параметры агрегата и его эффективные режимы работы на примерах различных составов строительных смесей [5]. Именно поэтому такие исследования являются весьма актуальными и показательными.

**Основная часть.** Рассмотрим математическую модель вихревого потока двухфазной среды «воздух-частица» с камере гомогенизации пневмосмесителя [3], разработанной конструкции.

При попадании компонентов смеси из разгонного узла в камеру гомогенизации происходит торможение двухфазного потока (рис. 1). Именно здесь особо крупные частицы (250 мкм и более) могут выпасть из потока и осесть в так называемых «застойных» зонах пневмосмесителей горизонтального исполнения [2]. Для ликвидации «застойных» зон [2] камеры гомогенизации в конструкции пневмосмесителя предусмотрен периферийный тангенциальный поддув воздуха, который начинает вовлекать в вихревой поток частицы, попавшие в камеру после разгонного узла. Безусловно, определенный процесс смешения происходит уже на стадии транспортирования смеси в разгонном узле, однако, вихревое перемешивание представляет собой основной процесс более эффективного перемешивания, а его математическое описание более актуальную задачу.

Во вращающемся воздушном потоке на частицу измельчаемого материала действуют силы тяжести  $F_g$ ; аэродинамического сопротивления среды (воздуха)  $F_a$ ; сила, обусловленная изменением давления среды по поверхности частицы  $F_p$ ; бокового несимметричного обтекания вращающейся частицы  $F_\omega$ .

Сила аэродинамического сопротивления вихря воздушной среды движению частицы в камере гомогенизации может быть определена из условий автомоделной области  $10^3 < Re < 3 \cdot 10^5$  по квадратичному закону [8–10]:

$$F_a = -\frac{\pi \cdot \rho \cdot d_p}{20} \cdot v_r'^2 \cdot \frac{\vec{v}_r'}{|\vec{v}_r'|}, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность несущей фазы (воздуха),  $\text{кг/м}^3$ ;  $d_p$  – эффективный аэродинамический диаметр частицы,  $\text{м}$ ;  $\vec{v}_r'$  – относительная скорость частицы,  $\text{м/с}$ ,  $\vec{v}_r' = \vec{v} - \vec{v}_p$ ;  $\vec{v}$  – вектор скорости потока несущей фазы (воздуха),  $\text{м/с}$ ;  $\vec{v}_p$  – вектор скорости частицы в потоке несущей фазы,  $\text{м/с}$ ;  $Re$  – критерий Рейнольдса, определяем по формуле:

$$Re = \frac{(v - v_p)}{\nu}, \quad (2)$$

здесь  $\nu$  – кинематическая вязкость двухфазного потока,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

Эффективный аэродинамический диаметр частицы, объем которой равен объему рассматриваемой сферической частицы  $V_p$ , рассчитывается по формуле [7]:

$$d_p = \sqrt[3]{\frac{6V_p}{\pi}}. \quad (3)$$

В общем случае определить силу аэродинамического сопротивления частицы неправильной формы невозможно, так как она зависит не только от ее геометрии, свойств поверхности, величины скорости, но и от ориентации частицы по отношению к вектору скорости. Поэтому, основываясь на результатах разных авторов [1, 6], расчет будем производить для сферической частицы перемешиваемых материалов.

Сила  $F_p$ , обусловленная изменением давления несущей фазы (воздуха) по поверхности частицы, при малых размерах частицы определяется изменением градиента давления по объему частицы и с учетом теоремы «о среднем значении» запишется в виде [8]:

$$F_p = -V_p \cdot \text{grad } p, \quad (4)$$

где  $\text{grad } p$  – градиент давления среды, взятый в точке, совпадающей с центром объема частицы.

В процессе движения частицы в пространстве камеры гомогенизации, помимо вышеуказанных сил, на частицы в вихре действует сила  $F_\omega$ , вызванная несимметричностью обтекания вращающейся частицы. С учетом формулы Жуковского получаем [7]:

$$F_\omega = -2\rho_p V_p v_{r\omega} \omega_p, \quad (5)$$

где  $v_{r\omega}$  – перпендикулярная  $\omega$  проекция относительной скорости частицы  $v_r$ ;  $\rho_p$  – плотность отдельных частиц смешиваемых компонентов,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\omega_p$  – угловая скорость вращения частицы,  $\text{рад/с}^{-1}$ .

В реальном вихревом потоке с реальными частицами их взаимодействие определяется многими факторами: микроструктурой течения вокруг частицы, собственным ее движением, свойствами поверхности, физическими свойствами потока и частицы, взаимодействием частиц, изменением потока частицами и др. Поэтому в математическом описании вихревого движения частицы неправильной формы в камере гомогенизации пневмосмесителя необходимо учитывать только те силы, которые следуют из ясных физических представлений, когда другие силы не действуют.

Уравнение равновесия сил (1), (4–5), действующих на частицу в вихревом потоке камеры гомогенизации, представим в виде [8–10]:

$$\frac{dU_p}{dt} = \frac{(U - U_p)}{\tau} - \text{grad } p + g + 2U \frac{dU_p}{dr_1}, \quad (6)$$

где  $U, U_p$  – абсолютная скорость несущей фазы и частицы в вихревом потоке, соответственно,  $\text{м/с}$ ,  $r_1$  – начальный радиус камеры гомогенизации,  $\text{м}$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ;

$p$  – давление несущей среды (воздуха) на частицу материала,  $Pa$ , с учетом геометрических параметров камеры гомогенизации рассчитываем по формуле:

$$p = p_{p,y} + \frac{\rho U}{2} \left[ 1 + \left( \frac{L_1 \cdot l_1}{2\pi r_1^2} + \dots + \frac{L_k \cdot l_k}{2\pi r_k^2} \right) \right], \quad (7)$$

здесь  $p_{p,y}$  – давление, создаваемое в разгонном узле пневмосмесителя,  $Pa$ ;  $L_1$  – начальная длина камеры гомогенизации,  $L_1 = 0$ , м;  $L_k$  – конечное значение длины камеры гомогенизации, м;  $l_1$  и  $l_k$  – начальная и конечная длины за-

крутки вихря, м;  $r_1$  – начальный радиус камеры гомогенизации, убывающий до  $r_k$ , м.

Абсолютная скорость несущей фазы и частицы определяется из выражения [7]:

$$U(U_p) = \sqrt{[v(v_p)]^2 + [w(w_p)]^2 + [u(u_p)]^2}, \quad (8)$$

На основании вышесказанного рассмотрим пространственную вихревую модель движения двухфазного потока (воздух, частица материала) в камере гомогенизации пневмосмесителя (рис. 1).

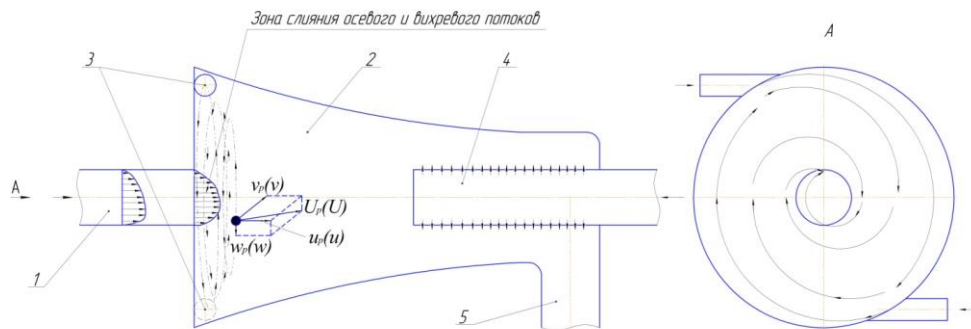


Рис. 1. Схема вихревого движения двухфазного потока в камере гомогенизации:

1 – транспортирование компонентов смеси по разгонному узлу; 2 – камера гомогенизации; 3 – тангенциальный поддув воздуха; 4 – узел аэрации и дезагрегации смеси; 5 – разгрузочный патрубок

При определении поля скоростей движения частицы силой, учитывающей её вращение, пренебрежем из-за малости её величины.

Предположим, что радиальная, тангенциальная и осевая скорости движения воздуха и частицы измельчаемого материала определяются расстоянием от оси вращения и временными интервалами без соударений со стенками камеры гомогенизации и иными интенсифицирующими устройствами, которые могут быть расположены в ней, как, например, в [3,4].

Теоретически движение частицы в вихревом потоке центробежного поля камеры гомогенизации можно представить системой уравнений:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{(v-v_p)}{\tau} - \frac{1}{\rho_p} \frac{\partial p}{\partial r_1} + \frac{w_p^2}{r_1}, \quad (9)$$

$$\frac{dw}{dt} = \frac{(w-w_p)}{\tau} + \frac{v_p \cdot w_p}{r_1}, \quad (9)$$

$$\frac{du}{dt} = \frac{(u-u_p)}{\tau} - \frac{1}{\rho_p} \frac{\partial p}{\partial z} + g, \quad (9)$$

где  $v_p$ ,  $w_p$ ,  $u_p$  – радиальная, окружная и осевая скорости движения частицы в вихревом потоке камеры гомогенизации, м/с;  $v$ ,  $w$ ,  $u$  – то же для несущей фазы (воздуха), м/с;  $z$  – вертикальная координата положения частицы в вихре, м.

Для осреднения скоростей движения частиц и несущей фазы используем систему безразмерных величин ( $\bar{\lambda} = \frac{1}{\tau}$ ):

$$\frac{d\bar{v}}{d\bar{t}} = \bar{\lambda}(\bar{v} - \bar{v}_p) - \frac{1}{\rho_p} \frac{\partial p}{\partial r_1} + \frac{\bar{w}_p^2}{\bar{r}}, \quad (10)$$

$$\frac{d\bar{w}}{d\bar{t}} = \bar{\lambda}(\bar{w} - \bar{w}_p) + \frac{\bar{v}_p \cdot \bar{w}_p}{\bar{r}}, \quad (10)$$

$$\frac{d\bar{u}}{d\bar{t}} = \bar{\lambda}(\bar{u} - \bar{u}_p) - \frac{1}{\rho_p} \frac{\partial p}{\partial z} + Fr, \quad (10)$$

$$\frac{d\bar{r}}{d\bar{t}} = \bar{v}_p, \quad \bar{w}_p = \frac{\bar{r} d\varphi}{d\bar{t}}, \quad \bar{u}_p = \frac{dz}{d\bar{t}}. \quad (10)$$

Начальные условия для решения системы (9):

$$\{t = 0; r = 1; \varphi = 0; z = 0; v_p = 1; w_p = 1; u_p = 0\}.$$

Составляющие поля скоростей несущей фазы (воздуха) в вихревом потоке будут определяться по формулам:

- радиальная:

$$\bar{v} = \frac{t[\rho_p(\bar{w}_p^2 - \bar{\lambda} \bar{v}_p \bar{r}) - p]}{\bar{r} \rho_p (1 - \bar{\lambda} t)}, \quad (11)$$

- окружная:

$$\bar{w} = \frac{\bar{w}_p t[(\bar{v}_p - \bar{\lambda} \bar{r}) - p]}{\bar{r} (1 - \bar{\lambda} t)}, \quad (12)$$

- осевая:

$$\bar{u} = \frac{t(\bar{\lambda} \bar{v}_p + \frac{p}{\rho_p z})}{(1 - \bar{\lambda} t)}. \quad (13)$$

Согласно выражениям (10 – 12) также могут вычисляться значения скоростей частиц в пото-

ке вихря при использовании заданных характеристик несущей фазы.

**Выводы.** Анализ полученных выражений позволяет сделать вывод о том, что окружная и радиальная скорости частиц материала в вихревом потоке при перемещении от периферии к центру (разгрузке) камеры гомогенизации, имеют максимальные значения: при  $r = 0,3 - 0,15$  м соответствующие скорости движения частиц материала находятся в диапазоне от 90 до 113 м/с. Очевидно, что использование уравнений для оценки относительных скоростей движения частицы в ламинарном потоке, нежели в вихревом потоке, которые традиционно используются в расчетах, приводит к существенным погрешностям.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Uvarov V.A., Klyuev S.V., Orekhova T.N., Klyuev A.V., Sheremet E.O., Durachenko A.V. The counterflow mixer for receiving the disperse reinforced composines // Research Journal of Applied Sciences. 2014. T.9 №12 P. 1211–1215.
2. Пат. 102533 Российская Федерация, B01F 5/00. Пневмосмеситель непрерывного действия для производства сухих строительных смесей / В.А. Уваров, Т.Н. Орехова, С.И. Гордиенко, А.Е. Качаев; заявитель и патентообладатель: БГТУ им. В.Г. Шухова. №.2010140830/05, заявл. 05.10.2010; опубл. 10.03.2011, Бюл. № 7.
3. Пат. 141488 Российская Федерация, B01F 5/00. Противоточный пневмосмеситель для производства дисперсно-армированных смесей / В.А. Уваров, Т.Н. Орехова, С.В. Ключев, А.Е. Качаев; заявитель и патентообладатель: БГТУ им. В.Г. Шухова. №.2013159013/05, заявл. 30.12.2013; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 16.
4. Пат. 115682 Российская Федерация, B01F5/00 Пневмосмеситель многокомпонентных сухих строительных смесей / Т.Н. Орехова, В.А. Уваров, С.И. Гордеев, А.Е. Качаев; заявитель и патентообладатель: БГТУ им. В.Г. Шухова. №.2011151913/05, заявл. 19.12.2011; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 13.
5. Корнеев В.И., Зозуля П.В. Сухие строительные смеси (состав, свойства) М.: РИФ «Стройматериалы», 2010. 320 с.
6. Лоскутьев Ю.А., Максимов В.М., Веселовский В.В. Механическое оборудование предприятий по производству вяжущих строительных материалов. М.: Машиностроение, 1986. 378 с.
7. Качаев, А.Е., Орехова Т.Н., В.С. Севостьянов. Расчёт поля скоростей двухфазного потока в дезинтеграторе // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: межвуз. сб. ст./под ред. В.С. Богданова. Белгород, 2012. С. 202–205.
8. Краснов Н.Ф. Аэродинамика. Ч.1. Основы теории. Аэродинамика профиля и крыла. Учебник для ВТУЗов. Изд. 2-е перераб и доп. М.: Высшая школа, 1976. 384 с., ил.
9. Орехова Т.Н. Определение производительности сухих строительных смесей с учётом анализа устройств смесительных агрегатов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. №3. С. 65–68.
10. Романович А.А., Орехова Т.Н., Мещеряков С.А., Прокопенко В.С. Технология получения минеральных добавок // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 5. С. 188–192.

**Kachaev A.E, Orekhova T.N.**

### DESCRIPTION OF THE VORTEX MOTION OF F TWO-PHASE FLOW IN A CONTINUOUS MIXER

*The improvement of technologies for the production of dry construction mixtures is associated not only with improvements in their composition, but also with the use of high-tech efficient equipment that would ensure the required quality of the finished product. The use of modern pneumatic mixers of simple design makes it possible to obtain mixtures of the required quality by using not only an axial two-phase flow inside the chamber, but also an intensifying movement of the vortex air supply.*

*Analysis of the complex motion of particles in the air flow created in the homogenization chamber allows us to conclude that the operating modes of the air mixer are necessary with respect to the specific composition of the dry mix. The existing designs of pneumatic mixers have been little studied and are practically not used in mass production, since a high energy consumption still remains a deterrent to the application. If the combined principle of homogenization of an axial two-phase flow with a vortex flow is used in the design of a pneumatic mixer, then in view of reducing the time interval for its mixing, it can be concluded that the total energy consumption per unit of finished product decreases, and the uniformity, and consequently the quality of the mixture, also increases.*

**Key words:** pneumatic mixer; homogenization chamber; particle; two-phase flow; axial, radial and circumferential speeds.

**Качаев Александр Евгеньевич**, кандидат технических наук.

ООО «Воскресенский завод «Машиностроитель» ПАО «Горнопромышленная финансовая компания».

Адрес: Россия, 140200, Московская область, г. Воскресенск, ул. Гаражная, 1.

E-mail: doctor\_cement@mail.ru

**Орехова Татьяна Николаевна**, кандидат технических наук.

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

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

Юдин К.А., канд. техн. наук, доц.,  
Дегтярь А.Н., канд. техн. наук, доц.,  
Харин Н.П., магистрант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУНАПРАВЛЕННОГО ВРАЩАТЕЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МАТЕРИАЛ В СФЕРИЧЕСКОЙ СМЕСИТЕЛЬНОЙ КАМЕРЕ

kyudin@mail.ru

Продолжено рассмотрение математического аппарата двунаправленного вращательного воздействия на материал в сферической смесительной камере смесителя периодического действия. Решается пространственная задача. Представлены математические зависимости при взаимодействии частиц перемешиваемого материала в условиях перемешивания материала относительно двух взаимно перпендикулярных осей. Вращение собственно смесительной камеры осуществляется посредством конических и цилиндрических передач. Возникающее сложное пространственное движение частиц материала можно регулировать частотным преобразователем и подбором соответствующих зубчатых колес. Представлен алгоритм создания цифровой модели смесителя нового типа, реализуемой в среде NX. Проведены предварительные экспериментальные исследования. Выбран центральный композиционный ортогональный план дробного факторного эксперимента. Представлен вариант практического применения смесителя, реализующего двунаправленное вращательное воздействие на материал. Особенности движения материала в смесителе позволяют говорить о наличии элементов гироскопического эффекта. Сделаны выводы.

**Ключевые слова:** траектории движения материала внутри смесительной камеры, смеситель периодического действия, вращение камеры относительно двух взаимно перпендикулярных осей, коническая и цепная передачи.

**Введение.** Экономическая ситуация вынуждает реализовывать инновационные подходы в вопросах переработки различных материалов. Эффективное перемешивание различных материалов является проблемным направлением, требующим значительных ресурсов.

Продолжением тематики использования смесителя периодического действия нового типа, описанного ранее [1, 2], является методика определения соударения двух частиц в смесительной камере сферического типа. Представим соответствующий расчет соударения.

Обозначим минимальное время движения частиц до соударения  $t_m$ . Переместив частицы шарообразной формы по их параболическим траекториям на этот промежуток времени, мы получим такие новые координаты, при которых две частицы будут касаться друг друга.

Обозначим номера этих частиц  $i$  и  $j$ , их радиус-векторы центра масс в момент  $t_m$   $\vec{r}_{io}$  и  $\vec{r}_{jo}$ , скорости  $\vec{v}_{io}$  и  $\vec{v}_{jo}$ , угловые скорости вращения  $\vec{\omega}_{io}$  и  $\vec{\omega}_{jo}$ .

$$\vec{v}_0 = \vec{v}_{io} - (\vec{v}_{io}\vec{n})\vec{n} - r_s\vec{\omega}_{io}\vec{n} - (\vec{v}_{jo} - (\vec{v}_{jo}\vec{n})\vec{n} + r_s\vec{\omega}_{jo}\vec{n}).$$

Для орта  $\vec{n}$  получим проекции:

$$n_x = \frac{X_{io} - X_{jo}}{2r_s};$$

$$n_y = \frac{Y_{io} - Y_{jo}}{2r_s};$$

Принимаем для характеристик смесительной камеры сферической формы обозначения и значения такие же, как и при описании соударения частиц перемешиваемого материала со смесительной камерой [1, 2].

Для составления уравнений, описывающих соударение двух частиц материала шарообразной формы, введем локальную систему координат  $O_1\tau nb$ , где  $\vec{\tau}, \vec{n}, \vec{b}$  – орты локальной системы координат.

Проекции ортов в системе координат  $O_{xyz}$  определяются следующим образом:

$$\tau_x = \frac{v_{ox}}{v_o}; \tau_y = \frac{v_{oy}}{v_o}; \tau_z = \frac{v_{oz}}{v_o};$$

где  $\vec{v}_0$  — тангенциальная составляющая относительной скорости.

Она рассчитывается по следующей формуле:

$$n_z = \frac{Z_{io} - Z_{jo}}{2r_s};$$

Для орта  $\vec{b}$  получим проекции:

$$b_x = \tau_y n_z - \tau_z n_y;$$

$$b_y = \tau_z n_x - \tau_x n_z;$$

$$b_z = \tau_x n_y - \tau_y n_x.$$

Составим уравнения описывающие соударение двух частиц материала.

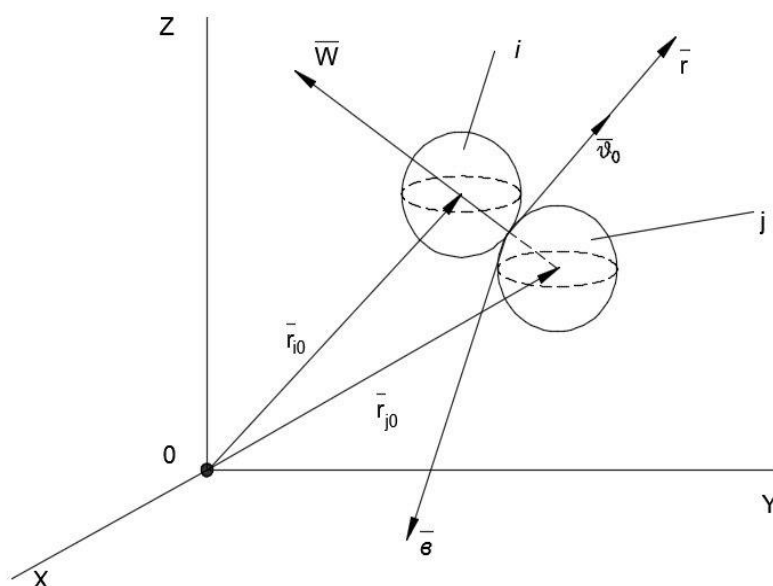


Рис. 1. Соударение двух частиц материала внутри смесительной камеры

Теоремы об изменении количества движения и момента количества движения для двух взаимодействующих частиц материала запишутся в виде:

$$\begin{cases} m_i \bar{v}_{i1} - m_i \bar{v}_{i0} = \bar{S}_{n1} + \bar{S}_f; \\ I_i \bar{\omega}_{i1} - I_i \bar{\omega}_{i0} = r_s (-\bar{n}) \bar{S}_f; \\ m_j \bar{v}_{j1} - m_j \bar{v}_{j0} = -\bar{S}_{n1} - \bar{S}_f; \\ I_j \bar{\omega}_{j1} - I_j \bar{\omega}_{j0} = r_s \bar{n} * (-\bar{S}_f). \end{cases} \quad (1)$$

Аналогичные уравнения, записанные для второго этапа соударения, на котором сила трения отсутствует, будут иметь вид:

$$\begin{cases} m_i \bar{v}_{i2} - m_i \bar{v}_{i1} = \bar{S}_{n2}; \\ I_i \bar{\omega}_{i2} - I_i \bar{\omega}_{i1} = 0; \\ m_j \bar{v}_{j2} - m_j \bar{v}_{j1} = -\bar{S}_{n2}; \\ I_j \bar{\omega}_{j2} - I_j \bar{\omega}_{j1} = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Таким образом, восьми векторным уравнениям соответствуют двадцать четыре скалярных, в которые входят двенадцать проекций векторов линейных скоростей:

$v_{i1x}, v_{i1y}, v_{i1z}, v_{i2x}, v_{i2y}, v_{i2z}, v_{j1x}, v_{j1y}, v_{j1z}, v_{j2x}, v_{j2y}, v_{j2z}$ , двенадцать проекций векторов угловых скоростей  $\omega_{i1}, \omega_{i2}, \omega_{j1}, \omega_{j2}$ , два модуля векторов импульсов сил нормального давления  $S_{n1}$  и  $S_{n2}$ , и три проекции импульса силы трения  $S_f$ .

Система уравнений (1) и (2) относительно искомых величин является системой линейных уравнений, поэтому она имеет только одно решение. Так как число неизвестных превышает

число уравнений, то составим дополнительные уравнения граничных условий.

В соответствии с гипотезой Ньютона [3].

$$(\bar{v}_{i2} - \bar{v}_{j2})n = -k(\bar{v}_{i0} - \bar{v}_{j0})n. \quad (3)$$

Используя закон Кулона [4]

$$S_f = f S_{n1}. \quad (4)$$

Еще одно уравнение следует из условия равенства тангенциальных составляющих скоростей точек двух частиц материала, которыми они соприкасаются в момент обращения силы трения в нуль. Это уравнение запишется в следующем виде:

$$(\bar{v}_{i1} + \bar{\omega}_{i1}(r_s(-\bar{n})))_\tau = (\bar{v}_{j1} + \bar{\omega}_{j1}(r_s(-\bar{n})))_\tau. \quad (5)$$

Таким образом, система уравнений (1) – (5) описывает соударение частиц перемешиваемого материала, то есть позволяет по начальным значениям [1,2] рассчитать послеударные скорости частиц материала.

Предлагаемая в предыдущих работах методика, включающая движение частицы шарообразной формы внутри смесительной камеры и соударение частицы со смесительной камерой, дополнена математическим аппаратом, описывающим взаимодействие двух частиц материала.

Следующим шагом является создание цифровой модели предлагаемого устройства. Реализация такой модели позволит проанализировать конструктивные особенности устройства и минимизировать ошибки этапов моделирования.

Предлагается использовать NX – одну из лучших систем твердотельного трехмерного мо-

делирования, базирующуюся на ядре PARASOLID. Она используется на всех этапах создания цифрового макета изделия и технологической подготовки производства и включает в себя весь комплекс конструкторско-технологических модулей.

Основными преимуществами CAD/CAM/CAE системы NX перед другими системами автоматизированного проектирования (Solid Edge, Solid Works, CATIA и др.) являются:

-лучший в промышленности пакет твердотельного гибридного моделирования, который дает пользователю полный набор функций работы с твердым телом, поверхностью или каркасной моделью, основанный на полностью ассоциативном, параметрическом дереве построения;

-мощные средства визуализации, анимации и построения прототипов;

-модули инженерного анализа, базирующиеся на встроенных решателях таких известных пакетов как MSC.Nastran, MSC.Adams, а также исследование таких типов задач как линейная статистика, равновесная теплопередача, потеря устойчивости, анализ собственных частот, кинематический анализ и симуляция практически любого 3-х-мерного механизма.

Проектирование смесителя в системе NX осуществлялось снизу-вверх, то есть сначала были получены электронно-цифровые модели всех её составных деталей и узлов, а затем в модуле NX «Сборки» они сопрягались относительно друг друга.

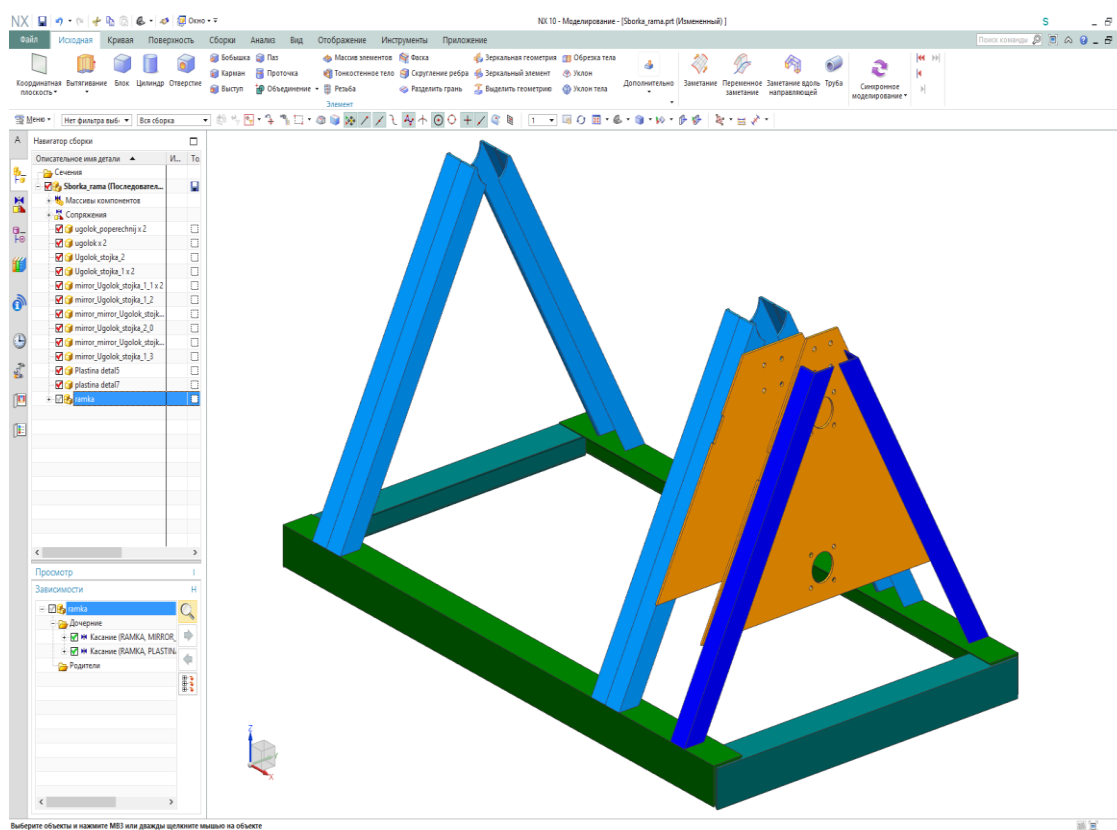


Рис. 2. Рама в сборе

Например, для сборки рамы, необходимо было создать электронно-цифровые модели всех уголков, а также двух пластин, а затем уже собрать из них единую сборную конструкцию.

В процессе разработки была создана точная трехмерная модель смесителя при помощи модулей NX «Моделирование» и «Сборки».

При проектировании данной модели в основном использовались заранее разработанные чертежи. Проектирование общей сборки машины и отдельных подборок выполнено в соответствии с исходной и измененной в ходе проектирования спецификациями на соответствующие сборочные единицы.

Большая часть деталей смоделированы с использованием минимального числа операций, но без применения эскизов для вытягивания или вращения, так как данная методика позволяет в будущем упростить использование построенных деталей в качестве материала для разработки технологических процессов их изготовления.

Исходя из требований к выполнению трехмерной модели, для всех деталей и сборочных единиц создаются ссылочные наборы SOLID (вид детали в соответствии с исходными чертежами, содержит все элементы данной детали) и SIMPLE (упрощенный вид детали, не содержит такие элементы как фаски, скругления и другие



вспомогательные элементы). Кроме того, каждая деталь должна иметь определенный цвет для более наглядного ее отображения в сборочных единицах.

Основными этапами процесса построения модели являются:

1) Построение по известным размерам основного тела (блок, цилиндр, сфера), либо эскиза основной фигуры создаваемой модели и придание ему объема с помощью команд «Эскиз» и «Вращение»;

2) Создание дополнительной геометрии (отверстия, карманы, проточки и т.п.);

3) Выполнение остальных конструктивных элементов (фаски, скругления и т.п.);

4) Создание ссылочных наборов SOLID и SIMPLE;

5) «Покраска» детали.

На рис. 3 изображена завершённая модель смесителя, полученная в ходе проектирования. Она построена с учётом всех указанных этапов процесса моделирования.

Для наглядности на рис. 4, представлен вид смесителя, полученный с помощью команды «Реалистичное изображение».

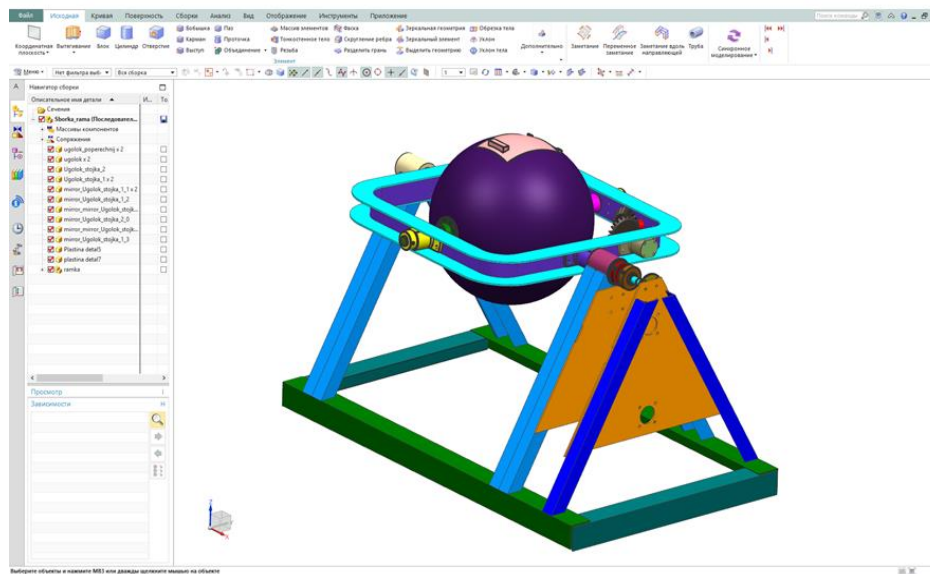


Рис. 3. Завершённая трёхмерная модель смесителя

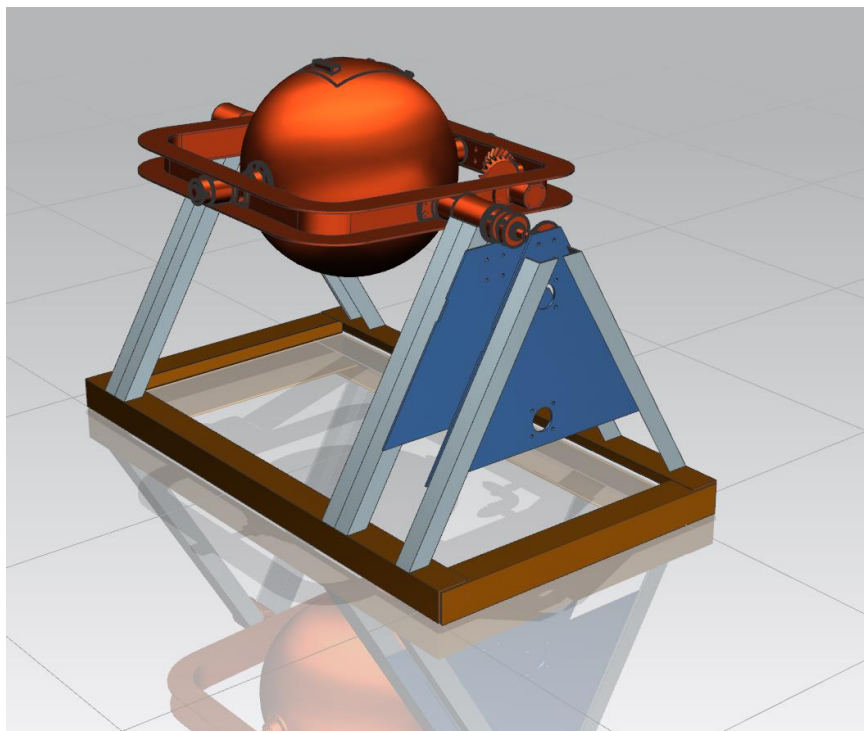


Рис. 4. Фотореалистичное изображение смесителя, полученное с помощью команды «Реалистичное изображение»

Вариантом практического применения двунаправленного вращательного воздействия на смешиваемый материал может выступать смеситель, используемый при производстве газосиликатных изделий [5].

Для заливки готовой ячеистобетонной смеси в формы предлагаемое производственным устройством для перемешивания располагают на подвижном портале, перемещающемся по рельсовому пути вдоль форм. Поэтапно в смесительной камере смешиваются необходимые компоненты – шлам с водой, цемент, известково-песчаное вяжущее, алюминиевая суспензия. Расчет состава ячеистобетонной смеси осуществляется по соответствующей методике. Примером смесителя для такой схемы выступает газобетономешалка, представленная на рис.5.

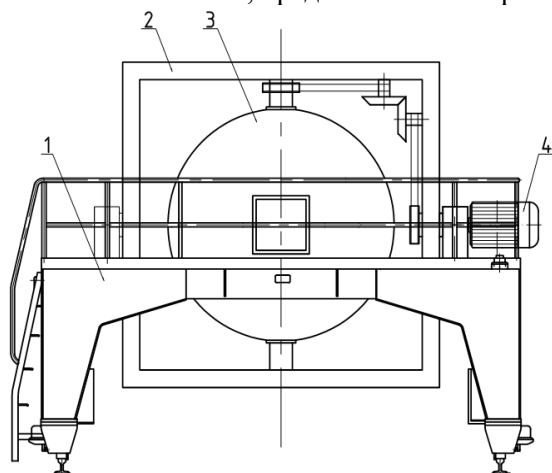


Рис. 5. Газобетономешалка линии по производству газосиликатных блоков:  
1 – портал подвижный; 2 – водило;  
3 – емкость смесительная; 4 – привод

### Заключение.

Создаваемое двунаправленное вращательное воздействие на материал в сферической смесительной камере смесителя периодического действия предполагает повышение эффективности перемешивания. Выбор ременной передачи привода вращения водила обеспечивает простое бесступенчатое варьирование частоты вращения водила с помощью частотного преобразователя, упрощает конструкцию и снижает материалоемкость.

Экономический эффект может быть рассчитан в зависимости от потребности конкретного предприятия. Это позволит варьировать экономическую целесообразность предлагаемого устройства для перемешивания материалов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юдин К.А., Дегтярь А.Н. Особенности движения материала в смесителе гироскопического типа // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 5. С. 108–111.
2. Юдин, К.А., Дегтярь А.Н., Стовпенко А.С. Двунаправленное вращательное воздействие на материал в сферической смесительной камере // Известия Вузов. Строительство. 2016. №7. С. 99–106.
3. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. Л.: Политехника, 1990, 272 с.
4. Яблонский А.А. Курс теоретической механики. М: КНОРУС, 2011, 603 с.
5. Горлов Ю.П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий: Учебник для вузов по специальности: «Производство строительных изделий и конструкций»: М.: Высшая школа, 1989. 384.

**Yudin K.A., Degtyar A.N., Charin N.P.**

### MODELLING OF BI-DIRECTIONAL ROTARY IMPACT ON THE MATERIAL IN THE SPHERICAL MIXING CHAMBER

*The consideration of the mathematical device of bi-directional rotary impact on the material in the spherical mixing chamber of periodic action mixer is going on. 3-dimensinal task is being solved. The mathematical dependences under acting of the particles of the mixed material in the conditions of mixing material due to two mutually perpendicular axis are given in the article. The rotation of mixing chamber is done by conical and cylindrical transmissions.*

*The difficult movement of particles of material can be controlled by frequency transformer and the selection of corresponding cogwheels.*

*The algorithm of creating digital model of mixer of new type in computer programme NX.*

*Preliminary experimental researches are carried out. The central composite orthogonal plan of fractional factorial experiment was chosen.*

*The variant of practical application of mixer demonstrating bi-directional rotary impact on the material is given here. Conclusions on experiments are drawn.*

**Key words:** trajectory of material motion inside the mixing chamber, mixer, rotation around two the mutually perpendicular axis, conical gears

---

**Юдин Константин Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры механического оборудования.  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
E-mail: kyudin@mail.ru

**Дегтярь Андрей Николаевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
E-mail: andrey-dandr@mail.ru

**Харин Никита Петрович**, магистрант.  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
E-mail: andrey-dandr@mail.ru

# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

DOI: 10.12737/article\_590878fb9fe325.44739457

*Игнатова Е.В., канд. техн. наук, доц.**Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»**Мачача А.В., директор по развитию**ООО STEREOFORMA**Дмитриева И.С., моделлер, студент**ООО STEREOFORMA,**Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет*

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КОРРЕКТИРОВКИ ДАННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ В АЛГОРИТМЕ ФОТОГРАММЕТРИИ

**Ignatova@mgsu.ru**

*В качестве инструмента документирования культурного наследия и подготовки исходных данных для реставрации строительных объектов может использоваться метод создания трехмерных изображений на основе фотограмметрии. Архитектурные и конструктивные особенности строительных объектов, наземный метод получения большинства фотоизображений и стремление получить модель с высокой детализацией приводят к необходимости корректировать параметры алгоритма автоматизированного получения трехмерных изображений. В ходе исследования были проанализированы возможные изменения и настройки параметров алгоритма фотограмметрии для повышения качества моделирования строительных объектов. Был проведен сравнительный анализ результатов моделирования исторического здания при различных параметрах алгоритма.*

**Ключевые слова:** алгоритм фотограмметрии, реставрация культурного наследия, трехмерная модель, 3D-реконструкция, облако точек.

**Введение.** Фотограмметрия по снимкам исследуемого объекта позволяет определить его форму, размеры и пространственное положение в заданной системе координат на момент съёмки, а также изменения этих величин через заданный интервал времени [1]. Исходным материалом для компьютерных методов определения геометрических характеристик объектов фотограмметрическим методом являются цифровые фотографии.

В области строительства фотограмметрия применяется для построения цифровой модели рельефа, определения деформаций инженерных сооружений [2], построения стереоснимков строительных объектов [3], контроля точности монтажа крупнопанельных зданий [4], исследования труднодоступных частей инженерных сооружений [5]. Модели, полученные в результате фотограмметрии, могут использоваться для измерения объектов различного масштаба, для использования в ГИС – приложениях [6]. Фотограмметрия позволяет получить цифровую модель исторических зданий для создания их реестра [7].

Все строительные объекты в течение своего жизненного цикла подвергаются разрушительному воздействию со стороны внешней среды и с течением времени требуют реставрационных и

ремонтных работ. Реставрационные работы имеют большое значение для культурно-исторических центров России. «В Москве в 2016 году реставрационные работы проходили на 724 объектах, завершены они на 159 здания за шесть лет в столице отреставрировано в общей сложности 773 памятника истории и культуры и теперь Москва в рейтинге мировых мегаполисов с самыми ухоженными памятниками занимает четвертое место, обойдя даже Рим» [8]. Примером проекта реставрации, где широко использовались 3D моделирование и алгоритмы фотограмметрии, является виртуальная реконструкция Страстного монастыря и прилегающей к нему площади [9].

Снимки объекта могут производиться с помощью аэрофотосъемки, наземной или смешанной фотосъемки [10]. Возможно использование беспилотного летательного аппарата, который летит по заданной траектории и производит аэрофотосъемку объекта [11]. Массив фотографий выгружается в один из программных комплексов, где производится сборка актуальной модели. Разрешение фотографий должно быть не менее 5 мегапикселей, а количество снимков должно быть достаточно или даже избыточно. Практически фотограмметрические работы выполняются по цифровому изображению с точно-

стью позиционирования каждого пикселя изображения не больше 2–3 мкм. Такие задачи, как фототриангуляция, построение цифровой модели местности и создание ортофотоснимков, дают хороший результат при размере пикселя 10 мкм [12].

Для 3D-реконструкции строительных объектов точность полученной модели должна быть выше точности обычной реконструкции, например, цифровой модели рельефа [13]. Архитектурные и конструктивные особенности строительных объектов, их масштаб и колористическое решение, а также наземный метод получения большинства фотоизображений позволяют предположить, что в стандартном алгоритме автоматизированного получения трехмерных изображений методом фотограмметрии нужно использовать специальные решения.

Цель настоящего исследования – повысить детализацию 3D-реконструкции, а также повысить эффективность компьютерного алгоритма фотограмметрии при решении задачи моделирования отдельных исторических зданий и памятников.

**Методика.** В качестве системы автоматизации обработки фотоизображений был использован отечественный программный комплекс Agisoft PhotoScan, разработанный инновационной исследовательской компанией Agisoft LLC в г. Санкт-Петербурге. Программа выполняет фо-

тограмметрическую обработку цифровых изображений и создает пространственные 3D модели [14]. Программа работает по стандартному алгоритму, а также имеет расширенные параметры корректировки изображений и построения трехмерной модели объекта. Высокое качество 3D реконструкции объектов достигается путем управления параметрами основных шагов алгоритма фотограмметрии, а также путем использования дополнительных инструментов.

Все расчеты проводились на персональном компьютере с процессором Intel® Core™ i7-4700HQ CPU @ 2.40 GHz, оперативной памятью – 8.00 Гб, 64-разрядной операционной системой Windows 8.1. Анализ использования расширенных параметров и инструментов корректировки данных в алгоритме фотограмметрии проведен на примере реконструкции часовни Преподобного Сергия Радонежского (рис.1 слева). Размер наименьшей учитываемой архитектурной детали этого здания – 3 см. Снимки создавались с большим перекрытием объекта, примерно 70 % фотографии. Для построения модели часовни было использовано около 200 снимков, сделанных камерой SONY ILCE-6000 с фокусным расстоянием 16 мм, выдержкой – 1/160 сек, разрешающей способностью 350 пикселей на дюйм (127,6 лин/мм). Размер снимков 6000×3376 пикселей с размером пикселя – 3 мкм.

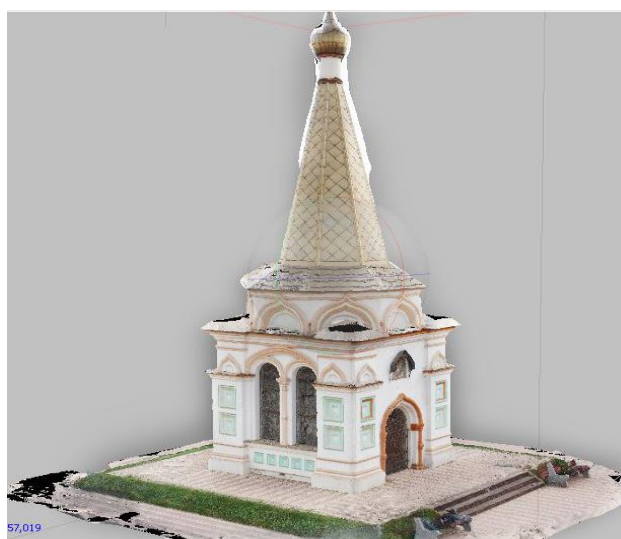
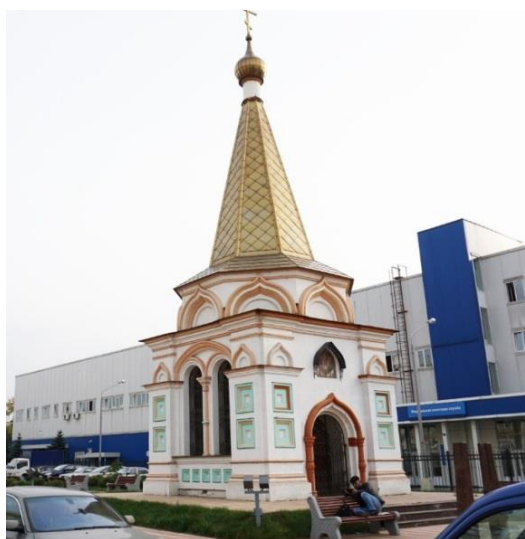


Рис. 1. Часовня Сергия Радонежского на территории технополиса "Москва" (бывший завод АЗЛК), в Москве (фотография – слева, модель – справа)

Объект снимался по частям методом наземной фотосъемки с высоты 150–200 см. Некоторые части архитектурного объекта, а именно, части кровли и горизонтальные выступы выше 2-х метров, которые не попали в кадры, создавались в процессе построения полигональной модели автоматическим методом заполнения разрывов в модели.

На первом этапе исследования 3D модель часовни была построена при использовании стандартного алгоритма фотограмметрии программы Agisoft PhotoScan. На втором этапе исследования были проанализированы и настроены расширенные параметры настройки улучшенного алгоритма для применения к архитек-

турным объектам. Был проведен сравнительный анализ результатов исследования.

**Основная часть.** Основные шаги алгоритма похожи у всех программ, основанных на фотограмметрии. В процессе обработки на изображениях объектов отыскиваются общие точки, через которые затем проходят лучи из камер. Пересечение лучей определяет положение искомой точки в пространстве. Данный алгоритм требует больших затрат временных ресурсов для достижения необходимого результата, что может быть неоправданным, если качество полученной 3D модели оставляет желать лучшего.

На рис. 2 представлен алгоритм фотограмметрии, который используется для 3D-реконструкции объектов в программе Agisoft PhotoScan. Выделены шаги с использованием дополнительных параметров и инструментов корректировки данных, применимые для создания моделей архитектурных объектов. Для того чтобы выявить и отсеять фотоснимки с низким качеством, необходимо провести операцию «Оценка качества изображений». Фотографии с качеством ниже параметра 0,5 следует заблокировать, тем самым изображение автоматически не будет использоваться при выравнивании фотографий и в дальнейших построениях.

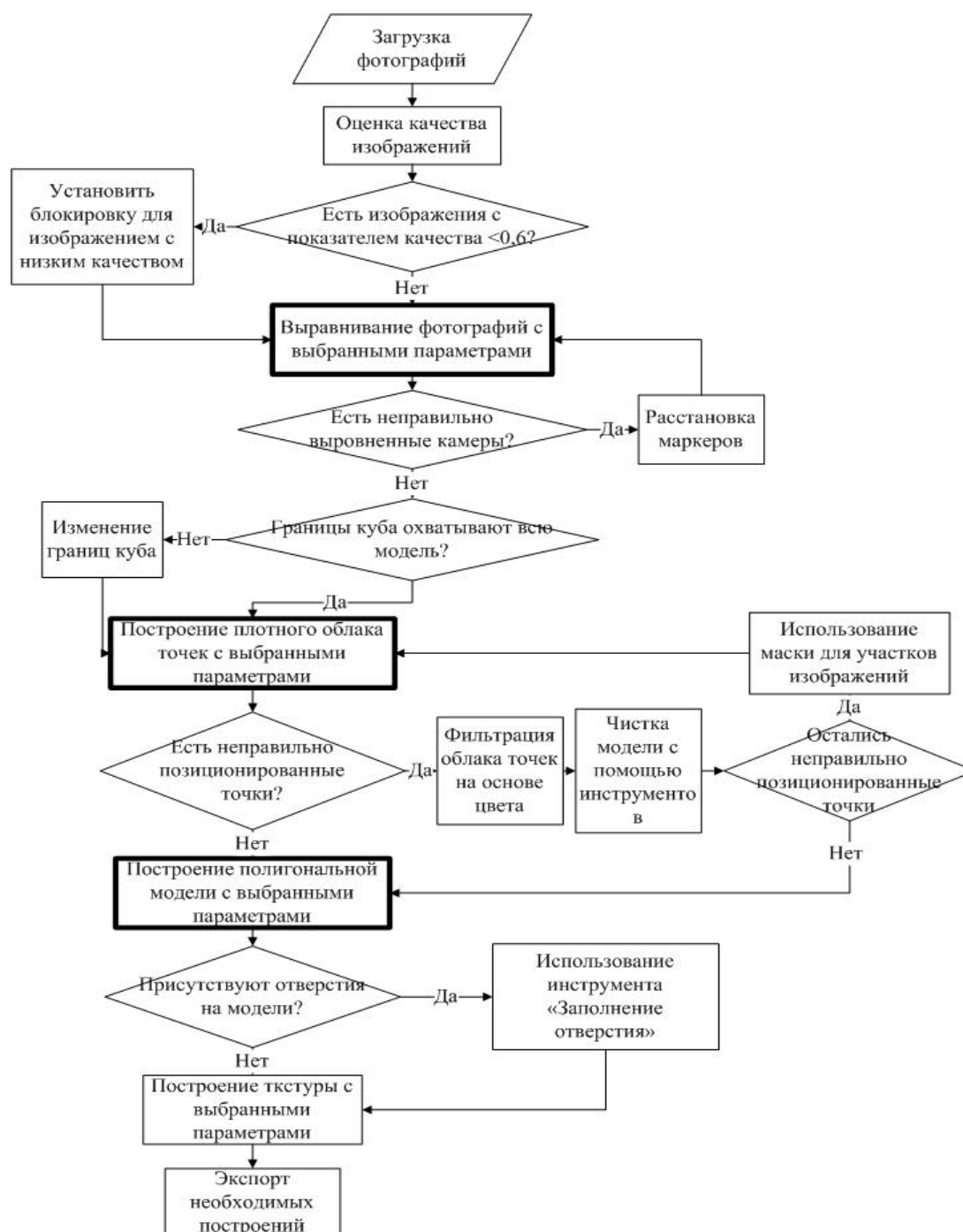


Рис. 2. Алгоритм фотограмметрии с дополнительными параметрами и инструментами корректировки



На шаге «Выравнивание фотографий» происходит поиск общих точек на фотографиях, на основе которых определяются параметры внешнего и внутреннего ориентирования камер. По этим данным строится разреженное облако общих точек в трехмерном пространстве и положение камер с данными об их ориентации [15].

Функция «Выравнивание фотографий» позволяет работать со следующими значениями параметра **Точность**. Низкая точность – размер исходных изображений уменьшается в 16 раз (с каждой стороны изображения в 4 раза). Средняя точность – размер изображений уменьшается в

4 раза (с каждой стороны в 2 раза). Высокая точность – размер фотографий остается без изменений размера. Очень высокая точность – размер кадров увеличивается в 4 раза. В режиме «Очень высокая точность» рекомендовано выравнивать только фотографии с высокой резкостью и на компьютере с высокими техническими показателями [16]. На рис. 3 показаны результаты выравнивания фотографий по стандартному алгоритму со средней точностью (слева) и по алгоритму для архитектурных сооружений с высокой точностью (справа).

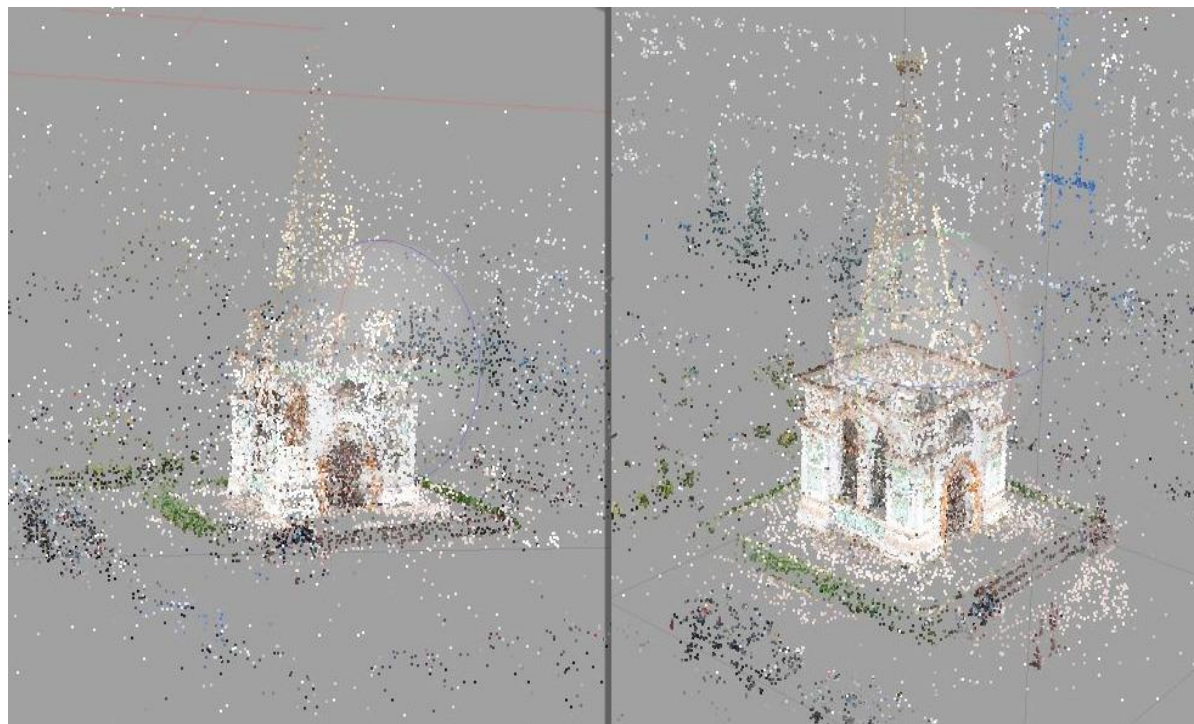


Рис. 3. Выравнивание фотографий со средней (слева) и высокой (справа) точностью

Операцию «Выравнивание фотографий» можно выполнить, воспользовавшись дополнительными инструментами для точности позиционирования, такими, как маркеры. Чтобы воспользоваться маркерами необходимо выставить на яркие и отличающиеся от других деталей объекта точки ряда фотографий, как минимум, по 4 маркера. Программа воспринимает маркеры фотографий как точное соответствие точек фотографий. Также на этом шаге необходимо оптимизировать границы габаритного куба, охватывающего модель. Тогда точки облака, находящиеся вне куба, отбрасываются и в дальнейших расчетах не участвуют.

На следующем шаге высчитывается карта глубин для каждой фотографии и на ее основе генерируется плотное облако точек. Основные операции данной обработки – **Качество** и **Фильтрация карт глубин**, которые чистят не-

верно позиционированные точки. Фильтрация карты глубин выполняется с режимами: мягкая – для сцен с мелкими деталями; агрессивная – для сцен без мелких деталей, умеренная – средний режим. В стандартном алгоритме плотное облако рассчитывалось при средне-агрессивном параметре, что соответствует рисунку 4 (слева), в улучшенном алгоритме данный шаг рассчитывался при высоко-мягком параметре (рис. 4 (справа)).

Если есть неправильно позиционированные точки, можно воспользоваться инструментом «Фильтрация точек на основе цвета». Если неправильно рассчитанные точки появляются от отражающих поверхностей или бликов, то можно воспользоваться инструментом «Маска». Данный инструмент позволяет выделить область изображения, которая не будет участвовать в дальнейших расчетах.

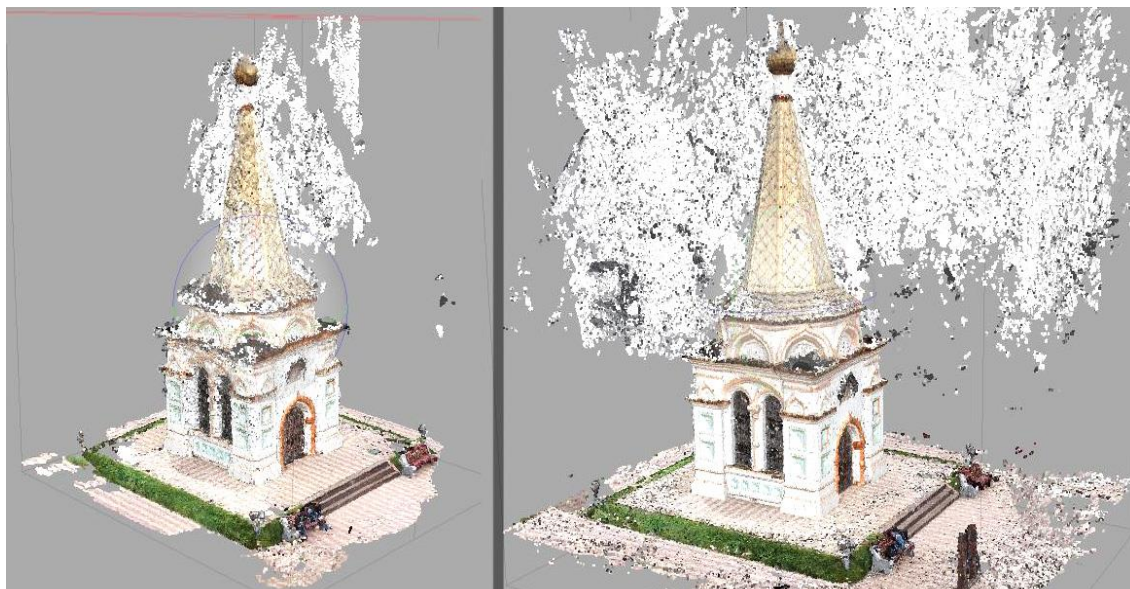


Рис. 4. Плотное облако точек средне-агрессивного (слева) и высокого-мягкого (справа) качества

На следующем шаге по плотному облаку точек строится полигональная модель. Параметрами настройки являются **Тип поверхности** и **Количество полигонов**. Если объект представляет собой местность с использованием аэрофотосъемки, то следует выбрать тип «Карта вы-

сот». Этот режим позволяет рассчитывать большое количество фотографий, используя мало ресурсов. Если же объект – статуя, здание или другой замкнутый объект, то для детальной реконструкции следует применить «Произвольный» тип поверхности.

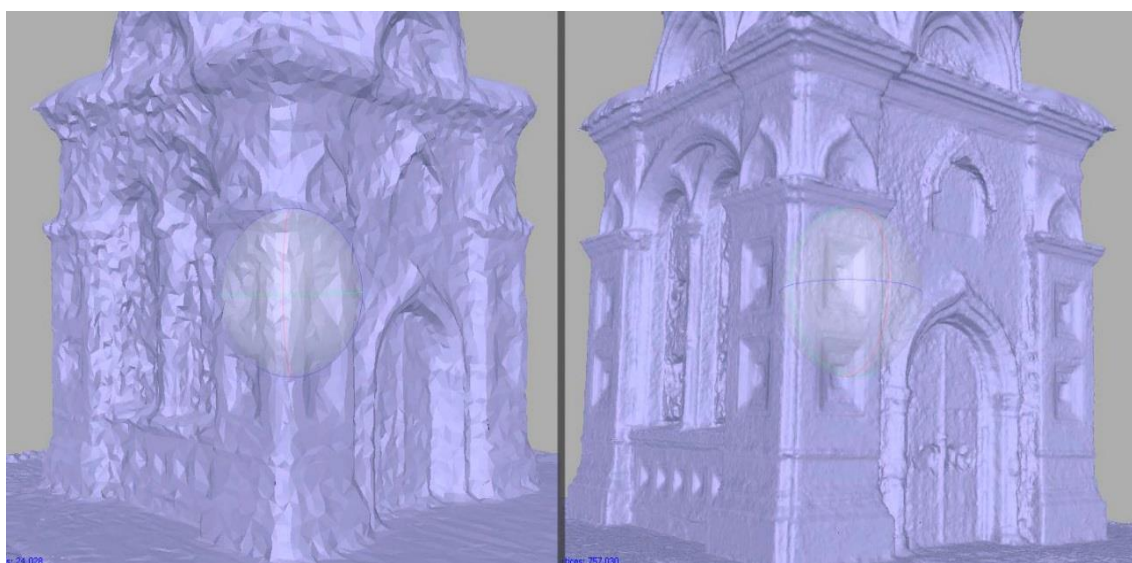


Рис. 5. Полигональная модель среднего (слева) и высокого (справа) количества полигонов

Параметр **Количество полигонов** принимает следующие значения: низкое – отношение полигонов и точек равно  $1/45$ ; среднее – отношение равно  $1/15$ ; высокое – отношение равно  $1/5$ ; пользовательское – пользователь сам вводит максимальное количество полигонов. Если на полигональной модели есть отверстия или часть объекта, которая не получена со снимков, то возможно использование инструмента «Заполнение отверстий». На рисунке 5 (слева) представлены результаты построения полигональной модели на средних параметрах по обычному ал-

горитму, на рисунке 5 (справа) модель построена по улучшенному алгоритму для архитектурных объектов.

Далее на построенную полигональную поверхность накладывается текстура (рис.1 справа). Затем модель можно экспортировать в стороннюю программу.

**Выводы.** В таблице 1 приведены результаты исследования по основным шагам стандартного и улучшенного алгоритма построения трехмерной модели архитектурного объекта.



Таблица 1

## Результаты основных шагов алгоритмов

| Основные шаги                    | Стандартный алгоритм |          |                           | Улучшенный алгоритм для архитектурных объектов |          |                           |
|----------------------------------|----------------------|----------|---------------------------|------------------------------------------------|----------|---------------------------|
|                                  | Параметр             | Время    | Количественные результаты | Параметр                                       | Время    | Количественные результаты |
| Выравнивание фотографий          | Средний              | 1ч       | 32079 точек               | Высокий                                        | 3ч 20мин | 67621 точек               |
| Построение плотного облака точек | Средне-агрессивный   | 2ч 40мин | 2289209 точек             | Высоко-мягкий                                  | 5ч       | 8828924 точек             |
| Построение полигональной модели  | Средний              | 2ч       | 46538 полигонов           | Высокий                                        | 4ч       | 1509080 полигонов         |

Время, затраченное на построение модели строительного сооружения алгоритмом без использования расширенных параметров и инструментов корректировки, составило 5 часов 40 мин. Размер минимальной распознаваемой детали составляет 8 см. Качество реконструкции недостаточно для дальнейшего исследования строительного сооружения по модели.

Время, затраченное на построение модели улучшенным алгоритмом, описанным в данной статье, составило 12 часов 20 минут. Благодаря использованию дополнительных инструментов и параметров размер минимальной распознаваемой детали составляет 3 см. Благодаря использованию дополнительных инструментов и параметров качество модели повысилось на 96 %, но время, затраченное на построение трехмерной модели, увеличилось в 2 раза.

Дальнейшие исследования связаны с доработкой алгоритма фотограмметрии, направленной на уменьшение времени построения модели реконструируемого объекта.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Краснопевцев Б.В. Фотограмметрия. М.: УПП "Репрография" МИИГАиК, 2008. 160 с.
2. Luhmann T., Große-Schwiep M., Hastedt H. Deformation measurement with terrestrial laserscanning and photogrammetry // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Гірничо-геологічна. 2013. № 1 (18). С. 84–91.
3. Шуваев А.В., Чистяков Е.А. «Фотограмметрия в строительстве и архитектуре» // в сборнике: Избранные доклады 60-й университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых. Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2015. С. 368–381.

4. Чибуничев А.Г. О возможностях применения цифровых методов фотограмметрии для решения инженерных задач // Известия высших учебных заведений: Геодезия и аэрофотосъемка. 1990. № 6. С. 76–82.

5. A. Pérez Ramos, G. Robleda Prieto. 3D virtualization by close range photogrammetry indoor gothic church apses. The case study of church of San Francisco in betanzos (La coruña, Spain). URL: <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-5-W4/2015/isprsarchives-XL-5-W4-2015.pdf> (Дата обращения: 10.04.2017).

6. Гермак О.В. Важность цифровой фотограмметрии для ГИС // Строительство. Дороги. Транспорт: материалы Международной научно-практической конференции. 2015. С. 149–152.

7. Шамарина А.А., Шайхисламова Ю.М. Фотограмметрия как метод архитектурного обследования исторического ансамбля Строгановых посредством программы Agisoft Fotoscan // Символ науки. 2016. № 12-3 (24). С. 211–217.

8. Семенова А., Емельянов А., Городская деловая газета «Московская перспектива». URL: <http://www.mperspektiva.ru/topics/15164/> (дата обращения: 8.04.2017).

9. Бородин Л.И., Валетов Т.Я., Жеребятников Д.И., Ким О.Г., Кончаков Р.Б., Кулакова И.П., Лидов А.М., Мироненко М.С., Мишина Е.М., Моор В.В., Остапенко М.Ю., Рябов В.А. Технологии виртуальной исторической реконструкции URL: <http://www.hist.msu.ru/Strastnoy/04.htm> (Дата обращения 16.03.2017).

10. Завтур А., Гришина Н., Чалый Ю. Трехмерная фотограмметрия, или от фотографии к 3d-модели // САПР и графика. 2016. № 2 (232). С. 58–61.

11. Гермак О.В. БПЛА – фотограмметрия // Новая наука: Проблемы и перспективы. 2015. № 6–2. С. 147–149.

12. Чибуничев А.Г., Гук А.П. Фотограмметрия: вчера, сегодня, завтра // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2016. № 2. С. 3–9.

13. Писаренко М.И., Сотников Н.Н. Фотограмметрия - инструмент воспроизведения художественных объектов // Gaudeamus Igitur. 2016. № 1. С. 59–62.

14. Agisoft PhotoScan URL: <http://www.agisoft.com/> (Дата обращения 10.02.2017).

15. Прилипко Е.А. Современные методы 3d-сканирования. URL: [https://interactive-plus.ru/ru/article/11162/discussion\\_platform](https://interactive-plus.ru/ru/article/11162/discussion_platform) (дата обращения: 8.04.2017).

16. Руководство пользователя Agisoft PhotoScan: Professional Edition, версия 1.2. URL: [http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro\\_1\\_2\\_ru.pdf](http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_2_ru.pdf) (Дата обращения 15.01.2017).

---

**Ignatova E.V., Machacha A.V., Dmitrieva I.S.**

#### **ADDITIONAL ADJUSTMENT PARAMETERS OF BUILDING OBJECT'S DATA IN THE PHOTOGRAMMETRY ALGORITHM**

*A method of creating 3D images based on photogrammetry can be used as a tool for documenting cultural heritage and preparing initial data for the restoration of building objects. Architectural and structural features of building objects, the land-based method for obtaining the majority of photo images and the desire to obtain a model with high detalization lead to the need to adjust the parameters of the algorithm for automated obtaining of three-dimensional images. In the course of the study, possible changes and adjustments to the parameters of the photogrammetry algorithm were analyzed to improve the quality of modeling of building objects. A comparative analysis of the results of the modeling of the historical building was carried out under different parameters of the algorithm.*

**Key words:** algorithm of photogrammetry, restoration of cultural heritage, three-dimensional model, 3D-reconstruction, point cloud.

---

**Игнатова Елена Валентиновна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Адрес: Россия, 129337, Москва, Ярославское ш., д. 26

E-mail: [ignatova@mgsu.ru](mailto:ignatova@mgsu.ru)

**Мачача Артем Витальевич**, директор по развитию

Компания ООО «STEREOFORMA».

Адрес: Россия, 109548, Москва, Волгоградский пр-т, д. 42

E-mail: [artem.m@mako-tech.ru](mailto:artem.m@mako-tech.ru)

**Дмитриева Ирина Сергеевна**, 3D-моделлер, Компания ООО «STEREOFORMA», студент направления подготовки Информатика и вычислительная техника.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»

Адрес: Россия, 129337, Москва, Ярославское ш., д. 26

E-mail: [irinasergeevna.dmitrieva@gmail.com](mailto:irinasergeevna.dmitrieva@gmail.com)

DOI: 10.12737/article\_590878fbb4ea15.01377412

**Басманова Ю.И., магистрант,  
Филинских А.Д., канд. техн. наук, доц.  
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
Хвойнов В.Н., начальник управления  
ФГУП ФНПЦ НИИИС**

## РАЗРАБОТКА КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ПОЛЬЗОВАТЕЛЯМИ НА ПРЕДПРИЯТИИ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ» – ФГУП ФНПЦ НИИИС ИМ. Ю.Е. СЕДАКОВА

**jibasmanova@gmail.com**

*Для реализации ценностей Госкорпорации «Росатом» используется не совокупность программ автоматизации бизнес-процессов компании (управление производством, ресурсами и т.д.), а создается специализированная интегрированная автоматизированная система, в которой каждому отдельному модулю системы доступен в реальном времени весь объём необходимой информации, вырабатываемый другими модулями. Каждый отдельный модуль системы отвечает за свой бизнес-процесс таким образом, что при взаимодействии модулей друг с другом четко ограничен способ отображения контента без ввода дополнительной информации.*

**Ключевые слова:** информационная система, разработка, сопровождение, автоматизация, портал, контент, CMS-система.

**Введение.** В настоящее время существует огромное количество вариантов представления информации в удобном интуитивно понятном для пользователя виде.

Стратегические цели Госкорпорации «Росатом» – обеспечение обороноспособности и безопасности государства и реализация бизнес-приоритетов в сфере мирного атома.

Ценности Росатома – норма для каждого сотрудника предприятия, входящего в состав Госкорпорации (рис.1). [1] Вовлечение отдельного сотрудника в деятельность каждого подразделения и предприятия в целом, а также сопровождение таких индикаторов как эффективность, безопасность, единство, уважение, на шаг впереди, ответственность за результат, невозможно без создания информационных коммуникаций на базе современных информационных технологий.

В целях совершенствования качества процесса предоставления доступа к комплексному информированию сотрудников предприятия, а также повышения уровня социальной значимости, разрабатывается новая интерактивная информационная система – «Корпоративный информационный портал ФГУП ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова», так как существующая в НИИИС автоматизированная структура предоставления информации не достаточно эффективно использует существующие информационные ресурсы. [2]

Наиболее существенной чертой комплексной информационной системы должно стать расширение контура автоматизации для получе-

ния замкнутой системы, способной гибко и оперативно перестраивать принципы своего функционирования [3].

**Основная часть.** При выполнении поставленных целей, использование современных интерактивных информационных технологий позволит сотрудникам максимально рационально использовать ресурсы предприятия и постоянно совершенствовать рабочие процессы. А работа в команде единомышленников соответственно позволит достигать уникальных результатов и новых достижений [4]. Поэтому так необходимо грамотное взаимодействие пользователя с информационной системой и привлечение внимания к корпоративной деятельности предприятия.

Для каждой конкретной организации корпоративная информационная система будет иметь индивидуальный набор требований, признаков, положений и стандартов. Соответственно, при разработке подобной интерактивной информационной системы невозможно сформулировать необходимый четко определенный набор каких-либо общих требований или стандартов [5].

Поскольку предприятия имеют определенную специфику, связанную с необходимостью выполнения требований по информационной безопасности при разработке и дальнейшей эксплуатации корпоративной информационной системы, становится основополагающим обоснованность применения программного обеспечения (ПО) [6].

## ЦЕННОСТИ РОСАТОМА

### Единая команда

Мы все – Росатом. У нас общие цели. Работа в команде единомышленников позволяет достигать уникальных результатов. Вместе мы сильнее и можем добиваться самых высоких целей. Успехи сотрудников – успехи компании.

### Уважение

Мы с уважением относимся к нашим заказчикам, партнерам и поставщикам. Мы всегда внимательно слушаем и слышим друг друга вне зависимости от занимаемых должностей и места работы. Мы уважаем историю и традиции отрасли. Достижения прошлого вдохновляют нас на новые победы.

### Эффективность

Мы всегда находим наилучшие варианты решения задач. Мы эффективны во всем, что мы делаем – при выполнении поставленных целей мы максимально рационально используем ресурсы компании и постоянно совершенствуем рабочие процессы. Нет препятствий, которые могут помешать нам находить самые эффективные решения.



### На шаг вперед

Мы стремимся быть лидером на глобальных рынках. Мы всегда на шаг вперед в технологиях, знаниях и качествах наших сотрудников. Мы предвидим, что будет завтра, и готовы к этому сегодня. Мы постоянно развиваемся и учимся. Каждый день мы стараемся работать лучше, чем вчера.

### Безопасность

Безопасность – наивысший приоритет. В нашей работе мы в первую очередь обеспечиваем полную безопасность людей и окружающей среды. В безопасности нет мелочей – мы знаем правила безопасности и выполняем их, пресекая нарушения.

### Ответственность за результат

Каждый из нас несет личную ответственность за результат своей работы и качество своего труда перед государством, отраслью, коллегами и заказчиками. В работе мы предъявляем к себе самые высокие требования. Оцениваются не затраченные усилия, а достигнутый результат. Успешный результат – основа для наших новых достижений.

Рис. 1. Ценности Госкорпорации «Росатом»

**Обеспечение безопасности** требует постоянной работы и пристального внимания к деталям, поэтому внутри предприятия используется локальный сетевой доступ к внутренним сайтам и персональным компьютерам, с запретом использования подключения к сети Интернет [7].

Наличие современного оборудования позволяет разрабатывать корпоративную информационную систему непосредственно для предоставления информации в визуальной интуитивно понятной пользователю форме на существующих в НИИИС информационных сенсорных терминалах (киосках). Таким образом, при разработке информационной системы необходимо обеспечить **адаптивность** [8].

Информационная система должна быть **открытой** для включения дополнительных модулей и **масштабируемой** для расширения системы по масштабам и функциям [9].

Основной задачей информационного портала является предоставление информации о предприятии, комплексное информирование всех подразделений и конечных пользователей о деятельности предприятия, оперативный доступ к статистико-аналитической информации для повышения эффективности работы института,

формирование электронных коллекций музейных и фотографических документов и предоставление иллюстративного контента по всей корпоративной деятельности [10].

Создание портала необходимо для ознакомления персонала с историей предприятия, информирования сотрудников о существующих видах деятельности предприятия, знакомства с выдающимися личностями, основными событиями и мероприятиями.

Целевой аудиторией являются сотрудники предприятия ФГУП ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова.

Рынок ПО для информационных терминалов многообразен и представляет широкий спектр возможностей реализации любых необходимых требований [11]. Подобное ПО разрабатывается на базе CMS-систем, основной задачей которых является сбор и объединение различных источников информации, обеспечивающих возможность взаимодействия с базами знаний и данных, чтобы сделать процесс поиска и повторного использования максимально комфортным и привычным [12].

Несмотря на то, что практически всегда программа для информационного киоска разра-

батывается индивидуально, существует свод правил и рекомендаций, главное – избегать глубокой структуры меню [13]. Чем глубже будет располагаться необходимая пользователю ин-

формация, тем меньше шансов, что он ее там сможет найти [14]. Пример разработанной структуры можно увидеть на рис.2.

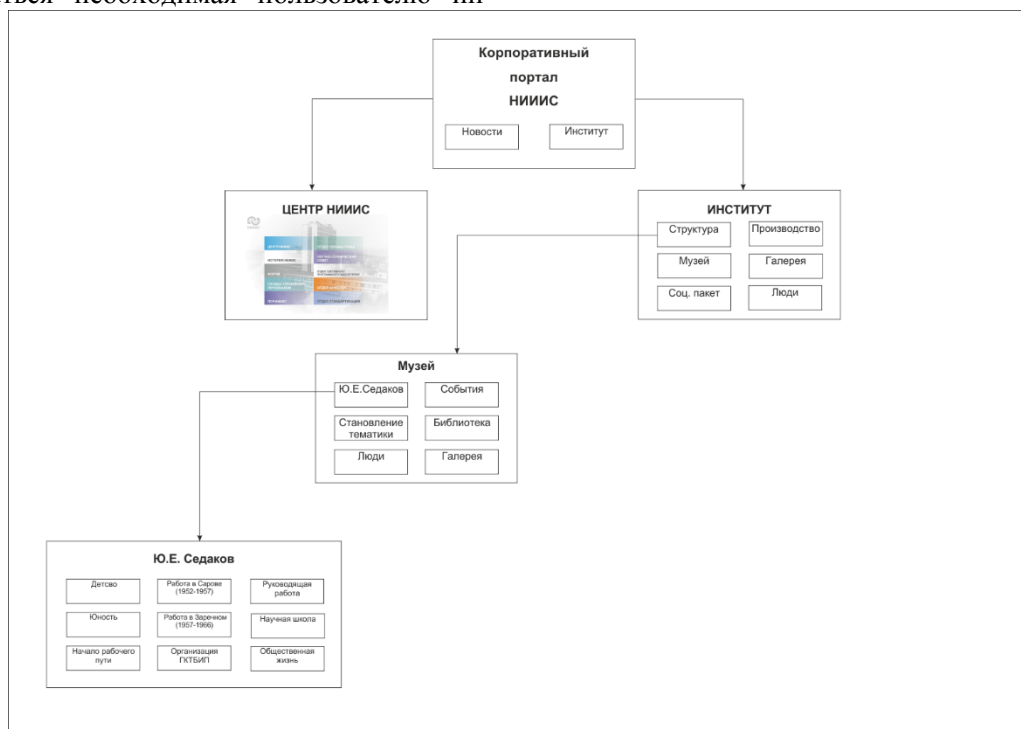


Рис. 2. Разработанная схема корпоративного информационного портала, раздел «Музей»

На данный момент разработанные разделы, включающие основные аспекты всей деятельности предприятия (структура, музей, соц. пакет, производство, люди, галерея) находятся на ста-

дии подбора и наполнения информационным контентом. Примеры макетов представлены на рис.3.



Рис. 3. Пример макетов реализуемой системы в НИИИС им. Ю.Е. Седакова

**Выводы.** Разработанный и функционирующий корпоративный информационный портал является адаптивным и имеет возможность реализации как на существующем на предприятии оборудовании, так и на новом современном.

При работе с интерактивной информационной системой обеспечен необходимый уровень безопасности, открытости, адаптивности и масштабируемости [15].

Поставленные цели достигнуты путем внедрения безопасного просмотра внутреннего кольца сайтов НИИИС (размещенных в локаль-

ной сети), возможности отображения на любом существующем на предприятии интерактивном оборудовании, а также за счет обеспечения подключения дополнительных модулей и расширений системы по масштабам и функциям.

Таким образом, на предприятии НИИИС им. Ю.Е. Седакова реализуется проект создания корпоративного информационного портала на базе CMS-системы в виде базовой версии для предоставления разработчику свободы действий при реализации поставленных требований. В настоящее время активно создается файловая

система в виде базы данных необходимых для разработчика материалов, формируется и совершенствуется структура корпоративного информационного портала, а также расширяется контур автоматизации для получения замкнутой системы, способной гибко и оперативно перестраивать принципы своего функционирования.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ценности Росатома [Электронный ресурс]. URL: <http://archive.rosatom.ru/wps/wcm/connect/rosao/r-osraosite/enterprise/values/>
2. Научно-исследовательский институт измерительных систем им. Ю.У. Седакова [Электронный ресурс]. URL: <http://www.niis.nnov.ru/> (дата обращения: 29.01.2017)
3. Система управления содержимым [Электронный ресурс]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Система\\_управления\\_содержимым](https://ru.wikipedia.org/wiki/Система_управления_содержимым) (дата обращения: 29.01.2017)
4. Что такое CMS? Для чего она нужна? Какие бывают CMS? [Электронный ресурс]. URL: <http://moolkin.ru/joomla/cms/chto-takoe-cms-dlya-chego-ona-nuzhna-kakie-byvayut-cms> (дата обращения: 29.01.2017)
5. Программное обеспечение для сенсорных киосков [Электронный ресурс]. URL: [http://www.iresto.ru/catalog/114/program\\_seo.html](http://www.iresto.ru/catalog/114/program_seo.html) (дата обращения: 29.01.2017)
6. Обзор процесса разработки программного обеспечения [Электронный ресурс]. URL: <https://habrahabr.ru/post/255991/> (дата обращения: 30.01.2017)
7. Методологии разработки программного обеспечения [Электронный ресурс]. URL: <http://compress.ru/article.aspx?id=11321> (дата обращения: 30.01.2017)
8. Этапы разработки программного обеспечения [Электронный ресурс]. URL: [http://www.ab-solut.net/ru/articles/etapi\\_po/](http://www.ab-solut.net/ru/articles/etapi_po/) (дата обращения: 02.02.2017)
9. Что такое CRM системы\_ Обзор бесплатных и платных CRM систем [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kadrof.ru/st-crm.shtml> (дата обращения: 02.02.2017)
10. Каталог CRM-систем [Электронный ресурс]. URL: <http://www.crm-practice.ru/crm-systems/> (дата обращения: 02.02.2017)
11. Корпоративные технологии [Электронный ресурс]. URL: <https://www.osp.ru/cw/1996/41/14979/> (дата обращения: 02.02.2017)
12. Информационные технологии корпоративного управления сложными организационными структурами высокотехнологичных предприятий оборонно-промышленного комплекса [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ashurbeyli.ru/media/article/informacionnye-tehnologii-korporativnogo-upravleni-15241> (дата обращения: 12.02.2017)
13. Корпоративные информационные системы [Электронный ресурс]. URL: <http://iablov.narod.ru/igupit/kislec.htm> (дата обращения: 18.02.2017)
14. Корпоративные стандарты в компании\_ разработка, внедрение и контроль [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kom-dir.ru/article/1428-korporativnye-standarty> (дата обращения: 07.03.2017)
15. Особенности разработки информационных систем поддержки принятия [Электронный ресурс]. URL: <http://lib.sale/upravlencheskie-resheniya-knigi/osobennosti-razrabotki-informatsionnyih-sistem-56478.html> (дата обращения: 11.03.2017).

---

**Basmanova Yu.I., Philinskikh A.D., Khvoynov V.N.**

### **CORPORATE INFORMATION SYSTEM DEVELOPMENT FOR INTERACTING WITH USERS AT THE STATE CORPORATION "ROSATOM" ENTERPRISE, FSUE FRPC NIIS NAMED AFTER Yu. Ye. SEDAkov**

*For implementing the State Corporation "Rosatom" valuables there is not used a system of the company business-processes automation programs (control of production and resources, etc.) but a special-purpose integrated automation system is developed. Within the system Each separate module has on-line access to the total required information generated by other modules. Each separate system module is responsible for its business-process so that during modules interaction the content mapping mode is limited clearly without loading additional information.*

**Key words:** *information system, development, support, automation, portal, content, CMS system.*

---

**Басманова Юлия Ивановна**, магистрант кафедры «Графические информационные системы».

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Адрес: Россия, 603600, Нижний Новгород, Казанское шоссе, д. 12.

E-mail: [jibasmanova@gmail.com](mailto:jibasmanova@gmail.com)

---

**Филинских Александр Дмитриевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Графические информационные системы».

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Адрес: Россия, 603600, Нижний Новгород, Казанское шоссе, д. 12.

E-mail: alexfil@yandex.ru

**Хвойнов Валерий Николаевич**, начальник управления маркетинга и связей с общественностью ФГУП ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова

Адрес: Россия, 603950, Нижний Новгород, Тропинина, 47.

E-mail: Khvoynov@niiis.nnov.ru



Шаптала В.Г., д-р техн. наук, проф.,  
Шаптала В.В., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ АСПИРАЦИЕЙ ЦЕМЕНТНОЙ МЕЛЬНИЦЫ

ShaptalaVadim@yandex.ru

Разработана математическая модель системы аспирации цементной мельницы, которая может быть использована для ее расчета и при создании автоматизированных систем управления.

**Ключевые слова:** цементная мельница, аспирация, математическая модель, управление.

**Введение.** Технологическая аспирация цементных мельниц является важным условием увеличения их производительности, снижения удельных энергозатрат и повышения качества цемента [1]. В связи с модернизацией цементных заводов и переводом мельниц в замкнутый цикл повышаются требования к эффективности работы их аспирационных систем. При расчете и проектировании систем аспирации необходимо учитывать аэродинамическое сопротивление мельницы и других элементов аспирационного тракта, температуру и запыленность отсасываемого воздуха, подсосы наружного воздуха, характеристику аспирационного вентилятора и другие особенности процесса аспирации. Влияние этих факторов на режим аспирации исследовалось в ряде работ [2–6], однако методы

комплексного аэродинамического расчета систем аспирации остаются недостаточно разработанными. В связи с этим подбор аспирационных вентиляторов и режимов их работы, как правило, ведется без должного обоснования, что приводит к перерасходу электроэнергии и снижению эффективности аспирации. Для разработки методов расчета и управления системой аспирации необходимо создание ее математической модели, связывающей между собой конструктивно-режимные параметры системы с управляющими факторами [7].

**Основная часть.** Аэродинамика основного элемента аспирационного тракта – мельницы (рис. 1) осложняется рядом особенностей, которые носят недетерминированный характер.

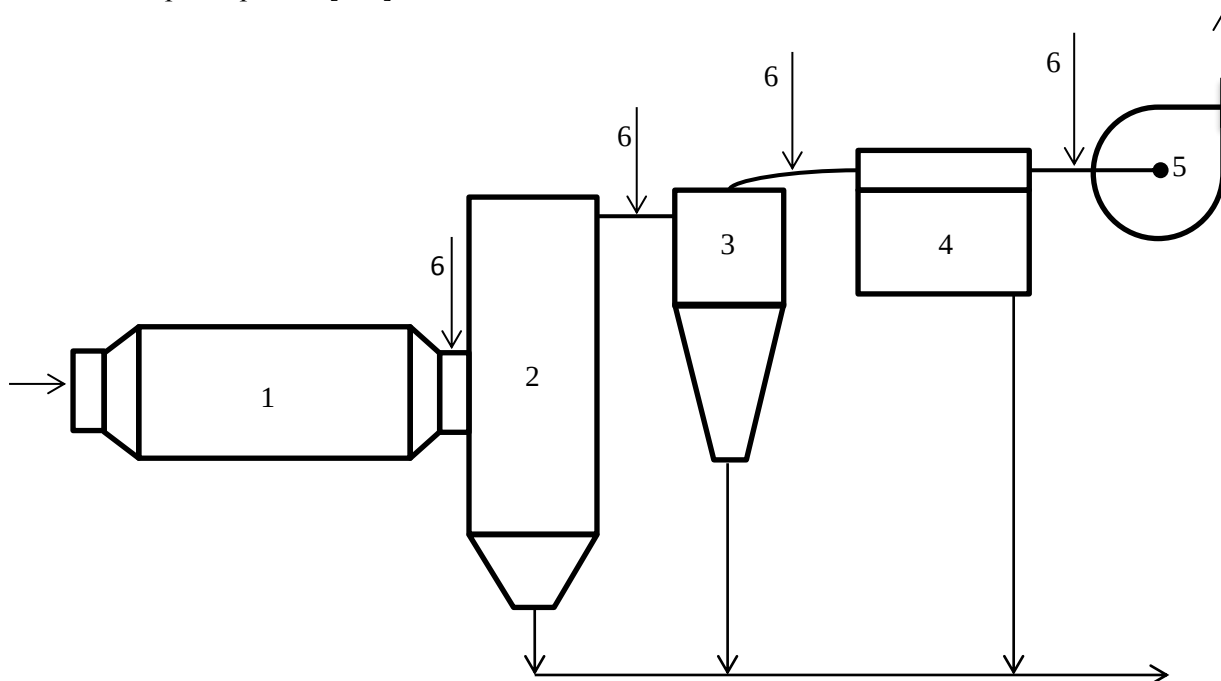


Рис. 1. Схема аспирационного тракта (1 – мельница, 2 – аспирационная шахта, 3 – группа циклонов, 4 – рукавный фильтр, 5 – аспирационный вентилятор, 6 – места подсосов наружного воздуха)

Так, щели межкамерных перегородок, которые вносят существенный вклад в сопротивление мельницы, случайным образом перекрываются мелющими телами и забиваются измель-

чаемым материалом, а параметры аспирационного воздуха (температура, запыленность, влажность), которые также влияют на сопротивление

мельницы, сложным и практически непредсказуемым образом меняются вдоль мельницы.

Поэтому зависимость сопротивления мельницы  $\Delta P_0$  от массового расхода проходящего через нее аспирационного воздуха  $G_0$  целесообразно определять используя понятие эквивалентного отверстия [8], т.е. круглого отверстия в тонкой стенке, имеющего при тех же условиях сопротивление, равное сопротивлению мельницы:

$$\Delta P_0 = \frac{\rho_{см} G_0^2}{2\mu^2 \rho_0^2 A^2}. \quad (1)$$

Здесь  $\rho_{см} = \rho_0 + Z_0$ ,  $\rho_0 = b/T_0$  – плотность воздуха, просасываемого через мельницу,  $T_0$  – его средняя абсолютная температура,  $b = PM/R$ ,  $P = 101325$  Па,  $M = 0,029$  кг/моль,  $R = 8,314$  Дж/(моль·К),  $b = 353,4$  кг·К/м<sup>3</sup>,  $Z_0$  – средняя по мельнице концентрация взвешенной пыли,  $A$  – площадь эквивалентного отверстия,  $\mu = 0,65$  – коэффициент расхода через него [9]. Величина  $A$  может быть найдена в результате аппроксимации полученной опытным путем зависимости  $\Delta P_0$  от  $G_0$  функцией:

$$\Delta P_0 = k_M G_0^2 \quad (2)$$

По найденному методом наименьших квадратов (МНК) значению параметра  $k_M$  площадь эквивалентного отверстия мельницы определяется соотношением:

$$A = \frac{1}{\mu \rho_0} \sqrt{\frac{\rho_{см}}{2k_M}} \quad (3)$$

Для мельниц размерами  $3 \times 14$  м  $A = 0,15 \dots 0,19$  м<sup>2</sup> [9]

Соотношение (1) для аэродинамического сопротивления мельницы может быть представлено в виде:

$$\Delta P_0 = a_0 G_0^2, \quad (4)$$

где

$$a_0 = 9,48 \cdot 10^{-6} \frac{(b + Z_0 T_0) T_0}{A^2}. \quad (5)$$

В производственных условиях аспирация цементных мельниц сопровождается значительными подсосами наружного воздуха в местах соединения элементов аспирационного тракта. Так, перед аспирационной шахтой расход подсасываемого воздуха может составлять  $G_1 \geq 0,5G_0$ , перед циклонами –  $G_1 \geq 0,15G_0$ , перед фильтром  $G_3 \geq 0,08G_0$  и перед вентилятором  $G_y \geq 0,27G_0$ . Суммарный подсос может превышать расход просасываемого через мель-

ницу воздуха в несколько раз [10]. Количество наружного воздуха, подсасываемого через неплотности  $i$ -го сопряжения аспирационного тракта зависит от площади этих неплотностей  $F_i$ , разрежения в месте их расположения  $\Delta P_i$  и плотности наружного воздуха  $\rho = b/T$ :

$$G_i = F_i \sqrt{\frac{2\rho \Delta P_i}{\zeta_n}}, \quad (6)$$

где  $T$  – температура наружного воздуха,  $\zeta_n = 2,75$  – коэффициент местного сопротивления щелевидного отверстия при наличии проходящего потока [11].

Подсосы приводят не только к увеличению расхода аспирационного воздуха, но и к снижению его температуры и запыленности. Влияние изменений этих параметров необходимо учитывать при определении сопротивлений элементов аспирационного тракта. Температура и объемный расход пылевоздушной смеси в аспирационной шахте определяется соотношениями:

$$T_a = \frac{G_0 T_0 + G_1 T_1}{G_0 + G_1},$$

$$Q_a = \frac{(G_0 + G_1) T_a}{b} = \frac{G_0 T_0 + G_1 T_1}{b}. \quad (7)$$

Запыленный воздушный поток, поступающий в аспирационную шахту, дополнительно захватывает с собой часть выгружаемого из мельницы цемента, поэтому его начальная запыленность  $Z_1$  значительно превосходит концентрацию пыли на выходе из мельницы и может достигать  $330 \dots 770$  г/м<sup>3</sup> [12]. Концентрация пыли на выходе аспирационной шахты определяется массовым расходом пылеуноса  $G_y$ , который зависит от расхода аспирационного воздуха  $G_0$  и достигает для мельниц открытого цикла измельчения от 2 до 5% производительности мельницы  $G_m$  [13]. Полагая эту зависимость в интервале  $1 < G_0 < 9$  кг/с линейной, получим

$$p = k_y G_0 + B, \quad (8)$$

где  $p = G_y / G_m$  – относительная доля пылеуноса, параметры  $k_y$  и  $B$  определяются в результате обработки опытных данных.

Эффективность пылеосаждения в аспирационной шахте, происходящего в результате интенсивной коагуляции и седиментации укрупненных частиц, достигает 90%. В этом случае входная  $Z_1$  и выходная  $Z_2$  концентрации цементной пыли в аспирационной шахте связаны соотношением  $Z_1 = 9Z_2$ , а для средней концентрации пыли получим:  $Z_{cp} = (Z_1 + Z_2)/2 = 5Z_2$ , где

$$Z_2 = \frac{G_y}{Q_a} = \frac{b(K_y G_0 + B)G_M}{G_0 T_0 + G_1 T}. \quad (9)$$

Аэродинамическое сопротивление аспирационной шахты  $\Delta P_a$  обусловлено поворотом и расширением аспирационного потока в разгрузочном устройстве мельницы, весом выносимой пыли, разностью температур аспирационного и наружного воздуха, а также сужением потока аспирационного воздуха при его входе в группу циклонов

$$\begin{aligned} \Delta P_a = & \frac{\zeta_p T_0^2 G_0^2}{2F_p^2 b} \left( \frac{1}{T_0} + \frac{9(K_y G_0 + B)G_M}{G_0 T_0 + G_1 T} \right) + \\ & + gH_b \left( \frac{(k_y G_0 + B)G_M + G_0 + G_1}{G_0 T_0 + G_1 T} - \frac{1}{T} \right) + \\ & + \frac{\zeta_{ex}}{2F_a^2 b} (G_0 + G_1 + G_M (k_y G_0 + B))(G_0 T_0 + G_1 T). \end{aligned} \quad (10)$$

Здесь  $F_p$  – площадь свободного поперечного сечения разгрузочного устройства,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение силы тяжести,  $H$ ,  $F_a$  – высота и площадь поперечного сечения аспирационной шахты;  $\zeta_p = 0,84$  и  $\zeta_{ex} = 15,5$  – коэффициенты местного сопротивления переходов из разгрузочного устройства в аспирационную шахту и из нее в группу циклонов.

В качестве первой ступени очистки аспирационного воздуха чаще всего используются группы циклонов ЦН–15 или ЦН–15у диаметром  $D_u \geq 800 \text{ мм}$ . Коэффициент сопротивления группы таких циклонов с учетом запыленности аспирационного воздуха равен  $\zeta_{cu} = 178$ , а эффективность очистки достигает значения  $\eta_u = 0,65..0,8$ , если скорость пылевоздушной смеси, отнесенная к площади поперечного сече-

$$\Delta P_u = \frac{\zeta_{cu} U_{onm}^2 b}{2(G_0 T_0 + (G_1 + G_2)T)} (G_0 + G_1 + G_2 + 0,5(2 - \eta_u)(k_y G_0 + B)G_M) \quad (16)$$

Для второй ступени очистки аспирационного воздуха используются рукавные фильтры серий ФРКИ – 360 с производительностью до  $32400 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Сопротивление рукавного фильтра может составлять  $\Delta P_\phi = 1200..1800 \text{ Па}$ , а эффективность достигает значений  $\eta_\phi = 0,990...0,998$ .

Температура и запыленность аспирационного воздуха на входе в рукавный фильтр, которые снижаются из-за подсоса наружного воздуха в количестве  $G_3$ , могут быть найдены по формулам:

$$T_\phi = \frac{G_0 T_0 + (G_1 + G_2 + G_3)T}{G_0 + G_1 + G_2 + G_3}, \quad (17)$$

ния цилиндрической части циклонов (условная скорость) близка к оптимальной  $U_{onm} = 3,5 \text{ м/с}$  [11]:

$$F_{cu} U_{onm} = \frac{G_0 T_0 + (G_1 + G_2)T}{b}, \quad (11)$$

где  $F_{cu} = n\pi D_u^2/4$  – суммарная площадь поперечных сечений циклонов,  $n = 2..4$  – их число.

При заданном числе циклонов их диаметр определяется соотношением:

$$D_u = \sqrt{\frac{0,001(G_0 T_0 + (G_1 + G_2)T)}{n}}. \quad (12)$$

Сопротивление группы циклонов определяется формулой:

$$\Delta P_u = \zeta_{cu} \frac{P_{cu} (G_0 + G_1 + G_2)}{2\rho_u^2 F_u^2}. \quad (13)$$

Здесь  $\rho_{cu} = \rho_u + Z_{uc}$  – средняя плотность пылевоздушной смеси в циклонах,  $\rho_u = b/T$ ,  $T_u$  – плотность воздуха и его температура,  $Z_{uc}$  – средняя концентрация пыли в циклонах.

Соотношения для определения  $T_u$  и  $Z_{cu}$  выводятся из уравнений теплового и материального баланса:

$$T_u = \frac{G_0 T_0 + (G_1 + G_2)T}{G_0 + G_1 + G_2}, \quad (14)$$

$$Z_{cu} = \frac{0,5Z_2(2 - \eta_u)(G_0 T_0 + G_1 T)}{G_0 T_0 + (G_1 + G_2)T}. \quad (15)$$

С учетом условия (10) и соотношений (12, 13) формула для сопротивления группы циклонов принимает вид:

$$Z_{\phi 1} = \frac{G_M p b (1 - \eta_u)}{G_0 T_0 + (G_1 + G_2 + G_3)T}. \quad (18)$$

Заключительным элементом аспирационного тракта является вентилятор. Расход, температура и запыленность воздуха, выбрасываемого вентилятором в атмосферу с учетом подсосываемого им наружного воздуха  $G_4$ , можно рассчитать по формулам:

$$G_e = G_0 + G_n, \quad (19)$$

$$T_e = \frac{G_0 T_0 + G_n T}{G_e}, \quad (20)$$

$$Q_g = \frac{G_g T_g}{b}, \quad (21)$$

$$Z_g = \frac{bpG_m(1-\eta_u)G_m(1-\eta_\phi)}{G_o T_o + G_n T}, \quad (22)$$

где  $G_n = G_1 + G_2 + G_3 + G_4$  – полный расход под-сасываемого воздуха.

Вентилятор может использоваться в качестве управляющего элемента системы аспирации, поскольку при изменении частоты его вращения меняется объем подсосов и температура аспирационного воздуха, что наряду с частотой вращения влияет на режим работы вентилятора. Поэтому математическая модель системы управления аспирацией цементной мельницы должна включать в себя аналитическое выражение характеристики вентилятора с учетом ее

зависимости от частоты вращения и температуры отсасываемого воздуха [14]. В качестве такого выражения предлагается следующая аппроксимация характеристик вентиляторов:

$$P_V = (AG_g^2 + BG_g + C) \cdot \left(\frac{n}{n_s}\right)^2 \cdot \left(\frac{T_s}{T}\right), \quad (23)$$

где  $n_s$ ,  $T_s$  – частота вращения и абсолютная температура перемещаемого воздуха при стендовых испытаниях вентилятора,  $n$  и  $T$  – рабочие значения этих параметров, значения коэффициентов  $A, B$  и  $C$  определяются в результате статистической обработки опытных характеристик вентиляторов [15].

Так, аппроксимации характеристик дымососов Д-12 и Д-15.5, полученных при  $n_s = 970$  об/мин и  $T_s = 473$  К ( $t_s = 200$  °С), имеют вид:

$$P_V = (-11,51G_g^2 + 194,73G_g + 1601,71) \left(\frac{n}{970}\right)^2 \left(\frac{473}{T_g}\right) \quad (24)$$

$$P_V = (-8,29G_g^2 + 211,68G_g + 1803,53) \left(\frac{n}{970}\right)^2 \left(\frac{473}{T_g}\right) \quad (25)$$

Потребляемую мощность вентилятора можно найти по формуле

$$N_g = \frac{Q_g P_V}{1000\eta(G_g)}, \text{ кВт}, \quad (26)$$

где  $\eta(G_g)$  – коэффициент полезного действия (КПД) вентилятора, зависящий от его производительности. Эти зависимости для дымососов Д-12 и Д-15,5 можно аппроксимировать в следующем виде:

$$\eta(G_g) = -0,005G_g^2 + 0,077G_g + 0,372 \quad (27)$$

$$\eta(G_g) = -0,001G_g^2 + 0,0243G_g + 0,494 \quad (28)$$

Систему аспирации цементной мельницы можно представить в виде сети, состоящей из пяти вложенных друг в друга и условно замкнутых через внешнюю среду контуров (рис. 2).

В соответствии со вторым законом Кирхгофа система уравнений, описывающая аспирационную сеть, имеет вид:

$$\begin{cases} \Delta P_0 + \Delta P_a + \Delta P_u + \Delta P_\phi = P_V \\ \Delta P_1 + \Delta P_a + \Delta P_u + \Delta P_\phi = P_V \\ \Delta P_2 + \Delta P_u + \Delta P_\phi = P_V \\ \Delta P_3 + \Delta P_\phi = P_V \\ \Delta P_4 = P_V \end{cases} \quad (29)$$

где  $\Delta P_i$ ,  $i = 1, 2, 3, 4$  – сопротивления неплотностей  $i$ -го сопряжения элементов аспирационного тракта:

$$\Delta P_i = a_i G_i, \quad (30)$$

где  $G_i$  – массовый расход наружного воздуха, проходящего через неплотности  $i$ -го сопряжения элементов аспирационного тракта,

$$a_i = \frac{\zeta_i T}{2bF_i^2} = 0,0039 \frac{T}{F_i^2} \quad (31)$$

Условие сохранения массового расхода аспирационного воздуха учитывалось при выводе соотношений для сопротивлений отдельных элементов системы аспирации.

Вычитая из первого уравнения системы (29) второе, а со второго – третье и т.д. приведем ее к следующему виду:

$$\begin{cases} \Delta P_0 - \Delta P_1 = 0 \\ \Delta P_1 - \Delta P_2 + \Delta P_a = 0 \\ \Delta P_2 - \Delta P_3 + \Delta P_u = 0 \\ \Delta P_3 - \Delta P_4 + \Delta P_\phi = 0 \\ \Delta P_4 - P_V = 0 \end{cases} \quad (32)$$

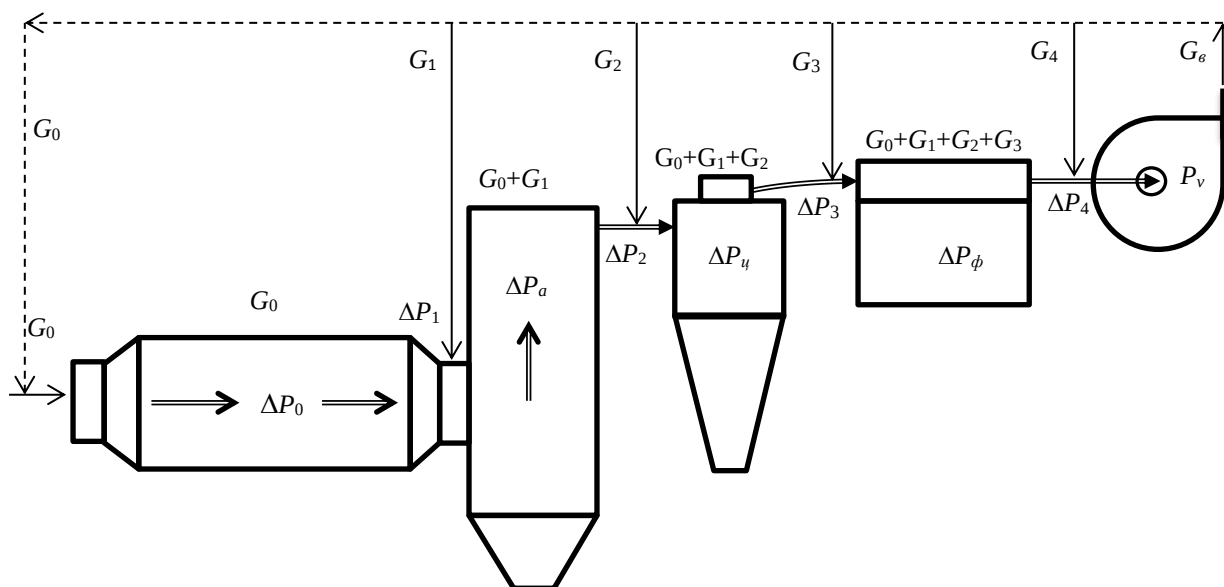


Рис. 2. Схема распределения воздушных (  $\longrightarrow$  ) и пылевоздушных (  $\longrightarrow$  ) потоков в системе аспирации цементной мельницы

Для численного решения системы уравнений (32) приведем ее к виду:

$$\begin{cases} a_0 G_0^2 - a_1 G_1^2 = 0 \\ a_1 G_1^2 - a_2 G_2^2 + \Delta P_a(G_0, G_1) = 0 \\ a_2 G_2^2 - a_3 G_3^2 + \Delta P_u(G_0, G_1, G_2) = 0 \\ a_3 G_3^2 - a_4 G_4^2 + \Delta P_\phi = 0 \\ a_4 G_4^2 - P_v(G_e) = 0 \\ G_0 + G_1 + G_2 + G_3 + G_4 - G_e = 0 \end{cases} \quad (33)$$

Уравнения (31) связывают вычисляемые массовые расходы воздуха, проходящего через мельницу  $G_0$  и через неплотности аспирационного тракта (подсосы  $G_1$ – $G_4$ ), с конструктивно-технологическими параметрами мельницы, аспирационного тракта и температурой внешнего воздуха. Эти уравнения вместе с соотношениями для сопротивлений элементов аспирационного тракта (4, 10, 15) и характеристикой вентилятора (22) составляют математическую модель системы аспирации. Путем численной реализации этой модели исследовалось влияние управляющих воздействий (изменения частоты вращения вентилятора, режима регенерации рукавного фильтра и других) с учетом возмущающих воздействий (изменений площади неплотностей и температуры воздуха в мельнице и снаружи) на характеристику аспирационного тракта и основные показатели аспирационного процесса: скорость воздушного потока внутри мельницы

$U_a$ , относительный уровень подсосов  $K_n = 100G_n/G_0$ , %, энергозатраты на работу вентилятора, температура запыленного воздуха, поступающего в циклоны и фильтр, запыленность аспирационных выбросов. Рассмотрим численную реализацию математической модели системы аспирации на примере мельницы открытого цикла измельчения размерами  $3 \times 14$  м. Производительность мельницы  $G_M = 43$  т/ч = 12 кг/с, степень ее заполнения  $\varphi = 0.27$ , площадь эквивалентного отверстия  $A = 0,17$  м<sup>2</sup>, площадь свободного сечения мельницы  $F_{св} = 4,66$  м<sup>2</sup>, температура и запыленность аспирационного воздуха на выходе из мельницы  $T_0 = 110$  °C = 383 K,  $Z_0 = 0,4$  кг/м<sup>3</sup>,  $k_y = 0,01$ ,  $B = -0,01$ ; концентрация пыли на входе в аспирационную шахту  $Z_1 = 0,7$  кг/м<sup>3</sup>, а ее высота  $H = 14$  м, число циклонов  $n = 2$ , их эффективность  $\eta_u = 0,8$ ; сопротивление рукавного фильтра  $\Delta P_\phi = 1400$  Па, его эффективность  $\eta_\phi = 0.998$ , в качестве аспирационных вентиляторов рассматривались дымососы Д–12 и Д–15.5.

Наименее энергозатратная аспирация цементных мельниц возможна при полном отсутствии подсосов. Однако, характеристика герметизированного аспирационного тракта (рис. 3, 1) показывает, что поддерживать такой режим аспирации ( $U_a = 0,7$  м/с,  $G_0 = 3$  кг/с,  $Q_0 = 11,7$  тыс. м<sup>3</sup>/ч,  $P_v = 3100$  Па,  $N_e = 14,4$  кВт при  $\eta_e = 0,7$ ) можно лишь с помощью вентиляторов высокого давления (разрежения).

В реальных условиях полное устранение подсосов практически невозможно, поскольку их влияние проявляется уже при площади всех щелей и неплотностей  $F \approx 0,025 \text{ м}^2$ . При наличии

подсосов характеристика аспирационного тракта становится более пологой (рис. 3, 2), что позволяет использовать в качестве аспирационных вентиляторы среднего давления.

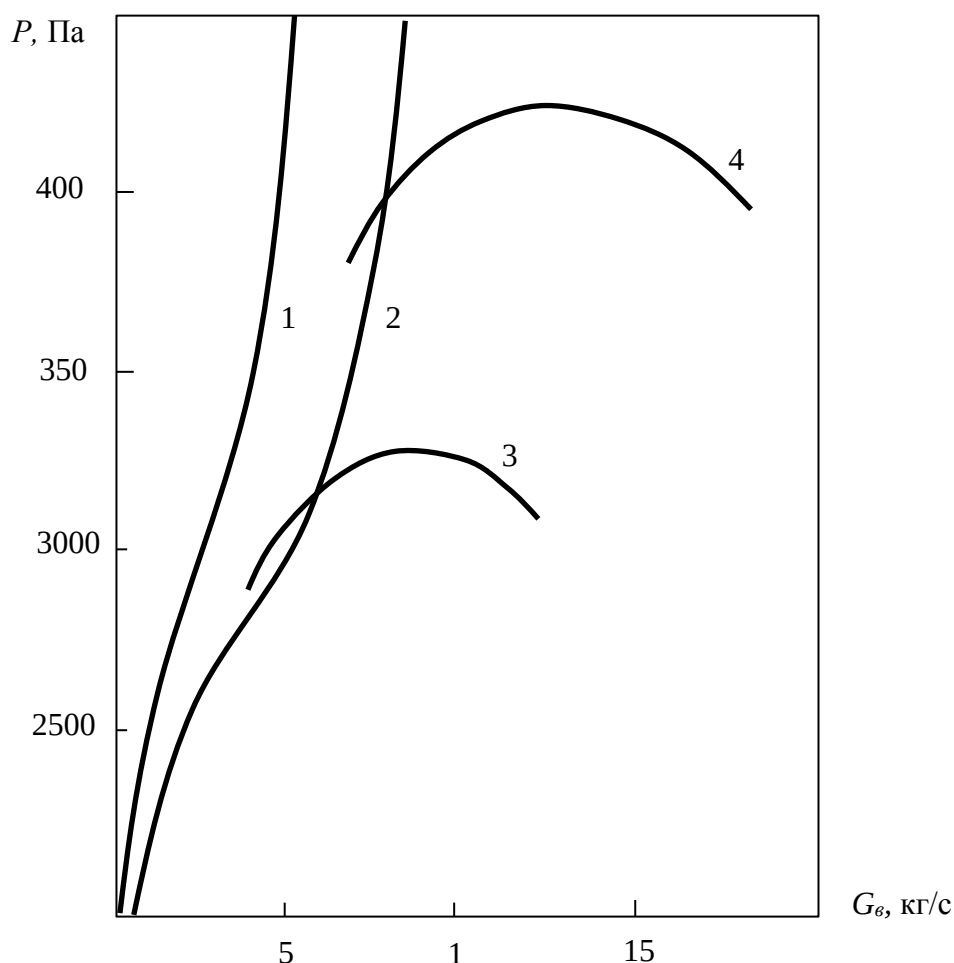


Рис. 3. Характеристики аспирационного тракта (1—без подсосов, 2 — с подсосами,  $F = 0,076$ ) и вентиляторов (3 — Д-12,  $n = 970$  об/мин,  $t = 75^\circ \text{C}$ , 4 — Д-15,5,  $n = 970$  об/мин,  $t = 77^\circ \text{C}$ )

Так, в теплый период года ( $t = 25^\circ \text{C}$ ) при общей площади неплотностей сопряжений аспирационного тракта  $F = 0,076 \text{ м}^2$  ( $F_1 = 0,05$ ,  $F_2 = 0,01$ ,  $F_3 = 0,003$  и  $F_4 = 0,014 \text{ м}^2$ ) с помощью дымососа Д-12 можно поддерживать режим аспирации (рис. 3) с параметрами:  $U_a = 0,7 \text{ м/с}$ ,  $G_v = 5,17 \text{ кг/с}$ ,  $Q_v = 18,3 \text{ тыс. м}^3/\text{ч}$ ,  $N_v = 25 \text{ кВт}$ ,  $\eta_v = 0,64$ , коэффициент пылеуноса  $p = 0,02$ , относительный объем подсосов  $K_n = 71\%$ , температура воздуха, поступающего в циклоны и рукавный фильтр  $t_{\text{ц}} = 83^\circ \text{C}$ ,  $t_{\text{ф}} = 82^\circ \text{C}$ , запыленность аспирационных выбросов  $Z_v = 19 \text{ мг/м}^3$ . При понижении температуры наружного воздуха до  $5^\circ \text{C}$  (холодный период года) уровень подсосов сохраняется, а интенсивность вентиляции мельницы и потребляемая вентилятором мощность повышаются ( $U_a = 0,76 \text{ м/с}$ ,  $N_v = 27,2 \text{ кВт}$ ). Снижение скорости вращения вентилятора на 15

об/мин. позволяет восстановить значения этих параметров. Рассмотренный режим работы системы аспирации для реальных производственных условий по-видимому является оптимальным. Широко распространенное применение в аналогичных условиях более мощного дымососа Д-15,5, сопровождаемое значительным увеличением объема подсасываемого воздуха и потребляемой вентилятором мощности (рис. 3), прежде всего обусловлено неудовлетворительным состоянием аспирационного тракта.

**Выводы.** 1. Необходимым условием снижение энергозатрат на аспирацию цементных мельниц является герметизация сопряжений элементов аспирационного тракта.

2. Для реализации энергосберегающего режима работы системы аспирации необходимо регулирование характеристики аспирационного вентилятора.

3. Разработанная математическая модель может быть использована для обоснованного подбора аспирационных вентиляторов, а также при разработке автоматизированных систем управления аспирацией цементных мельниц.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богданов В.С., Несмеянов Н.П., Пироцкий В.З., Морозов А.И. Механическое оборудование предприятий строительных материалов. Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 1998. 180 с.
2. Пироцкий В.З., Богданов В.С., Севостьянов В.С. Аспирация цементных мельниц. М.: ВНИИЭСМ, 1984. Вып. 1. С. 1–51.
3. Крыхтин Г.С., Жарко В.И. Аэродинамика цементных мельниц. Научные сообщения НИИЦемент. Вып. 23. М. Стройиздат, 1968. С.42–46.
4. Минко В.А., Логачев И.Н. Расчет аспирации и систем ЦПУ. Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 1994. 53 с.
5. Шаптала В.Г. Математическое моделирование в прикладных задачах механики двухфазных потоков. Белгород: Изд-во БелГТАСМ. 1996. 102 С.
6. Логачев И.Н., Логачев К.И. Аэродинамические основы аспирации. С.-Пб.: Химия, 2005. 659с.
7. Рубанов В.Г., Филатов А.Г. Моделирование систем. Белгород: Изд-во БГТУ, 2006. 349 с.
8. Рудничная вентиляция. Справочник. Под ред. К.З. Ушакова. М.: Недра, 1988. 440 с.
9. Тиховидов Б.Д., Балера Н.Д. Выбор критерия аспирационных качеств трубной шаровой мельницы. Цемент. 1983. № 11. С. 14–16.
10. Сатарин В.И., Перли С.В. Движение и обеспыливание газов в цементном производстве. М. Госстройиздат. 1960. 265с.
11. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М., Машиностроение, 1975. 559 с.
12. Лапшин А.Б., Козико Г.Г., Мусатын С.А. Обеспыливание аспирационного воздуха цементных мельниц. Цемент. 1989. № 5. С. 20–21.
13. Аспирация цементных мельниц [Электронный ресурс] режим доступа: <http://ecologenergy.com> (дата обращения 29.01.2017)
14. Рубанов В.Г. Теория автоматического управления (математические модели, анализ и синтез линейных систем). Белгород: Изд-во БГТУ. 2009. 199 с.
15. Аэродинамические характеристики дымососов ВД и Д. [Электронный ресурс] режим доступа: <http://ventilator.spb.ru> (дата обращения 29.01.2017).

---

**Shaptala V. G., Shaptala V.V.**

### MATHEMATICAL MODEL OF CONTROL OF TECHNOLOGICAL ASPIRATION CEMENT MILL

*A mathematical model of aspiration system of cement mill, which can be used for its calculation and creation of automated control systems.*

**Key words:** *cement mill, aspiration, mathematical model, automatic control.*

---

**Шаптала Владимир Григорьевич**, доктор технических наук, профессор кафедры высшей математики. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46.  
E-mail: [zchs@intbel.ru](mailto:zchs@intbel.ru)

**Шаптала Вадим Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46.  
E-mail: [zchs@intbel.ru](mailto:zchs@intbel.ru)



DOI: 10.12737/article\_590878fbd54b02.38680590

Поляков В.А., магистрант,  
Бегдай С.Н., канд. техн. наук, ст.п.

Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина

## СОЛНЕЧНЫЙ КОЛЛЕКТОР В СИСТЕМАХ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

VPN08@yandex.ru

*В последнее время все острее становится проблема стоимости природного сырья для производства энергии, что обусловлено быстро развивающимися темпами строительства и существенно увеличивающимися потребностями бытового сектора. В связи с этим, актуальная задача архитектурно-строительной индустрии Краснодарского края – обоснованное внедрение возобновляемых источников энергии. На территории Российской Федерации наибольшие значения солнечной радиации наблюдаются в диапазоне от 43 до 51 градуса северной широты, при этом более половины территории Российской Федерации пригодны для использования гелиоколлекторов.*

**Ключевые слова:** солнечный коллектор, гелиоколлектор, солнечная энергетика, гелиопрофиль, солнечная радиация.

**Введение.** В России по прежнему отсутствуют нормативные документы по проектированию и возведению солнечных водонагревательных установок (гелиоустановок). В то время как создание гелиоустановок с мощностью 50 кВт и выше является не очень простой инженерной задачей, при решении которой нужно адаптировать зарубежный опыт к российским реалиям. Необходимо отметить, что стоимость замещающей энергии заставляют инженеров принимать компромиссные решения по используемому оборудованию и схемным решениям [1].

**Основная часть.** Основополагающим параметром, определяющим мощность и окупаемость гелиоустановок, является солнечная радиация. В современных условиях в основном применяют значения солнечной радиации, определенные по интерполированным базам данных, например, «НАСА» и также можно отметить «Метеонорм», которые охватывают территорию Российской Федерации. На основе программы «НАСА» представлены расчетные данные по солнечной радиации для регионов России. В Краснодарском крае по результатам обработки семи летних данных солнечной радиации для Краснодара получены достоверные значения, подтвержденные практическими испытаниями гелиоустановок. На основании сопоставления баз данных со значениями, определенными в натурных условиях на базе лаборатории КубГАУ, установлено, что имеет место расхождение годовой интенсивности суммарной солнечной радиации до 7,82 %, а интенсивности по отдельным месяцам – до 18,29 %. [7]

При проектировании гелиоучастка, как правило, задаются размеры земельного участка или кровли здания, на котором требуется разместить оптимально возможное количество солнечных коллекторов. Основным оборудованием гелио-

установки являются солнечные коллекторы, характеристики которых определяют эксплуатационные и стоимостные показатели гелиоустановок.

КПД солнечных коллекторов достаточно высок и достигает значения 30–50 %, а удельный тепловой поток, получаемый в коллекторе — 350–580 кВт/м<sup>2</sup>. С учетом возможных потерь среднегодовое количество полезной теплоты на выходе из коллектора равно 150–350 кВт/м<sup>2</sup> [2].

КПД систем с водными гелиоколлекторами, приблизительно, на 8–10 % больше систем с воздушными солнечными коллекторами. Но для водяных коллекторов опасно замерзание теплоносителя и поэтому в качестве рабочего тела следует использовать рабочее тело, представляющим собой смесь воды с различными гликолями.

В последнее время получили развитие новые конструктивные решения для солнечных коллекторов. Среди них особого внимания заслуживают солнечный коллектор патент № 2367581, представляющий собой поглощающую панель солнечных коллекторов с жидким и (или) воздушным теплоносителем.

Данный солнечный коллектор изготавливается из алюминиевого сплава (рисунок 1). Геометрические характеристики 1 м.п. гелиопрофиля следующие:

общая площадь наружной поверхности – 0,370 м<sup>2</sup>;

площадь поглощающей поверхности – 0,150 м<sup>2</sup>;

площадь цилиндрической поверхности – 0,058 м<sup>2</sup>;

площадь трапециидальной поверхности – 0,246 м<sup>2</sup>;

ширина гелиопрофиля – 153 мм.

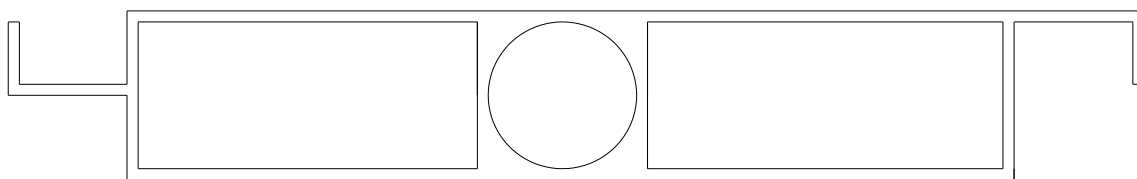


Рис. 1. Общий вид гелиопрофиля

Конструктивные особенности экспериментальной установки изображены на рисунке 2. Экспериментальная установка выполнена в соответствии с ГОСТ 4.189 и предназначена для определения теплотехнических характеристик гелиопрофиля. Она включает в себя рабочий участок, систему подвода тепла, жидкостный контур, воздушный контур и систему измерения режимных параметров. Принципиальная схема установки представлена на рисунке 24. В качестве жидкого теплоносителя при испытаниях

используется вода, в качестве газообразного — воздух.

Рабочий участок представляет собой фрагмент гелиопрофиля длиной 1 м. Он препарирован 15 термопарами, горячие спаи которых зачехлены в тело рабочего участка.

Регулирование подводимой к гелиопрофилю тепловой мощности осуществляется путем изменения электрической мощности нагревателя ЭН2. Нагреватели ЭН1 и ЭН3 служат для изменения температуры теплоносителей на входе в рабочий участок.

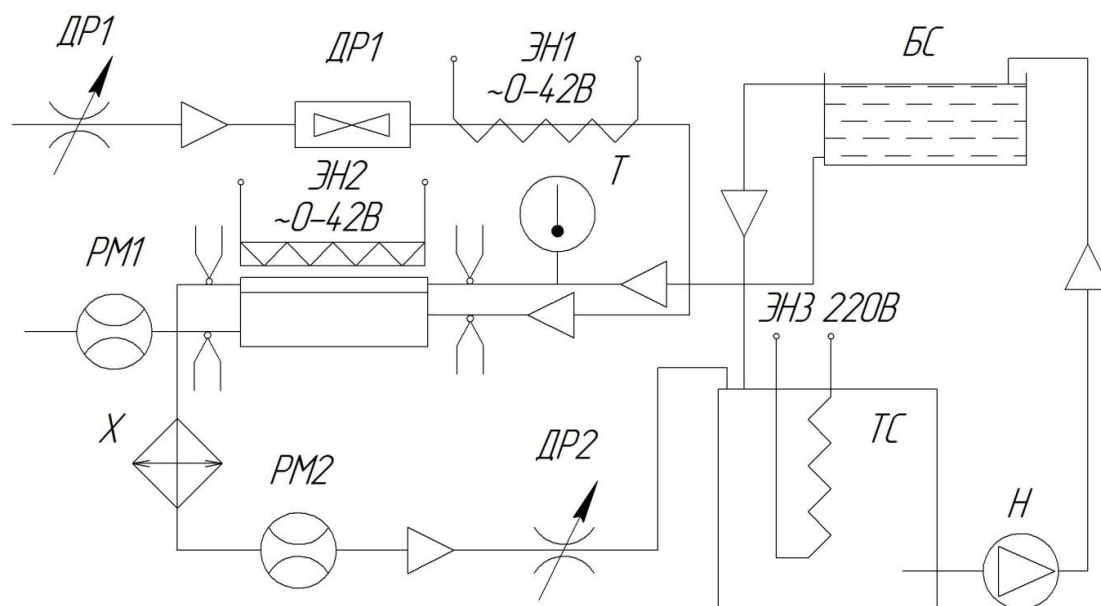


Рис. 2. Пневмогидравлическая схема установки:

БС – бак стабилизирующий; ВР – вентилятор; ДР1, ДР2 – дроссели регулируемые; Н – насос; РМ1, РМ2 – расходомеры; РУ – рабочий участок; Т – термометр; ТП – термопары; ТС – термостат; Х – холодильник; ЭН1, ЭН2, ЭН3 – электронагреватели

Жидкостный контур установки состоит из проточной гидравлической части рабочего участка, термостата ТС, бака стабилизирующего БС, холодильника Х, соединительных трубопроводов и запорно-регулирующей арматуры. Циркуляция воды в жидкостном контуре осуществляется с помощью центробежного насоса Н термостата. Бак БС обеспечивает постоянство давления воды на входе в рабочий участок, что стабилизирует ее расход по контуру. Величина рас-

хода жидкого теплоносителя регулируется дросселем ДР2. Необходимый уровень температуры воды на входе в рабочий участок обеспечивается нагревателем ЭН3 термостата и холодильником Х.

Воздушный контур установки состоит из воздушной проточной части рабочего участка, вентилятора ВР, системы воздухопроводов и дросселя ДР1. Заданный расход воздуха по контуру обеспечивается с помощью вентилятора и дрос-

селя. Необходимая температура воздуха на входе в рабочий участок обеспечивается нагревателем ЭН1.

Система измерений включает в себя датчики замера режимных параметров, приборы коммутации, приборы визуального контроля и блока регистрации. Замер температур поверхности рабочего участка, а также температур воды и воздуха на входе и выходе из рабочего участка осуществляется хромель-копелевыми термопарами ГОСТ 3044.

Кроме того, замер температуры воды на входе в рабочий участок дублируется ртутным термометром ТЛ-4 4Б ТУ 25-2021.003-88.

Расход воды измеряется в соответствии с ГОСТ 8.407 датчиком турбинного типа ТПР1 ГОСТ 6019-83. Расход воздуха в соответствии с ГОСТ 8.361 определяется методом измерения скорости воздушного потока на выходе из проточной части рабочего участка анемометром крыльчатый АСО-3 ГОСТ 6376-74.

В процессе испытаний производятся замеры влажности и температуры окружающего воздуха. Измерение влажности производится психрометром аспирационным М-34 ТУ 5-1607.054-85. Измерение температуры окружающего воздуха проводятся лабораторным ртутным стеклянным термометром ТЛ-4 ТУ 25-2021.003-88.

Блок регистрации измеряемых параметров состоит из:

- мультиплексора;
- трех аналогово-цифровых преобразователей (в качестве четырнадцатиразрядных аналого-цифровых преобразователей использованы вольтметры типа В7-21 со встроенной функцией вывода на специальный разъем показаний измеряемой величины в двоично-десятичном коде);
- модуля сопряжений;
- модуля гальваноразвязки и согласования уровней;
- персонального компьютера типа IBM PC (LPT порт персонального компьютера должен поддерживать расширенный режим работы, то есть возможность передачи данных в обоих направлениях).

Установка для испытаний гелиопрофиля позволяет измерять в соответствии с ГОСТ 8.326 проверенными средствами измерения, с ошибкой не более 5 % при доверительной вероятности 95 %, следующие параметры:

- температуру теплоносителей на входе и выходе из жидкостного и воздушного каналов;
- температуру поверхности гелиопрофиля со стороны теплоподвода с тыльной стороны;
- расход жидкого и воздушного теплоносителей;

- величину тока и напряжения, подводимого к электро-нагревателю ЭН2;
- температуру электронагревателя ЭН2;
- относительную влажность и температуру окружающего воздуха.

При испытаниях рабочий участок при помощи поворотного устройства ориентируется в требуемом положении (горизонтально, вертикально или наклонно под требуемым углом к горизонту).

Уровень теплового потока, подводимый к рабочему участку, обеспечивается электро-нагревателем ЭН2, расположенным над тепло-воспринимающей поверхностью гелиопрофиля.

Расход теплоносителя в гидравлическом контуре экспериментальной установки обеспечивается насосом Н термостата и дросселем ДР3.

Расход теплоносителя в воздушном контуре обеспечивается вентилятором ВР и дросселем ДР1.

Циркуляция в жидкостном и воздушном контурах осуществляется, в зависимости от целей испытаний, попеременно или одновременно.

Температура жидкого теплоносителя на входе в рабочий участок регулируется нагревателем ЭН3 термостата и холодильником Х.

Температура воздуха на входе в рабочий участок регулируется нагревателем ЭН1.

Температура наружных стенок рабочего участка и температура теплоносителей на выходе из его проточных каналов регистрируются после стабилизации расхода теплоносителей в гидравлическом и воздушном контурах.

В процессе испытаний выполняется перебор практически всех возможных комбинаций режимных параметров (более 130 вариантов).

Поверхностные конструкции на базе солнечного коллектора позволяют утилизировать с одного м<sup>2</sup> поверхности 20–690 Вт мощности тепловой энергии от суммарного солнечного излучения за счет применения ультразвукового генератора (УЗГ) [4]. Недостатком данного исследуемого солнечного коллектора явилось то, что отсутствует возможность автоматического отключения УЗГ, а так же отсутствие регулировки интенсивности его работы.

Рабочая температура теплоносителя на выходе из солнечного коллектора составляла +35°C ... +102°C для жидкого теплоносителя в зависимости подводимой мощности и скорости движения теплоносителя, и на выходе из коллектора +20°C ... +60°C для воздуха.

Следует признать, что использование возобновляемых источников энергии в коммунально-бытовом и сельскохозяйственном секторе развивается в нашей стране неудовлетворитель-

но. Эффективность использования возобновляемых источников энергии заметно повышается при подключении к структуре установки теплового насоса [3, 5]. В последнее время как во всем мире, так и в России большое внимание уделяется улучшению схем энергоснабжения с использованием тепловых насосов различного типа и методам их оптимизации [6].

Одна из причин, ограничивающих использование нетрадиционных источников энергии заключается в нестабильности их работы. Отсюда и нестабильность энергетических систем, использующих возобновляемые источники энергии. Поэтому надежные и эффективные системы аккумулирования энергии могут обеспечить не только стабильное энергоснабжение потребителей, но и повысить коэффициент использования энергии. Применение тепловых аккумуляторов позволяет повысить на 25–40 % эффективность использования возобновляемых источников энергии [2].

В системах энергосберегающих технологий наибольшее применение нашли тепловые аккумуляторы с твердым или с жидким теплоаккумулирующим материалом. При этом следует различать системы с кратковременным (суточным) и долгосрочным (сезонным) аккумулированием. Последний вид аккумулирования представляет особый интерес в энергетическом отношении. Учитывая значимость проблемы аккумулирования, ей посвящено немало фундаментальных исследований.

**Выводы.** В ходе проведения исследований была выявлена целесообразность использования УЗГ совместно с устройством регулирующим интенсивность колебаний в зависимости от температуры окружающего воздуха и интенсивно-

сти солнечной радиации. Обнаружено негативное влияние УЗГ при постоянном его включении и низкой подводимой мощности. Это позволило обосновать необходимость разработки устройства автоматической регулировки УЗГ в зависимости от интенсивности солнечной радиации и температуры окружающего воздуха.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Амерханов Р.А., Бутузов В.А., Гарькавый К.А. Вопросы теории и инновационных решений при использовании гелиоэнергетических систем. М. : Энергоатомиздат. 2009. 504с.
2. Амерханов Р.А., Бегдай С.Н. Повышение тепловой эффективности зданий и сооружений с гелиоколлекторами. К. : КубГАУ. 2014. 122с.
3. Амерханов Р.А., Бегдай С.Н. Концепция построения норм для зданий с эффективным использованием энергии // Строительство. 2005. № 5 С. 94–95
4. Weinreich B., Zehner M. Dimensioning aids in practice - a comparison // Sun, Wind Energy. 2009. № 12. P. 88–96.
5. Ertmer K. Expansion tanks and valves specialists abound // Sun, Wind Energy. 2010. № 9. P. 98–102.
6. Попель О.С., Фрид С.Е., Коломиец Ю.Г., Киселева С.В., Терехова Е.Н. Атлас ресурсов солнечной энергии на территории России. М.: Объединенный институт высоких температур РАН. 2010. 86с.
7. Scrosati B., Garche J. Lithium batteries: Status, prospects and future // Journal of Power Sources. 195 (2010), 2419–2430.

---

**Polyakov V.A., Begday S.N.**

### SOLAR COLLECTOR IN THE SYSTEMS OF ENERGY SAVING

*Recently, the problem of the cost of natural raw materials for energy production is becoming ever more acute, due to the rapidly developing rates of construction and the significantly increasing needs of the domestic sector. In this regard, the actual task of the architectural and construction industry of the Krasnodar Territory is the justified implementation of renewable energy sources. On the territory of the Russian Federation, the highest values of solar radiation are observed in the range from 43 to 51 degrees north latitude, while more than half of the territory of the Russian Federation is suitable for the use of solar collectors.*

**Key words:** solar collector, solar collector, solar energy, helio-profile, solar radiation.

---

**Поляков Виктор Алексеевич**, магистрант кафедры электротехники, теплотехники и ВИЭ.  
Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина.  
Адрес: Россия, 350044, Краснодар, ул. Калинина, д. 13.  
E-mail: vikpolyak@mail.ru

**Бегдай Станислав Николаевич**, старший преподаватель кафедры электротехники, теплотехники и ВИЭ.  
Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина.  
Адрес: Россия, 350004, Краснодар, ул. Северная, д. 106.  
E-mail: 219bs@mail.ru

DOI: 10.12737/article\_590878fbc0b915.44188020

Северин Н.Н., д-р пед. наук, проф.,  
Радоуцкий В.Ю., канд. техн. наук, проф.,  
Шаптала В.Г., д-р техн. наук, проф.,  
Шаптала В.В., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА НА ПОЖАРНУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

ShaptalaVadim@yandex.ru

*В статье приведен анализ влияния человеческого фактора на пожарную безопасность образовательного учреждения на основе ее когнитивной модели. Исследована устойчивость когнитивной модели и ее интегральные показатели. Методом импульсного моделирования изучено влияние управляющих факторов на состояние пожарной безопасности образовательного учреждения.*

**Ключевые слова:** человеческий фактор, пожарная безопасность, когнитивная модель.

**Введение.** В последние годы количество пожаров в зданиях учебно-воспитательного назначения образовательных учреждений (ОУ) удерживается на уровне около 0,2 % от числа всех зарегистрированных пожаров, что составляет около 250 пожаров в год [1]. Результаты расследований и пожарно-технической экспертизы показывают, что основной предпосылкой возникновения пожаров в ОУ является человеческий фактор, который присутствует во всех главных причинах возгораний: неосторожное обращение и шалости с огнем, неисправности электрооборудования и аварийные режимы его работы, нарушения правил проведения пожароопасных (огневых) работ, поджоги. Для обеспечения пожарной безопасности (ПБ) создана исчерпывающая нормативно-правовая база [2–5], разработано необходимое методическое обеспечение [6–10], однако реализация положений законодательных и иных нормативно-правовых актов, результатов научных и методических работ в области пожарной безопасности зависит от людей, их профессиональных и личностных качеств.

В связи с этим необходимо дополнение сложившейся организационно-технической системы ПБ социально-общественными мероприятиями, направленными на повышение культуры безопасности людей и формирование их нетерпимого отношения к любым нарушениям требований ПБ на работе и повседневной жизни [11].

Рассмотрим основные группы людей и организации, от которых зависит противопожарная защищенность ОУ. Это прежде всего администрация учебного заведения, поскольку в соответствии с Федеральным законом №69-ФЗ “О пожарной безопасности” [2] персональную ответственность за обеспечение ПБ ОУ несут их руководители, руководители структурных подразделений, руководители инженерно-

технических служб и другие назначенные приказом руководителя ОУ лица, ответственные за противопожарное состояние ОУ.

Обеспечение ПБ ОУ невозможно без активного участия его персонала: преподавателей, сотрудников, технических работников, а также контингента обучающихся. Важная роль в обеспечении строгого соблюдения противопожарного режима в ОУ принадлежит добровольной пожарной дружине (ДПД) и пожарно-технической комиссии (ПТК), которые организуются и утверждаются приказами руководителя ОУ.

Наряду с администрацией учебного заведения, его персоналом и обучающимися большое влияние на состояние ПБ оказывают внешние факторы. К ним относятся органы государственной власти и местного самоуправления, от которых зависит финансовое и материально-техническое обеспечение ПБ, а также реализация первичных мер пожарной безопасности на территории муниципальных образований. Важная роль в организации защиты ОУ от пожаров принадлежит государственному пожарному надзору, который осуществляет профилактическую деятельность по обеспечению ПБ.

Необходимым условием повышения ПБ учебного заведения является обучение населения мерам пожарной безопасности, привлечение граждан, в частности родительской общественности, к борьбе с пожарами.

**Основная часть.** Поведение и взаимодействие отмеченных выше групп людей и организаций, участвующих в обеспечении ПБ, имеет сложный, нечеткий, а иногда и противоречивый характер, поскольку является статистическим результатом многих поведенческих актов. Эти особенности деятельности по обеспечению ПБ затрудняют выбор эффективных управленческих решений. В таких недостаточно опреде-

ленных и трудно формализуемых ситуациях целесообразно применение методов когнитивного моделирования [12]. Рассмотрим когнитивную модель влияния различных аспектов человеческого фактора на состояние ПБ образовательного учреждения. Первым шагом построения этой модели является выделение ее основных элементов (концептов) – носителей человеческого фактора. К ним относятся: администрация ОУ ( $C_1$ ), органы государственной власти и местного самоуправления ( $C_2$ ), государственный пожарный надзор ( $C_3$ ), персонал ОУ ( $C_4$ ), обучающиеся в учебном заведении ( $C_5$ ), население муниципального образования, включающее в себя родительскую общественность ( $C_6$ ). Все эти концепты (факторы) взаимодействуют между собой и оказывают влияние на целевой концепт ( $C_7$ ) – состояние пожарной безопасности учебного заведения. Факторы  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3$  являются управляющими, факторы  $C_4$ ,  $C_5$  и  $C_6$ , относящиеся к группам людей, которые чаще других прямо или косвенно причастны к возникновению возгораний и пожаров, являются стабилизирующими.

Для количественного анализа отношений между факторами модели каждому из них ставится в соответствие количественная переменная состояния  $\{X_1, X_2, \dots, X_7\}$ . Количественным показателем  $X_1$  эффективности работы администрации ОУ может быть отношение числа реализуемых документов и мероприятий в области ПБ к общему количеству документов и мероприятий, подлежащих исполнению согласно нормативно-правовым документам [2-5]. Аналогично можно оценить эффективность деятельности органов государственной власти и местного самоуправления по относительной доле  $X_2$  первичных мер пожарной безопасности, реализуемых на территории муниципального образования [13]. Количественная оценка эффективности деятельности ГПН осуществляется по специальной методике [14]. Применительно к ОУ в качестве показателя  $X_3$  эффективности работы ГПН может быть принята доля выполнения мероприятий, назначенных в актах проверок соблюдения требований ПБ и предписаниях ГПН. Степень стабилизирующего влияния на состояние ПБ со стороны персонала, обучающихся и населения можно выразить относительными долями  $X_4$ ,  $X_5$  и  $X_6$  лиц, неукоснительно соблюдающих требования ПБ. В качестве переменной состояния системы ПБ должна быть принята степень соответствия ОУ требованиям пожарной безопасности. Количественным показателем этого соответствия  $X_7$  может служить относительная доля структурных подразделений ОУ, отвечающих требованиям ПБ.

Следующим шагом построения когнитивной модели является определение знака и силы причинно-следственных отношений между каждой парой концептов. Если увеличение (уменьшение) переменной состояния концепта  $C_i$  приводит к увеличению (уменьшению) переменной состояния концепта  $C_j$ , то связь между ними положительна. Если же изменения состояния фактора-причины вызывает изменения фактора-следствия противоположного характера, то связь между ними считается отрицательной. Рассмотрим особенности формирования основных причинно-следственных связей при обеспечении ПБ учебного заведения. Наибольшее положительное влияние на противопожарную защищенность ОУ (концепт  $C_7$ ) может и обязана оказывать его администрация, поддерживая в надлежащем состоянии материально-техническую базу ПБ и контролируя строгое соблюдение правил противопожарного режима. Своевременное и качественное проведение администрации ОУ ( $C_1$ ) противопожарных мероприятий с привлечением родительской общественности будет способствовать более ответственному отношению к выполнению требований ПБ не только персонала ( $C_4$ ) и обучающихся ( $C_5$ ), но и населения муниципального образования в целом ( $C_6$ ). Органы государственной власти и местного самоуправления ( $C_2$ ) способствуют повышению пожарной безопасности ОУ путем оказания им материально-технической поддержки и реализации первичных мер пожарной безопасности на территории муниципального района, что приводит к снижению числа нарушений требований ПБ со стороны персонала, обучающихся и населения. Государственный пожарный надзор ( $C_3$ ) в результате своей надзорно-профилактической и информационно-пропагандистской работы способствует повышению эффективности деятельности администрации ОУ и снижению количества нарушений обязательных требований ПБ со стороны персонала ОУ, обучающихся и населения. Повышение ответственности и культуры пожарной безопасности населения ( $C_6$ ) приводит к увеличению доли лиц, соблюдающих правила противопожарного режима среди персонала ОУ ( $C_4$ ) и обучающихся ( $C_5$ ). Улучшение состояния пожарной безопасности ОУ нередко вызывает ослабление контроля за соблюдением противопожарного режима со стороны администрации, поэтому следует предусмотреть отрицательную обратную связь между концептами  $C_7$  и  $C_1$ . Лингвистические оценки этих отношений, найденные по результатам анализа экспертной информации, отображались на интервал  $[-1;1]$  в виде

числовых значений (весов) связей между факторами.

Когнитивная модель системы ПБ может быть наглядно представлена в виде ориентиро-

ванного взвешенного графа – нечеткой когнитивной карты [12]. Вершины графа – факторы, определяющие ПБ, а дуги – причинно-следственные отношения между ним (рис. 1).

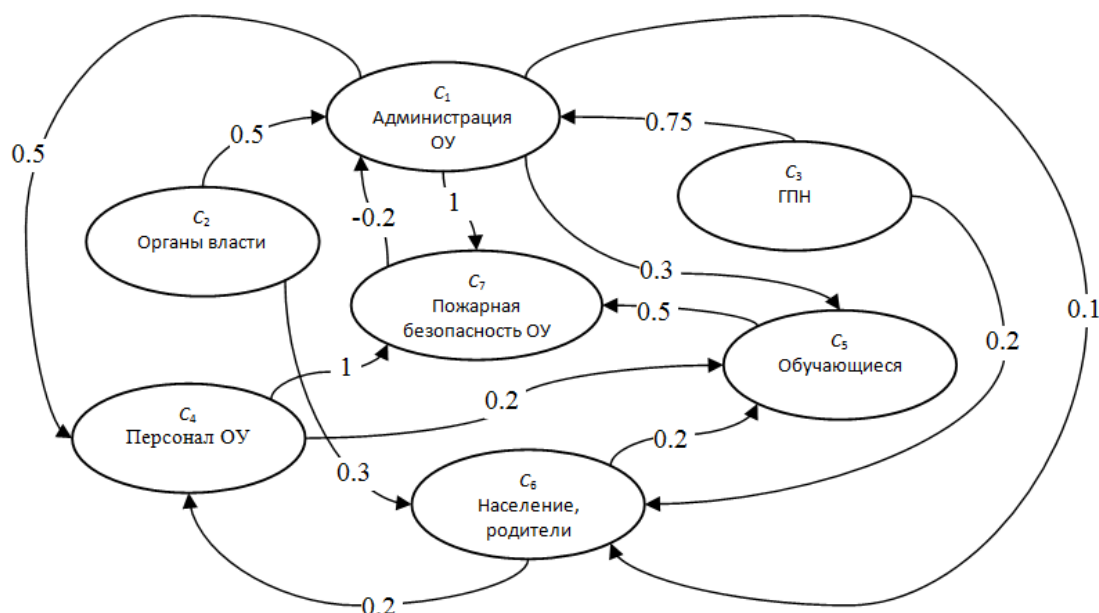


Рис. 2. Нечеткая когнитивная карта влияния человеческого фактора на пожарную безопасность образовательного учреждения

Значения причинно-следственных связей между концептами, т.е. веса дуг когнитивной карты, образуют матрицу смежности ее вершин

$W = \|w_{ij}\|$ , в которой каждый элемент матрицы  $w_{ij}$  определяет характер и силу влияния фактора  $C_i$  на фактор  $C_j$  (табл. 1).

Таблица 1

Матрица смежности вершин когнитивной карты

|               | Администрация | Власть | ГПН | Персонал | Обучающиеся | Население | ПБ ОУ |
|---------------|---------------|--------|-----|----------|-------------|-----------|-------|
| Администрация | 0             | 0      | 0   | 0,5      | 0,3         | 0,1       | 1     |
| Власть        | 0,5           | 0      | 0   | 0        | 0           | 0,3       | 0     |
| ГПН           | 0,75          | 0      | 0   | 0        | 0           | 0,2       | 0     |
| Персонал      | 0             | 0      | 0   | 0        | 0,2         | 0         | 1     |
| Обучающиеся   | 0             | 0      | 0   | 0        | 0           | 0         | 0,5   |
| Население     | 0             | 0      | 0   | 0,2      | 0,2         | 0         | 0     |
| ПБ ОУ         | -0,2          | 0      | 0   | 0        | 0           | 0         | 0     |

Для реализации когнитивного моделирования разработана компьютерная программа, с помощью которой найдены интегральные пока-

затели влияния концептов на систему и системы на концепты (таблица 2).

Таблица 2

Интегральные показатели влияния концептов на систему и системы на концепты

| Концепты                | Показатели влияния концептов на систему | Показатели влияния системы на концепты |
|-------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| Администрация ОУ        | 0,24                                    | 0,07                                   |
| Органы власти           | 0,24                                    | 0                                      |
| ГПН                     | 0,33                                    | 0                                      |
| Персонал ОУ             | 0,13                                    | 0,15                                   |
| Обучающиеся             | 0,04                                    | 0,14                                   |
| Население               | 0,08                                    | 0,07                                   |
| Состояние системы ПБ ОУ | -0,08                                   | 0,54                                   |



Из таблицы 2 следует, что наибольшее положительное влияние на состояние ПБ ОУ оказывает государственный пожарный надзор (концепт  $C_3$ ), следующими по степени положительного влияния являются администрация ОУ и органы власти (концепты  $C_1$  и  $C_2$ ). Существенное влияние на защищенность ОУ от пожаров оказывает персонал ( $C_4$ ), а также население муниципального образования, включающее в себя все группы людей, причастных к обеспечению пожарной безопасности ОУ. Состояние самой же системы ПБ оказывает значительное положительное влияние на соблюдение правил противопожарного режима персоналом и обучающимися.

Когнитивная модель позволяет рассчитать относительное изменение показателя состояния

пожарной безопасности при заданных относительных изменениях управляющих факторов.

К примеру, при улучшении показателей деятельности всех трех управляющих факторов: администрации ОУ, органов власти и ГПН на 10 % показатель соответствия ОУ требованиям пожарной безопасности в течение трех шагов моделирования резко возрастает на 38 %, а затем в режиме затухающих колебаний стабилизируется на уровне, превышающем исходный на 30 % (рис. 2). Эффективность работы администрации ОУ в таком же режиме увеличивается на 16 % против начального увеличения на 10 % – сказывается синергетический эффект комплексного влияния управляющих воздействий.

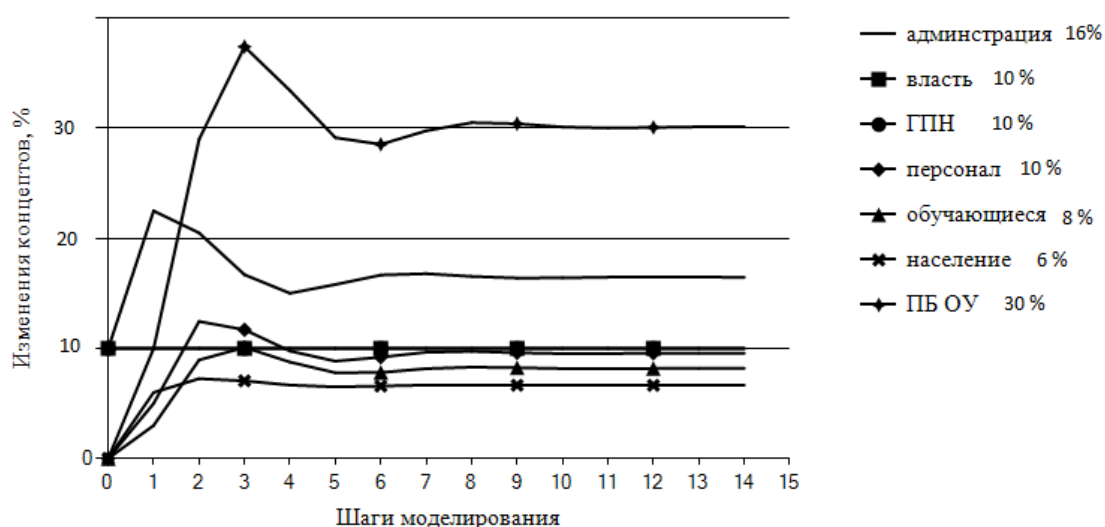


Рис. 2. Изменение состояния пожарной безопасности образовательного учреждения в результате управляющих воздействий

Существенное улучшение состояния пожарной безопасности учебного заведения достигается также вследствие повышения относительной доли лиц строго соблюдающих требования ПБ среди обучающихся (8 %), персонала (10 %) и населения (6 %).

Рассмотренная выше когнитивная модель построена на основе субъективных экспертных знаний, поэтому носит в определенной мере гипотетический характер. Путем сравнения результатов моделирования с реальными ситуациями можно проверить адекватность модели и при необходимости повысить ее достоверность путем изменения структуры модели и связи между ее факторами [15].

**Вывод.** Когнитивная модель влияния различных аспектов человеческого фактора систему противопожарной защиты является эффективным средством поддержки принятия управленческих решений, направленных на повышение пожарной безопасности

образовательных учреждений.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Статистика пожаров РФ 2016 [Электронный документ] <http://wiki-fire.org> (дата обращения 16.03.2017).
2. Федеральный закон от 22.07.08 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [Электронный документ] Доступ из СПС «КосультантПлюс».
3. Федеральный закон от 21.12.94 № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» [Электронный документ] Доступ из СПС «КосультантПлюс».
4. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации (ППБ 01-03). [Электронный документ] Доступ из СПС «КосультантПлюс».
5. Правила противопожарного режима в РФ (утвержден постановлением РФ от 25.04.2012. №390 с изменениями на 6.04.2016 г.). [Электронный документ] Доступ из СПС

“КосультантПлюс”.

6. Шаптала В.Г., Радоуцкий В.Ю., Добровольский В.С., Овечкин А.Н. Моделирование систем комплексной безопасности высших учебных заведений. Белгород: ООО “Планета-Полиграф”, 2009, 130 с.

7. Радоуцкий В.Ю., Северин Н.Н., Шульженко В.Н., Шаптала В.Г., Ветрова Ю.В. Пожарная безопасность. Состояние, перспективы. Белгород: ООО “Планета-Полиграф”, 2010, 150 с.

8. Шаптала В.Г., Радоуцкий В.Ю., Шаптала В.В. Основы моделирования чрезвычайных ситуаций. Белгород: Изд-во БГТУ, 2010, 166 с.

9. Шаптала В.Г., Радоуцкий В.Ю., Ветрова Ю.В. Системы управления рисками чрезвычайных ситуаций. ООО “Планета-Полиграф”, 2010, 164 с.

10. Радоуцкий В.Ю., Шаптала В.Г., Ветрова Ю.В. Управление комплексной безопасностью высших учебных заведений. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013, 128 с.

11. Зарецкий А.Д. Менеджмент пожарной безопасности технологических процессов: учебное пособие. Краснодар: КСЭИ, 2011. 278 с.

12. Робертс Ф.С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экономическим задачам. М. Наука, 1986. 496с.

13. Фомин А.В., Тужиков Е.Н. Экспертный метод оценки деятельности органов местного самоуправления по реализации первичных мер пожарной безопасности // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. 2012 №2. С. 27-34.

14. Приказ МЧС России от 7 декабря 2005 г. № 876. “О критериях (показателях) деятельности органов государственного пожарного надзора” (в ред. от 20.06.2006).

15. Кулинич А.А. Верификация качественных математических моделей. Материалы Второй международной конф. «Системный анализ и информационные технологии», Обнинск, 2007. М., 2007. Т.1. С.35-38.

---

**Severin N.N., Radautsky V.Yu., Shaptala V.G., Shaptala V.V.**

## **EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE HUMAN FACTOR ON THE FIRE SAFETY OF EDUCATIONAL INSTITUTIONS**

*The article analyzes the influence of the human factor on the fire safety of an educational institution on the basis of its cognitive model. The stability of the cognitive model and its integral indicators are studied. Impulse modeling was used to study the influence of controlling factors on the fire safety of an educational institution.*

**Key words:** human factor, fire safety, cognitive model.

---

**Северин Николай Николаевич**, доктор педагогических наук, профессор кафедры Защиты в чрезвычайных ситуациях.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

E-mail: zchs@intbel.ru

**Радоуцкий Владимир Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры Защиты в чрезвычайных ситуациях.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

E-mail: zchs@intbel.ru

**Шаптала Владимир Григорьевич**, доктор технических наук, профессор кафедры высшей математики.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

E-mail: zchs@intbel.ru

**Шаптала Вадим Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

E-mail: zchs@intbel.ru

Сафина Г.Л., канд. техн. наук, доц.,  
Галагуз Ю.П., ст.пр.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

## АНАЛИЗ ТЕСТИРОВАНИЯ ПО МАТЕМАТИКЕ

minkinag@mail.ru

Тестирование является одной из основных форм проверки знаний учащихся. В сфере образования используют тестовые задания двух типов: открытого типа, когда испытуемый предлагает свой ответ, и закрытого типа, когда каждый вопрос сопровождается ответами, и испытуемый выбирает из них либо один, либо несколько правильных. Статья посвящена моделированию уровня математических знаний студентов Московского государственного строительного университета на основе результатов тестирования с использованием специальной программы формирования тестов. Проводится сравнительный анализ результатов, полученных в ходе применения тестовых заданий открытого и закрытого типов. Получена оценка относительной сложности тестовых заданий открытого и закрытого типа, при этом сделан вывод о ее неизменности в зависимости от типа тестовых заданий. Сформулированы методические рекомендации по проведению тестирования студентов и преподаванию математической дисциплины.

**Ключевые слова:** педагогический тест, формирование тестов, моделирование уровня знаний, задания закрытого и открытого типа, математические дисциплины.

**Введение.** В настоящее время педагогические тесты становятся одной из основных форм контроля знаний студентов ВУЗов. Они позволяют получить объективную информацию о степени владения студентом учебного материала и соотнести эти данные с задачами обучения с целью своевременной коррекции процесса обучения.

Педагогический тест представляет собой совокупность тестовых заданий, которая дает возможность качественно и эффективно оценить уровень и структуру подготовленности испытуемых [1, 2]. По целям использования таких тестов их можно разделить на два больших класса – нормативно-ориентированные и критериально-ориентированные [3, 4]. Первый тип тестов позволяет ранжировать испытуемых по уровню знаний, сопоставлять успехи испытуемых в области изучения той или иной дисциплины. Второй тип тестов представляет собой систему заданий, позволяющую оценить, насколько хорошо испытуемый усвоил пройденный учебный материал [5].

В работе проводится математическое моделирование результатов тестирования по математике студентов первого курса МГСУ. Анализ выполнения теста позволяет оценить как степень усвоения испытуемыми материала учебной дисциплины, так и пригодность конкретного теста для измерения знаний учащихся [6–10].

### Структура и условия выполнения теста.

Тестирование проводилось по теме «Введение в математический анализ. Пределы» для девяти групп студентов-первокурсников МГСУ: студенты первых шести групп обучаются по программе бакалавриата по направлению 38.03.01

«Экономика» и остальных трех – по специальности 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника». Первые три группы потока экономистов образовали испытуемую группу А, другие три – группу В, а студенты системотехники – группу С. Все девять групп обучаются по сходным программам дисциплины с единообразной методикой проведения практических занятий, но уровень знаний школьной математики студентов, специализирующихся на информатике и вычислительной технике, гораздо выше.

Тест состоит из 20 заданий. При подготовке теста преподаватели кафедры информатики и прикладной математики МГСУ составили по 30 различных однотипных задач для каждого из 20 заданий теста. Затем оригинальная авторская программа [11] сформировала уникальные наборы тестовых заданий для каждого испытуемого. Программа позволяет генерировать тесты закрытого и открытого типа. Тест проводился в письменном «бумажном» виде. Это несколько усложняет проверку работ преподавателями, но позволяет проверять открытые задания, в которых форма записи ответа не регламентирована.

Для группы испытуемых А тест проводился в открытой форме, т. е. в заданиях отсутствовал список ответов, студенты должны были самостоятельно решить задачу и записать полученный ответ. Студенты из групп В и С выполняли тест из закрытых заданий, в каждом из которых необходимо было выбрать один правильный ответ из имеющихся пяти. Продолжительность написания теста для каждой группы составила 90 минут. При оценке тестовых заданий использовалась дихотомическая оценка тестирования,

т. е.  $\{0, 1\}$ , где 0 – задание выполнено неправильно, 1 – задание выполнено правильно.

Очевидным недостатком тестов закрытого типа является возможность случайного угадывания верного ответа. Для минимизации угадывания при проведении данного тестирования от студентов требовалось не только указать верный ответ, но и предъявить письменное решение задачи. Качество и форма записи текста решения не оценивались, но при его отсутствии тестовое задание не засчитывалось. Вопросы, связанные с оценкой влияния угадывания на итоговый балл теста, подробно исследуются в [12-14].

**Анализ результатов тестирования.** Результаты выполнения теста обрабатывались таб-

личным процессором Excel. На рисунках 1 и 2 представлены гистограммы распределения набранных баллов студентами из групп А и В (по горизонтальной оси – количество набранных баллов, по вертикальной – количество студентов). Видно, что наиболее часто встречающееся количество баллов в группе А равно 6, а в группе В – 10. При этом в группе А менее 20 % студентов верно решили более половины заданий, в то время как в группе В таких студентов около 70 %. Это означает, что студентам-экономистам легче выполнять тест с заданиями закрытого типа, в которых имеются варианты ответов.

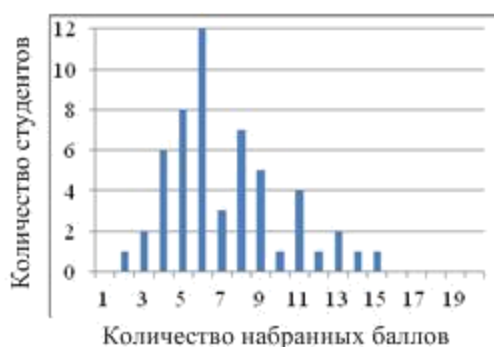


Рис. 1. Распределение баллов студентов группы А

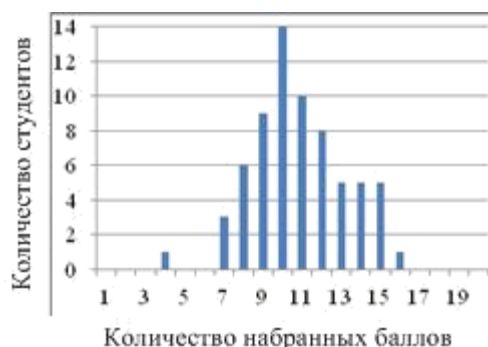


Рис. 2. Распределение баллов студентов группы В

На рисунках 3 и 4 представлены гистограммы правильно решенных заданий студентами групп А и В (по горизонтальной оси – номер задания, по вертикальной – количество студентов, верно решивших задание). Видно, что распределения для обеих групп имеют схожий вид,

при этом коэффициент корреляции верно решенных задач студентами двух групп равен 0,94. Следовательно, относительная сложность задачи не зависит от типа задания, то есть от того, предъявлены ли студенту варианты ответов или нет.

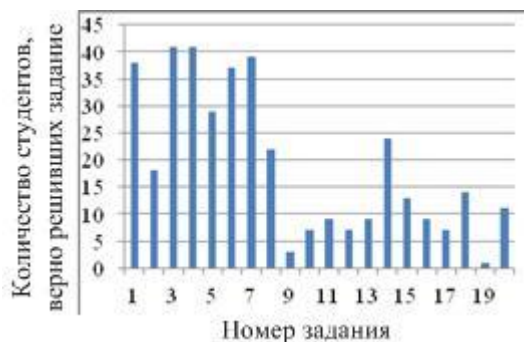


Рис. 3. Распределение правильно решенных заданий в группе А

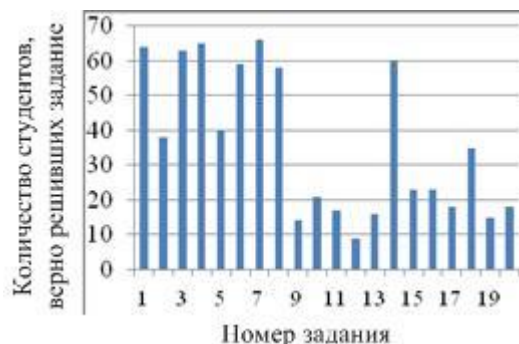


Рис. 4. Распределение правильно решенных заданий в группе В

Аналогичные гистограммы распределения баллов и правильно решенных заданий для группы С приводятся на рис. 5 и рис. 6. соответственно. Большинство испытуемых этой группы набрали 13 баллов, при этом около 80 % студентов правильно решили более половины заданий. Сравнение результатов выполнения закрытого теста группами В и С позволяет сделать вывод, что студенты группы С имеют лучшие знания по

математике, чем студенты-экономисты группы В. Распределение набранных баллов студентов, специализирующихся на информатике и вычислительной технике, приблизительно такое же, как и у студентов-экономистов. Коэффициент корреляции правильно решенных заданий группы С с группой А равен 0,9, у группы С с группой В – 0,89.



Рис. 5. Распределение баллов студентов группы С

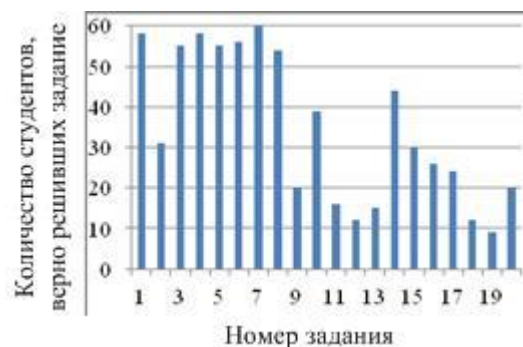


Рис. 6. Распределение правильно решенных заданий в группе С

В начале первого семестра студенты всех девяти групп писали тест по элементарной математике, который содержал 20 заданий открытого типа и охватывал все разделы школьной математики [15]. В таблице 1 приведены сред-

ние баллы теста «Введение в математический анализ. Пределы», а также коэффициенты корреляции с баллом ЕГЭ и с баллом теста по элементарной математике.

Таблица 1

Статистические характеристики теста

|          | Средний балл теста | Коэффициент корреляции с баллом ЕГЭ | Коэффициент корреляции с баллом теста по элементарной математике |
|----------|--------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Группа А | 7,2                | 0,35                                | 0,46                                                             |
| Группа В | 10,4               | 0,37                                | 0,38                                                             |
| Группа С | 11,5               | 0,37                                | 0,59                                                             |

Сравним результаты тестирования групп В и С, которые писали закрытый тест с предъявленными вариантами ответов. Средний тестовый балл в группе С выше, чем в группе В, т.е. уровень знаний и умений студентов экономических специальностей ниже уровня знаний студентов, специализирующихся на вычислительной технике. У студентов группы А средний балл самый низкий. Слабая корреляция с баллом ЕГЭ у всех трех групп объясняется тем, что в университете иная методика обучения, студентам в первое время тяжело адаптироваться к новой обстановке, к тому же в школе к ЕГЭ их «натаскивают» в течение двух лет, решая одни и те же однотипные задачи, в то время как в университете тему «Пределы» изучают в течение одного месяца.

**Заключение.** Сформулируем итоги моделирования и анализа результатов выполнения теста по теме «Введение в математический анализ. Пределы».

1. Получена оценка относительной сложности тестовых заданий открытого и закрытого типа. Наиболее сложным оказался тест открытого типа, который выполняли студенты экономических специальностей, средний балл которых составил 7,2. Самый лучший результат показали студенты, специализирующиеся на вычислительной технике, получившие в среднем 11,5

балла. У экономистов, выполнявших тест в закрытой форме, средний бал оказался немного меньшим и равным 10,4. Сравнение средних баллов в группах А и В позволяет количественно оценить усложнение одного и того же тестового задания при изменении его типа: около 3 баллов на тест или около 0,15 балла на одно задание. Отметим, что подобная оценка может существенно измениться при тестировании других групп по иным разделам и дисциплинам, данный вопрос требует отдельного тщательного исследования.

2. Сделан вывод о неизменности относительной сложности задач независимо от того, тест открытого или закрытого типа выполняют студенты.

3. По итогам теста сформулированы методические рекомендации по тестированию студентов и преподаванию учебной дисциплины «Математика». Во-первых, целесообразно студентам-экономистам выдавать тест закрытого типа, чтоб средний балл испытуемых был около  $N/2$ , где  $N$  – количество заданий в тесте. Это важно для установления адекватного порога успешного прохождения теста и ранжирования знаний студентов. Во-вторых, в результате анализа содержания тестовых заданий, оказавшихся наиболее сложными, выяснилось, что хуже всего испытуемые решают задачи, требующие зна-

ния свойств элементарных функций. Именно на эту тему нужно обратить особое внимание при повторении школьной математики на первых занятиях.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ким В.С. Тестирование учебных достижений. Усурийск: УГПИ, 2007. 214 с.
2. Аванесов В.С. Форма тестовых заданий. М.: Центр тестирования, 2005. 156 с.
3. Вилфорд Д. Современная типология педагогических тестов. Информационный бюллетень «Тесты в образовании», 1999, вып.1. 66
4. Berk R.A. Criterion-referenced measurement: The state of art. Baltimor, MD: Johns Hopkins University Press, 1980.
5. Keeves J.P. (Ed.) Educational Research, Methodology and Measurement: An International Handbook. Oxford: Pergamon press, 1988.
6. Переверзев В. Ю. Критериально-ориентированное педагогическое тестирование: Учеб. пособие. М.: Логос, 2003.
7. Сафина Г.Л., Осипов Ю.В., Керимова Д.Х., Красовская И.А. Полуавтоматическая система тестирования по математике // Открытое и дистанционное образование. 2015. № 2 (58). С. 56–62.
8. Duncan K.A., MacEachern S.N. Nonparametric Bayesian modelling for item response // Statistical Modelling. 2008. Vol. 8. No. 1. P. 41–66.
9. Кирьяков Б.С. Статистическая модель многократного тестирования учащихся // Вестник Рязанского государственного университета имени С.А. Есенина. 2008. № 1/18. С. 3–23.
10. Liang L., Browne M. W. A Quasi-Parametric Method for Fitting Flexible Item Response Functions // Journal of Educational and Behavioral Statistics. 2015. Vol. 40. P. 5–34.
11. Захаров А.А. Количественные и структурные характеристики комплексных тестовых композиций, сформированных на основе бинома Ньютона // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2004. № 1. С. 19–24.
12. Fujimoto K.A., Karabatsos G. Dependent Dirichlet Process Rating Model Applied Psychological Measurement. 2014. Vol. 38. P. 217–228.
13. Кузьмина Л.И., Осипов Ю.В. Коррекция тестовых баллов с учетом отказов от угадывания // Alma-mater (Вестник высшей школы). 2014. № 12. С. 85–91.
14. Ким В.С. Коррекция тестовых баллов на угадывание. // Педагогические измерения. 2006. №4. С. 47–55.
15. Кроммер В.В. Еще раз о коррекции тестовых баллов. // Педагогические измерения. 2007. № 1. С. 89–94.
16. Кузьмина Л.И., Осипов Ю.В. О тестировании студентов по «школьной» математике // Качество. Инновации. Образование. 2014. № 12. С. 3–7.

**Safina G.L., Galaguz Yu.P.**

### ANALYSIS OF TESTING IN MATHEMATICS

*Testing is one of the main forms of checking of students knowledge. In education two types of test items are used: an open type, when the examinee offers his answer, and a closed type, when each question is accompanied by answers, and the examinee chooses either one or several correct ones. The article is devoted to modeling of the level of mathematical knowledge of students of the Moscow State University of Civil Engineering on the basis of testing results with usage of a special program for tests generation. A comparative analysis of the results obtained during the usage of open and closed types of test items is carried out. The estimation of relative complexity of open and closed type of test items is obtained, the conclusion about its invariance depending on type of the test items is made. The methodological recommendations on the testing of students and the teaching of mathematical discipline are formulated.*

**Key words:** pedagogical test, generation of tests, modeling of the level of knowledge, open and closed forms of items, mathematical disciplines.

**Сафина Галина Леонидовна**, кандидат технических наук, доцент

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, кафедра прикладной математики

Адрес: Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

E-mail: minkinag@mail.ru

**Галагуз Юрий Петрович**, старший преподаватель.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, кафедра прикладной математики

Адрес: Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

E-mail: coneil@mail.ru



Литвинов Д.А., аспирант  
Воронежский государственный университет

## О ПОСТРОЕНИИ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ЛИНЕЙНЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

d77013378@yandex.ru

Рассматривается задача построения линейной обратной связи по состоянию для линейной динамической системы методом разложения в ряд матрицы, заданной параметрически, и дальнейшего решения необходимых уравнений. Для решения уравнений используется метод минимизации специальной функции. Приводится практический пример использования данного метода для поиска матрицы обратной связи, позволяющей корректировать управление движением самолета в зависимости от его состояния в реальном времени.

**Ключевые слова:** линейная динамическая система, управление, обратная связь, матрица обратной связи, матричная экспонента, численное нахождение минимума функции, самолет с вертикальным взлетом и посадкой.

**1. Введение** Один из подходов к проблеме построения управления связан с идеей обратной связи. Управление не выбирается заранее, а корректируется в каждый текущий момент на основании информации о состоянии системы. Обратная связь - это процесс передачи информации о состоянии объекта управления управляющему объекту. Одним из способов построения обратной связи для линейной динамической системы является построение с помощью матрицы обратной связи. Выбор управления в форме функции от состояния и момента времени называется синтезом управления  $u = \varphi(x, t)$ . Однако в общем случае после выбора управления в таком виде уравнение состояния становится нелинейным и нестационарным. Поэтому мы ограничимся линейной статической обратной связью по состоянию  $u = Kx$ , которая к тому же обеспечивает наилучшее значение критерия оптимальности в классе любых управлений [2, 3].

Данным вопросом занимались многие ученые. Например, в работах [1, 2, 3] строится матрица обратной связи путем решения линейных матричных неравенств для задачи стабилизации состояния системы. Стабилизация, а именно - придание функции состояния системы асимптотической устойчивости, также рассматривалась и в работах [4, 5, 6], в которых авторы помимо решения данной задачи ставят еще вопрос о разреженности матрицы обратной связи, т.е. требования наличия у вектора управления  $u(t)$  как можно большего количества нулевых компонент.

В данной работе решается вопрос перевода состояния системы из начальной точки в конечную с помощью обратной связи методом,

отличным от описанного в [1, 2, 3], а именно с помощью матричных рядов. Более того здесь рассматривается технология проверки конечной точки  $x(T)$  на возможность перехода в нее из начальной точки  $x(0)$  с помощью управления, синтезированного методом обратной связи. Такой переход можно осуществить далеко не во всякую точку  $x(T)$ . Например в работах [2, 3] показано, что из любой точки  $x(0)$  невозможно перейти в 0 за конечное время  $T$ . Также здесь решается задача проверки допустимого диапазона краевых значений на существование внутри него точки, в которую можно осуществить переход методом обратной связи.

**2. Постановка задачи** Для полностью управляемой динамической системы

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad (1)$$

где  $x \in R^n, u \in R^m$ ,  $A$  и  $B$  - постоянные матрицы соответствующих размеров,  $t \in [0, T]$ , ставится задача построения такой постоянной матрицы  $K$ , что существует управляющая вектор-функция  $u(t)$  и функция состояния (траектория) системы  $x(t)$ , удовлетворяющие уравнению (1) и следующим условиям:

$$x(0) = x_0, x(T) = x_T, \quad (2)$$

и

$$u(t) = Kx(t), \forall t \in [0, T]. \quad (3)$$

Такое управление  $u(t)$  называют управлением с обратной связью, а матрица  $K$  называется матрицей обратной связи.

Более того, требуется найти ограничения на  $x_0$  и  $x_T$ , достаточные для разрешимости поставленной выше задачи.

Подставив (3) в (1), сделаем замену



$$M = A + BK \quad (M : n \times n). \quad (4)$$

### 3. Предварительные сведения

Исследование опирается на следующие свойства отображений (отображения и соответствующие им матрицы обозначаются одинаково).

Отображению  $B$  с прямоугольной матрицей  $m \times n$  соответствуют следующие разложения пространств в прямые суммы:

$$R^n = \text{Ker}B + \text{Coim}B, \quad R^m = \text{Coker}B + \text{Im}B \quad (5)$$

где

$\text{Ker}B$  – ядро  $B$ , то есть множество решений уравнения  $Bz = 0$ ;

$\text{Coim}B$  – прямое дополнение к  $\text{Ker}B$  в  $R^n$ ;

$\text{Im}B$  – образ  $B$ , то есть множество значений  $B$ ;

$\text{Coker}B$  – прямое дополнение к  $\text{Im}B$  в  $R^m$ , то есть дефектное подпространство для  $B$ .

Сужение  $\tilde{B}$  отображения  $B$  на  $\text{Coim}B$  обратимо.

Проекторы на  $\text{Ker}B$  и  $\text{Coker}B$ , отвечающие разложению (5), обозначаются через  $P$  и  $Q$  соответственно. Вводится называемое полуобратным отображение  $B^- = \tilde{B}^{-1}(I - Q)$ , где  $I$  – единичное отображение в соответствующем пространстве.

Известен следующий результат [7].

*Лемма.*

*Соотношение*

$$Bz = w, \quad w \in R^m, \quad z \in R^n, \quad (6)$$

эквивалентно системе

$$Qw = 0, \quad (7)$$

$$z = B^-w + Pz, \quad (8)$$

где  $Pz$  – произвольный элемент из пространства  $\text{Ker}B$ .

### 4. Решение поставленной задачи.

Переформулируем задачу. Требуется найти такую связь между  $x_0$  и  $x_T$ , что решение  $x(t)$  задачи Коши для дифференциального уравнения  $\dot{x}(t) = Mx(t)$ ,  $(9)$

с условием

$$x(0) = x_0, \quad (10)$$

удовлетворяет условию

$$x(T) = x_T. \quad (11)$$

Задача Коши (9), (10) имеет решение

$$x(t) = \exp(tM) \cdot x_0, \quad (12)$$

где

$$\exp(tM) = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{t^i M^i}{i!}. \quad (13)$$

Подставив  $t = T$  в (12), получим условие для выполнения (11):

$$\exp(TM) \cdot x_0 = x_T. \quad (14)$$

Рассмотрим уравнение для нахождения матрицы  $K$ :

$$BK = M - A, \quad (15)$$

следующее из (4).

*Вариант 1.* Матрица  $B$  – обратима.

Тогда

$$K = B^{-1}(M - A). \quad (16)$$

В качестве  $M$  возьмем матрицу

$$\frac{1}{T} \begin{pmatrix} \ln\left(\frac{x_{T1}}{x_{01}}\right) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \ln\left(\frac{x_{T2}}{x_{02}}\right) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \ln\left(\frac{x_{Tn}}{x_{0n}}\right) \end{pmatrix}. \quad (17)$$

Единственным требованием на связь между компонентами краевых значений здесь будет

требование  $\frac{x_{Ti}}{x_{0i}} > 0, \quad i: \overline{1..n}$ .

Докажем, что матрица (17) удовлетворяет условию (14). Построив ряд (13) для показанной матрицы  $M$ , получим

$$e^{TM} = \begin{pmatrix} \frac{x_{T1}}{x_{01}} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{x_{T2}}{x_{02}} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{x_{Tn}}{x_{0n}} \end{pmatrix}, \quad (18)$$

откуда очевидно следует выполнение условия (14). Используя найденную матрицу  $M$ , из (16) находим  $K$ .

*Вариант 2.* Матрица  $B$  не обратима.

Тогда необходимым и достаточным условием разрешимости (15) будет условие

$$Q(B)(M - A) = 0. \quad (19)$$

Для разрешимости уравнения (19) необходимо и достаточно, чтобы

$$M - A \in \text{Im}B \Leftrightarrow M - A = (I - Q(B))L$$

$(\forall L : n \times n)$ .

Это эквивалентно тому, что

$$M = A + (I - Q(B))L. \quad (20)$$

Тогда

$$K = B^{-1}(M - A) + P_B L_1 \quad (21)$$

с произвольной матрицей  $L_1 : n \times n$ .

Для проверки соответствия  $M$ , определенного формулой (20), условию (14)

следует подсчитать  $e^{TM} = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{(TM)^i}{i!}$ .

### 5. Видоизмененная задача В реальности

вероятность того, что заранее заданная точка  $x_T$  способствует переходу в нее из произвольной точки  $x_0$  с помощью матрицы обратной связи достаточно низка. Однако в большинстве реальных задач существует целый диапазон благоприятных точек, переход в которые из начальной точки  $x_0$  способствует решению поставленной физической задачи. Вероятность разрешимости подобной задачи гораздо выше, чем рассмотренной ранее.

Теперь поставленная задача изменится следующим образом: требуется найти такую точку  $x_T$ , что выполнены неравенства  $\alpha_i \leq x_{Ti} \leq \beta_i$   $i = \overline{1, n}$ , и для данной точки разрешима поставленная задача (2),(3). Диапазоны для компонент конечного краевого значения здесь зависят от рассматриваемого практического примера.

Запишем матрицу  $TM$  в виде:

$$TM = \begin{pmatrix} M_{11}(l_1, \dots, l_k) & M_{12}(l_1, \dots, l_k) & \dots & M_{1n}(l_1, \dots, l_k) \\ M_{21}(l_1, \dots, l_k) & M_{22}(l_1, \dots, l_k) & \dots & M_{2n}(l_1, \dots, l_k) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{n1}(l_1, \dots, l_k) & M_{n2}(l_1, \dots, l_k) & \dots & M_{nn}(l_1, \dots, l_k) \end{pmatrix}, \quad (22)$$

где  $l_1, \dots, l_k$  - компоненты матрицы  $L$  (см.(20)), а насчет самих  $l_1, \dots, l_k$  мы предполагаем наличие ограничения  $|l_r| \leq c$ ,  $r = \overline{1, k}$ , где  $c$  - некоторое заранее заданное положительное число.

В силу (13) компоненты  $M_{ij}$  матрицы  $TM$

имеют следующий вид:  $M_{ij} = a_{ij} + \sum_{k=1}^n c_{ik} \cdot l_{kj}$ , где

$a_{ij}$  - элементы матрицы  $A$ ,  $c_{ik}$  - элементы матрицы  $(I - Q(B))$ ,  $l_{kj}$  - элементы матрицы  $L$ .

$$R_q(\|TM\|) = \frac{e^{\Theta\|TM\|}}{(q+1)!} \|TM\|^{q+1} < \frac{e^{\|TM\|}}{(q+1)!} \|TM\|^{q+1} < \varepsilon_1, \quad 0 < \Theta < 1. \quad (26)$$

Найдя соответствующую частичную сумму ряда (23), получим

$$e^{TM} \approx \begin{pmatrix} g_{11}(l_1, \dots, l_k) & g_{12}(l_1, \dots, l_k) & \dots & g_{1n}(l_1, \dots, l_k) \\ g_{21}(l_1, \dots, l_k) & g_{22}(l_1, \dots, l_k) & \dots & g_{2n}(l_1, \dots, l_k) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{n1}(l_1, \dots, l_k) & g_{n2}(l_1, \dots, l_k) & \dots & g_{nn}(l_1, \dots, l_k) \end{pmatrix}, \quad (27)$$

где  $g_{ij}$   $i: \overline{1, n}$ ,  $j: \overline{1, n}$  компоненты полученной матрицы  $e^{TM}$ .

Далее можно записать уравнение (14)

$$\begin{pmatrix} x_{T1} \\ x_{T2} \\ \dots \\ x_{Tn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} g_{11}(l_1, \dots, l_k) & g_{12}(l_1, \dots, l_k) & \dots & g_{1n}(l_1, \dots, l_k) \\ g_{21}(l_1, \dots, l_k) & g_{22}(l_1, \dots, l_k) & \dots & g_{2n}(l_1, \dots, l_k) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{n1}(l_1, \dots, l_k) & g_{n2}(l_1, \dots, l_k) & \dots & g_{nn}(l_1, \dots, l_k) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{01} \\ x_{02} \\ \dots \\ x_{0n} \end{pmatrix} \quad (28)$$

покомпонентно. Получим систему

Здесь  $i: \overline{1, n}$ ,  $j: \overline{1, n}$ .

Для матрицы  $TM$  будем использовать следующую норму

$$\|TM\| = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |M_{ij}|.$$

Очевидно,

что

$$\|TM\| \leq \sum_{i=1}^n |a_{ij}| + n \sum_{i=1}^n |c_{ij}| \cdot |c|.$$

Вернемся к условию (14).

Для его выполнения нужно получить матрицу  $e^{TM}$  в параметрическом виде. Воспользуемся разложением

$$e^{TM} = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{(TM)^i}{i!}, \quad (23)$$

$$\|e^{TM}\| \leq \sum_{i=0}^{\infty} \frac{\|TM\|^i}{i!}. \quad (24)$$

Найти сумму ряда (23) с необходимой точностью можно численными методами. Будем считать значение частичной суммы (24) для  $\|e^{TM}\|$ , добавляя к сумме новые слагаемые до тех пор, пока после взятия  $q+1$  слагаемого остаточный член данного ряда, взятый в форме Лагранжа, не будет удовлетворять ограничению

$$R_q(\|TM\|) = \frac{e^{\Theta\|TM\|}}{(q+1)!} \|TM\|^{q+1} \leq \varepsilon_1, \quad 0 < \Theta < 1, \quad \text{где} \\ |l_r| \leq c, \quad r = \overline{1, k}, \quad (25)$$

где  $\varepsilon_1$  - достаточно малое число.

Перепишем ограничение (25) по другому, избавившись от  $\Theta$ , с помощью следующей оценки.

$$R_q(\|TM\|) = \frac{e^{\|TM\|}}{(q+1)!} \|TM\|^{q+1} < \varepsilon_1, \quad 0 < \Theta < 1. \quad (26)$$

уравнений

$$\begin{cases} g_{11}x_{01} + g_{12}x_{02} + \dots + g_{1n}x_{0n} = x_{T1}, \\ g_{21}x_{01} + g_{22}x_{02} + \dots + g_{2n}x_{0n} = x_{T2}, \\ \dots \\ g_{n1}x_{01} + g_{n2}x_{02} + \dots + g_{nn}x_{0n} = x_{Tn}, \end{cases} \quad (29)$$

где для краткости опущены параметры. Теперь поставленная задача сводится к вычислительной задаче о существовании решения системы уравнений (29) на  $k+n$ -мерном параллелепипеде  $|l_r| \leq c$ ,  $r = \overline{1, k}$ ,  $\alpha_i \leq x_{Ti} \leq \beta_i$   $i = \overline{1, n}$ .

Рассмотрим вычислительную задачу.

Если при данных компонентах начальных краевых значений  $x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0n}$  система

уравнений (29) имеет корни  $l_1, l_2, \dots, l_k, x_{T1}^*, x_{T2}^*, \dots, x_{Tn}^*$ , каждый из которых удовлетворяет ограничению  $|l_r| \leq c, r = \overline{1, k}, \alpha_i \leq x_{Ti}^* \leq \beta_i, i = \overline{1, n}$ , то при взятой конечной точке  $x_T^* = (x_{T1}^*, x_{T2}^*, \dots, x_{Tn}^*)$  задача обратной связи также разрешима.

В этом случае существует матрица  $M$ , а благодаря выполнению (19) и матрица  $K$ .

Систему уравнений (29) относительно  $l_1, \dots, l_k$  можно решать численными методами. Предлагается следующая технология решения. Пусть

$$g_{i1}x_{01} + g_{i2}x_{02} + \dots + g_{in}x_{0n} - x_{Ti} = h_i(l_1, \dots, l_k, x_{Ti}).$$

Тогда решение системы уравнений (29) сводится к поиску минимума функции

$$H(l_1, \dots, l_k, x_{T1}, \dots, x_{Tn}) = \sum_{s=1}^n h_s^2 \quad (30)$$

на  $k+n$ -мерном параллелепипеде  $|l_r| \leq c, r = \overline{1, k}, \alpha_i \leq x_{Ti} \leq \beta_i, i = \overline{1, n}$ .

Будем находить этот минимум численным методом, показанным в [8]. Если  $lx^* = (l_1^*, \dots, l_k^*, x_{T1}^*, x_{T2}^*, \dots, x_{Tn}^*)$ , - точка в которой

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.0366 & 0.0271 & 0.0188 & -0.4555 \\ 0.0482 & -1.0100 & 0.0024 & -4.0208 \\ 0.1002 & 0.3681 & -0.7070 & 1.4200 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} +$$

(31)

$$\begin{pmatrix} 0.4422 & 0.1761 & 0 & 0 \\ 3.5446 & -7.5922 & 0 & 0 \\ -5.5200 & 4.4900 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{pmatrix}.$$

Здесь приняты следующие обозначения для фазовых переменных:

$x_1$  – горизонтальная скорость в узлах,

$x_2$  – вертикальная скорость в узлах,

$x_3$  – скорость изменения угла наклона относительно поперечной оси,

$x_4$  – угол наклона относительно поперечной оси.

Управлениями в системе являются:

$u_1$  – входной сигнал, используемый для управления движением в горизонтальном направлении;

$u_2$  – входной сигнал, используемый для управления движением в вертикальном направлении.

Здесь  $u_3, u_4$  – фиктивные компоненты

функция принимает наименьшее значение, а само наименьшее значение удовлетворяет ограничению  $H(lx^*) \leq \varepsilon_2$ , где  $\varepsilon_2$  – достаточно малое число, то будем считать, что точка  $lx^* = (l_1^*, \dots, l_k^*, x_{T1}^*, x_{T2}^*, \dots, x_{Tn}^*)$  является корнем системы уравнений (29), иначе будем считать, что система уравнений на  $k+n$ -мерном параллелепипеде  $|l_r| \leq c, r = \overline{1, k}, \alpha_i \leq x_{Ti} \leq \beta_i$  корней не имеет.

**6. Применение полученного результата для решения практического примера**  
Рассмотрим пример, иллюстрирующий выполнение показанных в данной статье технологий.

Требуется проверить систему, описывающую движение самолета с вертикальным взлетом и посадкой, на возможность перехода с помощью матрицы обратной связи из заданной начальной точки в конечную точку, принадлежащую заданному диапазону, на участке времени в 6 минут. Его линеаризованная модель движения имеет вид.

управления, взятые для того, чтобы сделать матрицу управления квадратной. Модель взята из [9].

Так как время в данной задаче взято в секундах, следует перейти к измерению времени в часах, сделав соответствующую замену переменных. Поскольку каждое слагаемое в правой части модели (31) имеет единицу измерения, идентичную единице измерения производной в левой части, то линейная замена переменных не отразится на виде системы уравнений. Аналогично можно перейти от измерения скорости в узлах к измерению в км/ч. После такой замены переменных интересующий нас участок времени будет  $[0; 0.1]$ . То есть  $T = 0.1$  часа.

Пусть даны следующие начальные краевые условия:

$$x_1(0) = 250, x_2(0) = 50, x_3(0) = 50, x_4(0) = 18. \quad (32)$$

Конечную точку для перехода будем искать в следующем диапазоне:

$$\begin{aligned} 240 &\leq x_1(0.1) \leq 250, \\ 10 &\leq x_2(0.1) \leq 20, \\ 80 &\leq x_3(0.1) \leq 100, \\ 15 &\leq x_4(0.1) \leq 30. \end{aligned} \quad (33)$$

Для того, чтобы записать матрицу  $M$  в виде (20), найдем матрицы  $Q(B)$  и  $I - Q(B)$ .

$$Im(B) = \left\{ \begin{pmatrix} 0.4422v_1 + 0.1761v_2 \\ 3.5446v_1 - 7.5922v_2 \\ -5.5200v_1 + 4.4900v_2 \\ 0 \end{pmatrix} \right\},$$

где  $v_1, v_2$  – произвольные числа.

Или, введя замены  $0.4422v_1 + 0.1761v_2 = y_1$ ,  $3.5446v_1 - 7.5922v_2 = y_2$ , получим

$$Im(B) = \left\{ \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ -6.5286y_1 - 0.7248y_2 \\ 0 \end{pmatrix} \right\}.$$

Тогда

$$M = \begin{pmatrix} -0.0366 + l_{11} & 0.0271 + l_{12} & 0.0188 + l_{13} & -0.4555 + l_{14} \\ 0.0482 + l_{21} & -1.0100 + l_{22} & 0.0024 + l_{23} & -4.0208 + l_{24} \\ \hat{l}_1 & \hat{l}_2 & \hat{l}_3 & \hat{l}_4 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix},$$

где

$$\hat{l}_1 = 0.1002 - 6.5286l_{11} - 0.7248l_{21}, \hat{l}_2 = 0.3681 - 6.5286l_{12} - 0.7248l_{22},$$

$$\hat{l}_3 = -0.7070 - 6.5286l_{13} - 0.7248l_{23}, \hat{l}_4 = 1.4200 - 6.5286l_{14} - 0.7248l_{24},$$

а  $\hat{l}_1, \dots, \hat{l}_4$  введены для менее громоздкой записи матрицы  $M$ .

Возьмем для быстроты вычисления на компьютере  $l_{11} = 0.0366, l_{13} = -0.0188, l_{22} = 1.0100, l_{24} = 4.0208$  и разложим матрицу  $e^{0.1M}$  в ряд (23) при  $|l_{12}| \leq 1.5, |l_{14}| \leq 1.5, |l_{21}| \leq 1.5, |l_{23}| \leq 1.5$ , требуя, чтобы ограничение для остаточного члена (26) было  $\leq 0.000001$ .

Тогда  $M$  примет вид

$$\begin{pmatrix} 0 & 0.0271 + l_{12} & 0 & -0.4555 + l_{14} \\ 0.0482 + l_{21} & 0 & 0.0024 + l_{23} & 0 \\ \hat{l}_1 & \hat{l}_2 & \hat{l}_3 & \hat{l}_4 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix},$$

где

$$\begin{aligned} \hat{l}_1 &= -0.1387 - 0.7248l_{21}, \hat{l}_2 = -0.3639 - 6.5286l_{12}, \\ \hat{l}_3 &= -0.5843 - 0.7248l_{23}, \hat{l}_4 = -1.4943 - 6.5286l_{14}. \end{aligned}$$

$$Coker B = \left\{ \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 6.5286y_1 + 0.7248y_2 + y_3 \\ y_4 \end{pmatrix} \right\},$$

$$\text{следовательно } Q(B) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 6.5286 & 0.7248 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Тогда

$$I - Q(B) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -6.5286 & -0.7248 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Используем произвольную матрицу

$$L = \begin{pmatrix} l_{11} & l_{12} & l_{13} & l_{14} \\ l_{21} & l_{22} & l_{23} & l_{24} \\ l_{31} & l_{32} & l_{33} & l_{34} \\ l_{41} & l_{42} & l_{43} & l_{44} \end{pmatrix}.$$

Тогда пользуясь (20), легко подсчитать матрицу  $M$ :

Через 108 итераций получим матрицу  $e^{0.1M}$  в виде

$$e^{0.1M} = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} & g_{14} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} & g_{24} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} & g_{34} \\ g_{41} & g_{42} & g_{43} & g_{44} \end{pmatrix}. \quad (34)$$

Здесь опущена полная запись многочленов  $g_{ij}(l_{12}, l_{14}, l_{21}, l_{23}), i = \overline{1,4}, j = \overline{1,4}$ , из-за ее громоздкости.

На основании (29) составим систему уравнений относительно

$$g_{ij}(l_{12}, l_{14}, l_{21}, l_{23}), i = \overline{1,4}, j = \overline{1,4}:$$

$$\begin{cases}
h_1(l_{12}, l_{14}, l_{21}, l_{23}) = g_{11}x_1(0) + g_{12}x_2(0) + g_{13}x_3(0) + \\
+ g_{14}x_4(0) - x_1(0.1) = 0, \\
h_2(l_{12}, l_{14}, l_{21}, l_{23}) = g_{21}x_1(0) + g_{22}x_2(0) + g_{23}x_3(0) + \\
+ g_{24}x_4(0) - x_2(0.1) = 0, \\
h_3(l_{12}, l_{14}, l_{21}, l_{23}) = g_{31}x_1(0) + g_{32}x_2(0) + g_{33}x_3(0) + \\
+ g_{34}x_4(0) - x_3(0.1) = 0, \\
h_4(l_{12}, l_{14}, l_{21}, l_{23}) = g_{41}x_1(0) + g_{42}x_2(0) + g_{43}x_3(0) + \\
+ g_{44}x_4(0) - x_4(0.1) = 0, \\
h_5(l_{12}, l_{14}, l_{21}, l_{23}) = g_{51}x_1(0) + g_{52}x_2(0) + g_{53}x_3(0) + \\
+ g_{54}x_4(0) - x_5(0.1) = 0, \\
h_6(l_{12}, l_{14}, l_{21}, l_{23}) = g_{61}x_1(0) + g_{62}x_2(0) + g_{63}x_3(0) + \\
+ g_{64}x_4(0) - x_6(0.1) = 0.
\end{cases} \quad (35)$$

$$x_1(0.1) = 246.6762289385986, x_2(0.1) = 15.90139868752441$$

$$x_3(0.1) = 80.0, x_4(0.1) = 24.56531822860718$$

(36)

При полученной точке  $x(0.1)$  и найденных компонентах  $l$  значение функции  $H$  из

(30) равно  $1.61151092703907210^{-9}$ , что достаточно близко к нулю.

Далее вернемся к выражению (21) и найдем матрицу  $K$ .

Найдем для начала  $B^-$  и  $P(B)$ .

Т.к.  $Im(B)$  найдено выше, а , находим

$$B^- = \begin{pmatrix} 1.906881296540048 & 0.044229845548155 & 0 & 0 \\ 0.890273095491143 & -0.1110643963849751 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$P(B) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Отсюда, благодаря найденной ранее матрице  $M$ , найдем матрицу  $K$  по формуле (21).

Получим

$$K = \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & K_{14} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & K_{24} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} & K_{34} \\ K_{41} & K_{42} & K_{43} & K_{44} \end{pmatrix}, \quad (37)$$

где

$$K_{11} = 0.00952346474558385,$$

$$K_{12} = -0.71175118164998,$$

$$K_{13} = -0.0458163860432018,$$

$$K_{14} = -0.86227673339175,$$

$$K_{21} = 0.183922460643968,$$

$$K_{22} = -0.4653292809038907,$$

Решим систему уравнений (35) способом, описанным в (30), используя условия (32) и диапазоны (33). Получим решение

$$l_{12} = -0.0396680819091797$$

$$l_{14} = -0.0545454252685547$$

$$l_{21} = -0.136261940024414$$

$$l_{23} = -0.0225345973558905.$$

Допустимой же конечной точкой из диапазона, в которую можно осуществить переход с помощью матрицы обратной связи, будет точка

$$Ker(B) = \left\{ \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ z_3 \\ z_4 \end{pmatrix} \right\}, \quad \text{то} \quad Coim(B) = \left\{ \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \right\}, \quad \text{где}$$

$z_1, z_2, z_3, z_4$  произвольные числа.

Отсюда, пользуясь найденным ранее  $Im(B)$

$$K_{23} = 0.00829071322148678,$$

$$K_{14} = -0.932170661798478, \text{ а } K_{31}, \dots, K_{44} - \text{ произвольные числа.}$$

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Хлебников М.В., Щербаков П.С. Ограниченное линейное управление оптимальное по квадратичному критерию специального вида // Труды ИСА РАН. 2013. Т.63, №2. С. 86–89.

2 Поляк Б.Т., Щербаков П.С. Робастная устойчивость и управление. М.: Наука, 2002. 273 с.

3 Поляк Б.Т., Щербаков П.С., Хлебников М.В. Управление линейными системами при внешних возмущениях: техника линейных матричных неравенств. М.: ЛЕНАНД, 2014. 560 с.

4. Хлебников М.В. Управление линейными системами при внешних возмущениях // Автоматика и Телемеханика. 2016. №7. С. 20–32.

5. Поляк Б.Т., Щербаков П.С., Хлебников М.В. Разреженная обратная связь в линейных

системах управления // Автоматика и Телемеханика. 2014. №12. С.13–27.

6. Кривенцов Е.Г. Сосредоточение спектра полюсов в точке при компенсационном подходе к синтезу матрицы обратной связи // Тр. 12 Всерос. сов. по пробл. упр. (ВСПУ-2014). Москва, 16-19 июня 2014 г. М : ИПУ РАН, 2014. С. 183-192.

7. Зубова С.П. О критериях полной управляемости дескрипторной системы.

Полиномиальное решение задачи управления при наличии контрольных точек. // Автоматика и Телемеханика. 2011. №1. С. 27–41.

8. Мудров А.Е. Численные методы для ПЭВМ на языках бэйсик, Фортран и Паскаль. М.: РАСКО, 1991. 272 с.

9. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления. М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. 832 с.

---

**Litvinov L.F.**

**ON THE CONSTRUCTION OF FEEDBACK IN THE PROBLEMS OF CONTROL OF LINEAR DYNAMICAL SYSTEMS**

*The problem of constructing a linear state feedback for a linear dynamical system by the method of expanding a parametrically given matrix into a series, and further solving the necessary equations is considered. To solve the equations, the method of minimizing the special function is used. A practical example of using this method for searching the feedback matrix, which allows to correct the control over the movement of an aircraft depending on its state in real time, is given.*

**Key words:** linear dynamic system, control, feedback, feedback matrix, matrix exponent, finding the minimum of the function numerically, plane with vertical take-off and landing.

---

**Литвинов Дмитрий Анатольевич**, аспирант кафедры математического анализа.

Воронежский государственный университет.

Адрес: Россия, 394018, Воронеж, Университетская площадь, д. 1.

E-mail: d77013378@yandex.ru

# ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

DOI: 10.12737/article\_590878fb8be5f0.72456616

Абакумов Р. Г., канд. экон. наук, доц.,  
Наумов А. Е., канд. тех. наук, доц.,  
Зобова А. Г., студент магистратуры,

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ПРЕИМУЩЕСТВА, ИНСТРУМЕНТЫ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

AbakumovRG2000@mail.ru

В статье раскрывается определение и сущность информационного моделирования в строительстве. Описано содержание и эффект применения информационного моделирования на различных этапах жизненного цикла объекта недвижимости. Проанализированы краткосрочные и долгосрочные преимущества. Проведен аналитический обзор программного обеспечения Revit в сравнении Autodesk по критериям: возможности, преимущества и недостатки, стоимостные характеристики и рентабельность. Приведен прогнозный расчет эффективности внедрения технологий информационного моделирования в строительстве, приведены примеры по успешному внедрению информационного моделирования в строительстве за рубежом и в России.

**Ключевые слова:** информационное моделирование, программное обеспечение, экономическая эффективность внедрения, прогрессивные технологии.

Информационное моделирование в строительстве (BIM) – процесс коллективного создания и использования информации о сооружении, формирующий основу для всех решений на протяжении жизненного цикла объекта (от планирования до проектирования, выпуска рабочей документации, строительства, эксплуатации и сноса). В основе BIM лежит трехмерная информационная модель, на базе которой организована работа инвестора, заказчика, ген. проектировщика, ген. подрядчика, эксплуатирующей организации.

BIM (Building Information Modeling) представляет собой комплексную программу, использующую общую трехмерную единую для модели и инструментов базу, пополняемую и совершенствующуюся в процессе проектирования. Информационная модель является цифровым прототипом объекта, в котором однозначно определен каждый его элемент и обеспечена их логическая взаимосвязь. Именно структура и назначенные взаимосвязи – основные признаки информационной модели. Таким образом, BIM это не новое ПО (программное обеспечение), это не 3D-визуализация и уж тем более не просто красивая картинка. BIM это процесс создания и управления информацией.

BIM охватывает все этапы жизненного цикла сооружения (см. рис.1): планирование, составление технического задания, проектирование и анализ, выдача рабочей документации, производство, строительство, эксплуатация и ремонт, демонтаж.

Основу любого проектирования можно представить в виде «трех слагаемых успеха» см. табл. 1.

Министерство строительства РФ так же отображает значимость и перспективность внедрению BIM-технологий. Так, по подсчетам Министерства строительства выявлено, что в процентном соотношении сокращение затрат на строительство и эксплуатацию составляет 30%, а сокращение времени проектирования достигает 50% см. рис. 2. По планам Минстроя России с 2019 года все объекты, строящиеся за государственный счет, должны проектироваться с помощью технологий информационного моделирования (BIM). В рамках подготовки нормативной базы НИЦ Строительство с учетом зарубежного и российского опыта в 2016 году разработало 4 свода правил в области информационного моделирования в строительстве, определяющие общие принципы применения данных технологий.

Они будут регламентировать требования и правила по обмену данными (интероперабельности) в процессе проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений, требования к компонентам информационных моделей строящихся объектов, к программным интерфейсам обмена данными, объемам и содержанию передаваемой информации, уровням геометрической и атрибутивной проработки компонентов информационных моделей зданий и сооружений. Их утверждение планируется в 2017 году. К ним относятся: СП «Информаци-



онное моделирование в строительстве. Правила организации работ производственно-техническими отделами»; СП «Информационное моделирование в строительстве. Правила обмена между информационными моделями объектов и моделями, используемыми в программных комплексах»; СП «Информационное

моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла»; СП «Информационное моделирование в строительстве. Правила описания компонентов информационной модели» [14].



Рис. 1. BIM на различных этапах жизненного цикла объекта

Таблица 1

### Содержание «слагаемы успеха» проектирования

| Слагаемы успеха проектирования                     | Суть                                                                                                                                                     | Результат                                          |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Единая проектная сущность                          | все участники проекта работают с одними и теми же проектными решениями. В случае изменения проектных решений - они изменяются у всех участников проекта. | снижение возможных проектных ошибок (коллизии).    |
| Постоянное взаимодействие всех участников процесса | налаженная коммуникация, способствующая постоянному взаимодействию всех участников процесса                                                              | сводятся к минимуму переделки и исправление ошибок |
| Единая структура хранения и передачи данных        | хранение файлов в одной системе                                                                                                                          | быстрый доступ к нужной информации                 |



Рис. 2. Эффект от внедрения BIM по данным Министра России [13]

В ходе опроса руководителей ведущих строительных и проектных организаций, нами были выделены краткосрочные и долгосрочные преимущества при переходе от CAD (системы автоматического проектирования) к BIM-технологиям (см. рис. 3).

BIM-технология дает ряд возможностей:

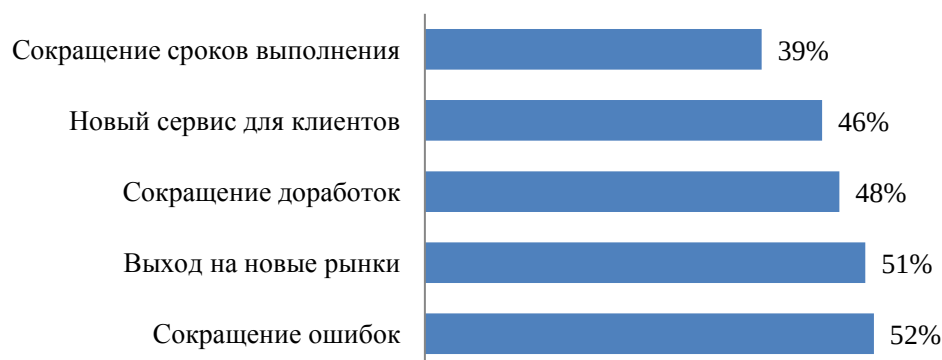
1. Позволяет объединить информацию, которой уже владеет организация, с новыми зна-

ниями, которые появляются у компании при переходе на BIM.

2. Она обеспечивает обмен данными между существующими системами предприятия и BIM-моделью.

3. Информационная модель становится поставщиком данных для системы закупок, системы календарного планирования, системы управления проектами, внутренней ERP-системы и других систем предприятия.

### Краткосрочные преимущества BIM



### Долгосрочные преимущества BIM

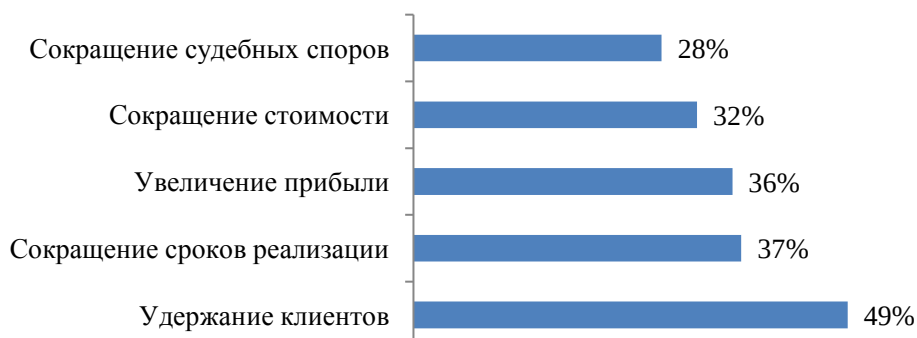


Рис. 3. Краткосрочные и долгосрочные преимущества BIM

BIM-технологии это процесс создания информационной модели, которая является цифровым прототипом проектируемого объекта – 3D модель наполненной информацией об объекте.

Разработка систем информационного моделирования за рубежом ведется с 80-х годов прошлого столетия. Одним из лидеров и основоположников движения стала компания Autodesk, достижения которой послужили толчком к созданию альянса по взаимодействию различных графических платформ. В «Alliance of Interoperability» вошли 12 крупнейших разработчиков программного обеспечения, среди которых Autodesk (Revit, Autocad), Tekla,

Graphisoft (Archicad), Trimble (Sketchup) и другие.

Проведем аналитический обзор программного обеспечение Revit в сравнении Autodesk, как инструмента реализации информационного моделирования в строительстве по следующим критериям: возможности, преимущества и недостатки, стоимостные характеристики и рентабельность.

Revit – это отдельное приложение, которое поддерживает рабочий процесс BIM - от разработки концепции до строительства. Назначение Revit: создание точных моделей проекта; оптимизация производительности; эффективное взаимодействие между участниками проекта.



Рис. 4. Использование данных BIM для различных систем

В программе Revit для информационного моделирования зданий представлены инструменты для проектирования архитектурных элементов, инженерных систем и строительных конструкций. Эти инструменты позволяют луч-

ше скоординировать работу специалистов в разных областях. Возможностей у данной программы очень много, она позволяет объединить работу людей, задействованных на разных стадиях ЖЦП (жизненного цикла проекта) см. табл. 2.

Таблица 2

#### Анализ возможностей Revit

| Возможности                                    | Суть                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Платформа</b>                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Улучшенная производительность программы        | Более эффективная работа благодаря более быстрому программному обеспечению.                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Взаимодействие с технологией BIM               | Возможность импортировать, экспортировать и устанавливать ссылки на данные в Revit в универсальных форматах DWG™, DXF™, DGN и IFC. Кроме того, теперь можно экспортировать модель здания или площадки с метаданными в программу для проектирования объектов инфраструктуры AutoCAD Civil 3D и импортировать модели из Autodesk Inventor — программы для 3D-проектирования механизмов. |
| Двунаправленная ассоциативность                | Механизм параметрического управления изменениями Revit автоматически согласовывает изменения, внесенные на видах модели, на листах чертежей, планах, в спецификациях и разрезах.                                                                                                                                                                                                      |
| Параметрические компоненты                     | Проектный замысел можно выразить максимально подробно с помощью параметрических компонентов.                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Совместная работа                              | С моделью здания могут одновременно работать специалисты разных областей, сохраняя результаты в едином файле хранилища.                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Спецификации                                   | Спецификацию можно создать на любом этапе процесса проектирования. Если в проект вносятся изменения, которые влияют на спецификацию, она автоматически обновляется в соответствии с ними.                                                                                                                                                                                             |
| Revit Server                                   | С помощью Revit Server проектные группы могут совместно работать над моделями Revit по глобальной сети.                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Архитектурное проектирование</b>            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Инструменты для концептуального проектирования | Созданные предварительно эскизы могут быть основой для дальнейшей работы при создании проекта объекта.                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Визуализация 3D-проекта                        | Использование 3D-визуализации в Revit для более глубокого понимания особенностей проекта еще до его реализации.                                                                                                                                                                                                                                                                       |

| Возможности                                                                   | Суть                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Инструменты планирования стройплощадки                                        | Формирование рельефа строительных площадок непосредственно в Revit и передача планировочных решений инженерам.                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Проектирование строительных конструкций                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Соединители армирования                                                       | Обеспечение повышенного уровня детализации при моделировании и документировании арматуры за счет использования полностью настраиваемых соединителей армирования на основе семейства.                                                                                                                                                                                                               |
| Анализ собственного веса                                                      | Возможность выполнения расчета потоков распределения нагрузок и с отображением, как вертикальные нагрузки передаются из верхней части модели в ее основание.                                                                                                                                                                                                                                       |
| Детализация арматуры                                                          | Создание подробных и точных проектов армирования. Создание проектной документации по армированию, включая в нее спецификации арматурных стержней.                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Двусторонняя связь с различными расчетными программами                        | Технология параметрического управления изменениями обеспечивает согласованность всех видов модели и строительных чертежей.                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Аналитическая модель конструкций                                              | Анализ с помощью аналитической модели, которая генерируется автоматически при создании физической модели в Revit.                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Проектирование и изготовление инженерных сетей                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Детализация для производителя                                                 | Создание в Revit готовых к производству моделей при использовании данных из Autodesk Fabrication CADmep, Fabrication ESTmep и Fabrication CAMduct для улучшения согласованности моделей, предназначенных для производителей и детализовщиков.                                                                                                                                                      |
| ОВК — проектирование и выпуск документации                                    | Проектирование и моделирование систем воздухопроводов и трубопроводов с помощью элементов машиностроительного проектирования. Выполнение предварительного расчета отопительных и холодильных нагрузок и используйте инструменты для определения размера воздухопроводов и труб. Проектирование сложных систем воздухопроводов с согласованием их с другими службами и строительными конструкциями. |
| Проектирование электрических систем и разработка документации                 | Проектирование и моделирование электрической системы вместе с соответствующими компонентами. Установка кабельных лотков и коробов и отслеживание электрических нагрузок по всей системе распределения электричества.                                                                                                                                                                               |
| Проектирование сантехнических систем и разработка документации                | Создание сантехнических систем с наклонными трубами. Компоновка системы трубопроводов вручную или автоматически, подключение к ним приборов и оборудования.                                                                                                                                                                                                                                        |
| Совместная работа с архитекторами и проектировщиками строительных конструкций | Повышение эффективности совместной работы с архитекторами. Отсутствие коллизий с несущими балками и каркасом. Согласованность и более эффективное взаимодействие благодаря инструментам, предназначенным для инженеров и проектировщиков машиностроительной отрасли, электрических и сантехнических систем.                                                                                        |
| Строительство                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Моделирование конструкций                                                     | Возможность разбиения объектов, например, слоев стен и этапов бетонирования, и последующей манипуляции ими, что позволяет более точно отразить методы строительства.                                                                                                                                                                                                                               |
| Производство строительных конструкций                                         | Revit предоставляет проектировщикам строительных конструкций данные по детализации и изготовлению элементов бетонной арматуры.                                                                                                                                                                                                                                                                     |

По мере использования возможностей продукта всегда следует раскрытие его преимуществ и недостатков, которые снесены в табл. 3. В связи с тем, что программа охватывает огромный комплекс возможностей для всех участников проекта и на всех его стадиях реализации, стоит выделить отдельные группы специали-

стов, непосредственно имеющих отношение к проекту в тот или иной промежуток времени, и по схеме «задача-решение» наглядно выразить, как существенно улучшается и ускоряется работа от стадии «концепция» до стадии «внедрение объекта в эксплуатацию» (см. табл.4).

Таблица 3

**Преимущества и недостатки ПК Revit**

| Преимущества                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Недостатки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 3D проектирование информационной модели здания (архитектура, конструктив, ОВ и ВК)</li> <li>2. Автоматическое создание разрезов, фасадов, спецификаций, узлов</li> <li>3. Двухнаправленная ассоциативность (при исправлении в одном месте изменения вносятся автоматически во всем проекте)</li> <li>4. Совместная и скоординированная работа всех разделов проектирования в Revit в одном файле или с помощью подгрузок</li> <li>5. Создание любого параметрического элемента библиотеки пользователем</li> <li>6. Связь с расчетными программами Robot, Scad, Лира (Revit содержит в проекте аналитическую модель каркаса, нагрузки и закрепления с возможностью передачи в данные программы)</li> <li>7. Работа с любыми материалами с возможностью передачи в 3ds Max</li> <li>8. Интуитивно понятный интерфейс и удобное управление.</li> <li>9. Автоматизация многих процессов позволила сократить время разработки проектной документации</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Программа импортная, следовательно не учитываются российские особенности в проектировании</li> <li>2. Низкая поддержка российских стандартов. Практически любое обозначение необходимо видоизменять.</li> <li>3. Бедный функционал работы с спецификациями. Не поддерживаются стандарты на спецификации.</li> <li>4. Слабый функционал для работы с разделами КМ, КМД, КД</li> <li>5. Создание информационной модели объекта представляет собой достаточно долгий и трудоёмкий процесс, выполнять который целесообразно только при выполнении масштабных проектов.</li> <li>6. При моделировании зданий, подлежащих капитальному ремонту, в систему довольно сложно вписать информацию о дефектах конструкций требующих усиления зданий.</li> <li>7. Уже при разработке пилотных проектов, создаваемых в рамках госпрограммы, было отмечено снижение производительности труда сотрудников.</li> </ol> |

Таблица 4

**Преимущества технологии BIM для разных участников жизненного цикла объекта строительства**

| Задачи                                                                                                                                                              | Решения                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Инвестор, заказчик, девелопер</b>                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                             |
| 1. Оптимизировать инвестиции, сокращать стоимость проекта                                                                                                           | 1. Сокращать время проектирования и строительства и тем самым оптимизировать денежные потоки и сроки кредитования, что дополнительно сокращает стоимость строительства.                                                     |
| 2. Определять оценочную стоимость проекта строительства на нулевой стадии для расчета его окупаемости.                                                              | 2. На ранних этапах оценивать объемы материалов и работ, стоимость строительства на базе информационной BIM-модели.                                                                                                         |
| 3. Иметь полную информацию о расходах в процессе работы над проектом, точно прогнозировать финансовые потоки на этапе проектирования, строительства и эксплуатации. | 3. Создавать точные и наглядные визуализированные планы-графики строительства, которые позволяют спланировать время поступления денежных средств.                                                                           |
| 4. Экономить бюджет строительства за счет оптимизации логистики на стройплощадке.                                                                                   | 4. Проводить проверку на пространственно-временные коллизии на стройплощадке, анализировать и оптимизировать сроки использования строительной техники на основе BIM-модели для сокращения сроков и стоимости строительства. |
| 5. Получать информацию о проекте, необходимую для принятия решения, в удобном и наглядном виде.                                                                     | 5. Использовать современные средства коммуникации на основе BIM-процессов и BIM-модели.                                                                                                                                     |
| 6. Создавать высокий спрос на объект строительства на нулевой стадии.                                                                                               | 6. С помощью BIM-инструментов создавать концептуальную 3D-модель, которая максимально соответствует будущему объекту. Ее использование в маркетинговых целях позволяет улучшить коммуникацию с клиентом.                    |
| <b>Проектная организация<br/>Директор</b>                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                             |
| 1. Получать новые заказы/увеличивать бизнес компании.                                                                                                               | 1. Предлагать решения на базе BIM-модели в соответствии с запросом рынка, в том числе со стороны государственных заказчиков.                                                                                                |
| 2. Выпускать качественную документацию в срок.                                                                                                                      | 2. Более чем на 30% сокращать количество ошибок за счет скоординированной работы всех участников проекта на основе BIM-модели.                                                                                              |

| Задачи                                                                                         | Решения                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3. Повышать производительность — за меньшее время выполнять большее количество проектов.       | 3. Более чем на 30% ускорять процесс проектирования.                                                                                                                                                                          |
| 4. Исключать текучку кадров и удерживать передовых сотрудников.                                | 4. Увеличивать привлекательность собственной компании для наиболее перспективных сотрудников, которые желают повысить профессиональный уровень, работая по BIM-технологии.                                                    |
| Руководитель отдела сапр/it                                                                    |                                                                                                                                                                                                                               |
| 1. Оптимально инвестировать, добиваясь максимальной отдачи от каждого вложенного рубля.        | 1. 90% компаний добиваются положительной отдачи от внедрения BIM, 50% компаний заявляют о ROI более 25% (McGraw Hill Construction).                                                                                           |
| 2. Способствовать увеличению прибыли компаний с помощью IT-инструментов.                       | 2. Технология BIM позволяет увеличить скорость проектирования до 30%, сократить количество ошибок (на основе опыта российских пользователей).                                                                                 |
| 3. Обеспечивать четкий бесперебойный выпуск конечной продукции — рабочей документации.         | 3. Правильно организованное внедрение технологии BIM позволяет не снижать общего темпа выпуска документации. В дальнейшем весь комплект документов, согласно 87-му постановлению, можно будет выпускать на основе BIM-модели. |
| Архитектор                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                               |
| 1. Создавать уникальные проекты высокого качества.                                             | 1. Автоматизировать рутинные операции, сосредоточившись на творчестве.                                                                                                                                                        |
| 2. Соблюдать сроки и бюджет проекта.                                                           | 2. Повышать качество и сроки проектирования за счет обнаружения коллизий на ранней стадии проекта, минимизировать количество исправлений в проекте на стадиях подготовки рабочей документации и строительства.                |
| 3. Выполнять специальные требования заказчика, в т.ч. в области энергопотребления здания.      | 2. Повышать качество и сроки проектирования за счет обнаружения коллизий на ранней стадии проекта, минимизировать количество исправлений в проекте на стадиях подготовки рабочей документации и строительства.                |
| 4. Выбирать и утверждать с заказчиком оптимальные решения на ранней стадии проекта.            | 4. Предлагать заказчику наглядные варианты проектных решений, снабжая их исчерпывающей аргументацией.                                                                                                                         |
| Конструктор                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                               |
| 1. Соблюдать требования по безопасности для сложных проектов.                                  | 1. Проводить расчеты на основе BIM-модели на разных этапах проектирования, в том числе на стадии концептуального проектирования.                                                                                              |
| 2. Управлять большим количеством проектных изменений.                                          | 2. Поддерживать совместную работу в рамках информационной модели, позволяющей автоматически обновлять все разделы проекта после внесения какого-либо изменения.                                                               |
| 3. Координировать работу с другими отделами, в том числе с инженерами и архитекторами.         | 3. Обсуждать проектные решения на всех этапах проектирования с помощью программных инструментов для обратной связи.                                                                                                           |
| 4. Сокращать время на подготовку аналитической модели.                                         | 4. Создавать упрощенную модель и задавать нагрузки для передачи в расчетные программы без лишнего моделирования и перестроения основной модели.                                                                               |
| Инженер                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                               |
| 1. Выбирать оптимальный вариант инженерного проекта.                                           | 1. Вариативное проектирование на основе BIM-модели.                                                                                                                                                                           |
| 2. Исключать коллизии между различными инженерными системами и архитектурным проектом.         | 2. Организация совместной работы, эффективная координация работы между всеми участниками проекта.                                                                                                                             |
| 3. Выпускать качественную проектную документацию в установленные сроки.                        | 3. Сокращение времени проектирования за счет автоматического поиска коллизий и их устранения на ранних этапах проектирования.                                                                                                 |
| Генпланист                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                               |
| 1. Находить оптимальный вариант проекта планировки.                                            | 1. Автоматизировать трудоемкие процессы по вычислению объемов и составлению ведомостей на основе BIM-модели.                                                                                                                  |
| 2. Создавать план организации рельефа, вычислять объемы земляных работ и оформить картограмму. | 2. Автоматизировать изменение модели и всех полученных по ней чертежей при внесении изменений в проект.                                                                                                                       |
| 3. Разрабатывать сводный план инженерных сетей.                                                | 3. Выпускать чертежи в соответствии с российскими стандартами и стандартами предприятия на основе преднастроенных                                                                                                             |



| Задачи                                                            | Решения                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                   | шаблонов.                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 4. Создавать план благоустройства территории.                     | 4. Оформлять план благоустройства территории с использованием библиотек блоков и автоматически получать ведомости по преднастроенным шаблонам.                                                                                                                           |
| Строительная организация                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 1. Точно оценивать стоимость строительства до участия в торгах.   | 1. Сокращать погрешность расчетов потенциальной стоимости строительства на основе BIM-модели с погрешностью 5-10%.                                                                                                                                                       |
| 2. Сокращать риски превышения заявленной стоимости строительства. | 2. Проводить симуляцию процесса строительства на основе BIM-модели, создавать график строительства, оптимизировать время работы дорогостоящей строительной техники, точно определять сроки участия в проекте подрядчиков, оптимизировать объемы строительного материала. |
| 3. Контролировать заявленные сроки возведения объекта.            | 3. Контролировать план-факт работ всех участников процесса строительства на основе BIM-модели, в том числе с помощью использования мобильных устройств на стройке.                                                                                                       |

Чтобы BIM-технология смогла проявить весь свой потенциал, компании необходимо детально и всесторонне спланировать процедуры внедрения. От того, насколько глубоко будет внедрена технология информационного моделирования и какого уровня зрелости в компании она достигнет, напрямую зависит финансовая отдача от ее применения. Одним из важных показателей эффективности перехода на BIM-технологии является возврат инвестиций – ко-

эффициент рентабельности инвестиций ROI, рассчитываемый по формуле:

$$ROI = \frac{\text{Выручка} - \text{Инвестиции}}{\text{Инвестиции}}$$

Как показывает практика, в зависимости от степени глубины внедрения BIM-технологии коэффициент рентабельности инвестиций увеличивается, как показано на рис. 5.

### ROI при внедрении BIM

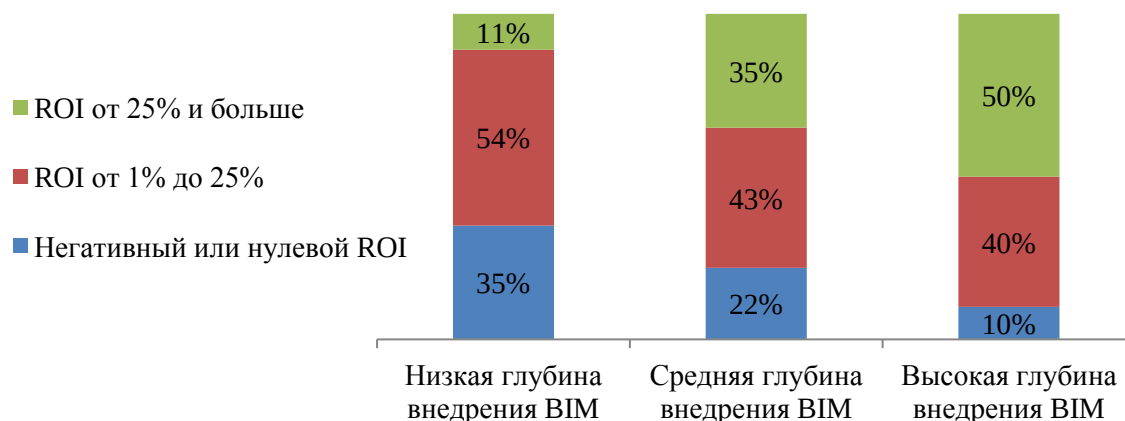


Рис. 5. Значение коэффициента рентабельности инвестиций при внедрении BIM

Не смотря на все положительные стороны BIM-технологии в целом и ПК Revit в частности, все завязано на инвестициях (инфраструктурных, проектных, долгосрочных).

На сегодняшний день, с учетом наибольшей эффективности использования BIM-технологий, то есть если все специалисты перейдут на новое программное обеспечение, общая сумма инвестиций, по состоянию на начало 2017 года, составит 2 786 600 руб., которая состоит из инве-

стиций в программное обеспечение и затрат на обучение персонала. [14]

При внедрении нового программного обеспечения производительность сначала резко снижается (процесс обучения), затем постепенно возрастает, достигая уровня выше, чем при применении старого программного обеспечения.

Ниже приведены прогнозные показатели чистого дохода (ЧД) и чистого дисконтированного дохода (ЧДД) за три года после внедрения BIM-технологий (см. табл. 5).

Таблица 5

**Прогнозный расчет чистого дохода и чистого дисконтированного дохода после внедрения BIM-технологий**

| Показатель                                          | 1 год      | 2 год     | 3 год       |
|-----------------------------------------------------|------------|-----------|-------------|
| Чистая прибыль до внедрения BIM-технологий, руб.    | 3 224 960  | 3 224 960 | 3 224 960   |
| Чистая прибыль после внедрения BIM-технологий, руб. | 3 920 000  | 5 808 000 | 5 808 000   |
| Разница в прибыли $\Phi$ , руб.                     | -3 221 040 | 2 583 040 | 2 583 040   |
| ЧД, руб.                                            | -3 221 040 | -638 000  | 1 945 040   |
| Коэффициент дисконтирования $a_t$                   | 1          | 1,0875    | 1,183       |
| $\Phi_{\text{дт}}$ , руб.                           | -3 221 040 | 2 809 056 | 3 054 848,4 |
| ЧДД, руб.                                           | -3 221 040 | -411 984  | 2 642 864,4 |

Поскольку прогнозные показатели ЧДД за третий год положительные, инвестиции во внедрение BIM-технологии взамен CAD-технологий можно считать эффективными. В доказательство этого факта, можно привести примеры по успешному внедрению BIM в различные сферы строительства, как за рубежом, так и в России.

В доказательство этого факта, можно привести примеры по успешному внедрению BIM как за рубежом, так и в России.

1. Проект ультрасовременного бизнес-центра в г. Казань. В конце 2014 года перед ГУП «Татинвестгражданпроект» (ТИГП) была поставлена задача выполнить работы по проектированию бизнес-центра – одиннадцатизэтажного ультрасовременного офисного здания. Предстояло построить четыре подземных и семь надземных этажей с конференц-залом, зонами бытового обслуживания, питания и отдыха. Отправной точкой для специалистов «Татинвестгражданпроект» стал эскизный проект, подготовленный сторонней компанией в формате AutoCAD. Для создания информационной модели бизнес-центра был выбран Autodesk Revit, в нем выполнялись все разделы проекта – АР, АС, КЖ, ОВ, ВК, ЭО. Презентационные материалы выполнялись в Autodesk 3dsMax и Autodesk Revit. Также при работе с заказчиком были использованы Autodesk Design Review и Autodesk Navisworks для обмена информационной составляющей проекта. Для создания возможности виртуального прохода по зданию команда Дмитрия Полковникова (начальник отдела BIM-технологий «Татинвестгражданпроект») использовала приложение Revizto.

2. Проект реконструкции плавательного центра «Лужники». Компания UNK project выиграла тендер на реконструкцию плавательного центра «Лужники», в котором участвовало 43 заявки от российских и международных архи-

тектурных бюро. Относительно небольшое здание центра (42 000 м<sup>2</sup>) чрезвычайно насыщено функционалом: здесь есть технический этаж, двухэтажный паркинг, этажи с торговыми павильонами, три совмещенных бассейна, аквапарк, этажи, занятые академией бокса, фитнес-центром и спа-зоной.

3. Подготовка проектной документации спортивно-концертного комплекса «Рубин». Группа компаний SBE-NIPIGS в конце 2012 года выиграла тендерный конкурс на разработку проектной документации «Строительство спортивно-концертного комплекса «Тюмень-Арена». В соответствии с технологическими и эксплуатационными параметрами объект должен стать одним из ведущих ледовых стадионов с проектной вместимостью 12500 зрителей в режиме хоккея и до 15000 при проведении концертных мероприятий. В соответствии с заданием на проектирование работа включала в себя разработку проектной документации для четырех объектов: здания многофункциональной арены, технического блока, крытого паркинга и гостиницы, а также благоустройства площадки 19 га. В качестве основного инструмента проектирования была выбрана программа Autodesk Revit. Благодаря параметрической геометрии формообразующих элементов и автоматическому получению технико-экономических показателей было подготовлено около 150 вариантов главной арены.

4. Стадион «Открытие Арена». Международная компания AECOM получила заказ на разработку концепции и стадии «П» проектной документации по стадиону ФК «Спартак» (сейчас – «Открытие Арена») в Москве в 2009 году. По первоначальному плану стадион должен был вмещать 35 тысяч зрителей, однако, когда Россия выиграла право на проведение ЧМ 2018, это число, согласно требованиям FIFA, увеличилось до 42 тысяч. Для того чтобы гарантированно



пройти экспертизу и соблюсти бюджет, стадион проектировался по технологии BIM в Autodesk Revit. На разработку проектной документации стадии «П» у компании ушло меньше года, на подготовку рабочей документации – полтора года.

5. Шанхайская башня. Известная как второе по высоте здание в мире, Шанхайская башня является наглядным примером и результатом использования решений BIM для проектирования, строительства и, в конечном счете, эксплуатации здания.

6. Медицинский центр Брон-Лебанон в Нью-Йорке. Специалисты компании WASA/Studio A справились со сложным проектом медицинского центра Брон-Лебанон в Нью-Йорке и объединили разные отрасли проекта с помощью Revit.

В отличие от традиционного подхода, BIM дает возможность сместить основной объем работ по внесению изменений на стадии эскизного проектирования и разработки проектной документации, сократив таким образом стоимость каждой проектной ошибки. В то время как при использовании традиционной технологии основная масса коллизий обнаруживается и исправляется лишь на стадиях рабочей документации или строительства.

При внедрении BIM компании несут различные неизмеряемые и неоднородные по своему характеру затраты. Отсюда следует вывод, что опираться исключительно на стоимостные выражения инвестиций, как это происходит при подсчете ROI, невозможно.

К внедрению BIM систем необходимо подходить избирательно, учитывая особенности конкретного проекта. Подход «все или ничего» не является правильным. В некоторых случаях более эффективными оказываются САД-системы, а применение BIM может осуществляться в ограниченном виде (например – трехмерное моделирование).

Внедрение СП по информационному моделированию показывает поддержку и одобрение со стороны правительства BIM-технологии.

Несмотря на некоторые трудности, процесс развития и внедрения BIM-технологий в России необратим.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Приказ Минстроя России от 29.12.2014 № 926/пр (ред. от 04.03.2015) «Об утверждении Плана поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства»
2. Губарев С.А. Аналитический обзор современных технологий строительства, строи-

тельных материалов, строительных конструкций, отвечающих современным требованиям инвесторов в строительстве // Инновационная наука. 2016. № 11-1. С. 48-51.

3. Владыкин В.Н. Применение технологии «Building Information Modelling» при развитии строительной индустрии в России // Инновационная наука. 2016. № 12-2. С. 33-36.

4. Грищенко Е.Н., Стрекозова Л.В. Теоретические аспекты анализа и оценки организационно-технологических рисков в строительстве // Инновационная наука. 2016. № 5-1 (17). С. 10-13.

5. Приходько Е.С., Шелайкина А.Н., Абакумов Р.Г. Интегральные тенденции в решении задач обеспечения эффективности, результативности и качества управления государственной собственностью // Инновационная наука. 2016. № 5-1 (17). С. 161-162.

6. Скрыпник О.Г. Обеспечение безопасности и эксплуатационной надежности зданий и сооружений // Инновационная наука. 2016. № 5-3 (17). С. 199-200.

7. Виноградова Д.И. Факторы организационно-технологического рискованного окружения инвестиционно-строительной деятельности // Инновационная наука. 2016. № 6-1. С. 57-60.

8. Маликова Е.В. Практика применения инновационных технологий в строительстве // Молодой инженер - основа научно-технического прогресса. Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции. 2015. С. 212-216.

9. Толстой Л.В. Особенности экономического обоснования строительства высотных зданий (небоскребов) // Инновационная наука. 2017. № 1-1. С. 100-103.

10. Шелайкина А.Н., Абакумов Р.Г. Развитие методологических основ управления рисками инвестиционно-строительных проектов // Инновационная наука. 2017. № 1-1. С. 120-122.

11. Толстой Л.В. К вопросу о развитии и целесообразности строительства высотных и сверхвысотных зданий в России // Инновационная наука. 2017. № 1-1. С. 99-100.

12. Черняев В.В. Проблемы внедрения инновационных технологий в строительство // Инновационная наука. 2017. № 2-1. С. 245-247.

13. [http://www.minstroyrf.ru/press/razrabotany-4-novykh-svoda-po-informatsionnomu-modelirovaniyu-v-stroitelstve/?sphrase\\_id=282921](http://www.minstroyrf.ru/press/razrabotany-4-novykh-svoda-po-informatsionnomu-modelirovaniyu-v-stroitelstve/?sphrase_id=282921)

14. [http://www.minstroyrf.ru/press/svody-pravil-informatsionnogo-modelirovaniya-v-stroitelstve-utverdyat-k-2017-godu/?sphrase\\_id=282921](http://www.minstroyrf.ru/press/svody-pravil-informatsionnogo-modelirovaniya-v-stroitelstve-utverdyat-k-2017-godu/?sphrase_id=282921)

---

**Abakumov R.G., Naumov A.E., Zobova A.G.****ANALYTICAL REVIEW OF THE METHODOLOGICAL TOOLS USED IN THE SALES COMPARISON APPROACH WHEN PRICE ADJUSTMENTS ANALOGUES**

*The article reveals the problem of moral and physical obsolescence of a significant part of the housing stock is represented by houses of the first period of industrial housing. The comparative analysis of the advantages and disadvantages of various methods of reconstruction of the analysed housing stock. Given technical and economic characteristics of a model series of multi-storey buildings of the first period of industrial housing construction with the aim of determining the possibility of reconstruction. Proposed guidelines for the economic reproduction of the housing Fund on the basis of the reconstruction of the buildings of the first period of industrial housing.*

**Key words:** *information modeling, software cost-effectiveness of introducing advanced technologies.*

---

**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 экономических наук, 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

**Зобова Анастасия Геннадиевна**, магистрант кафедры строительства и городского хозяйства.

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

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

E-mail: nastuha120212@rambler.ru

<sup>1</sup>Дорохова Е.И., канд. экон. наук, доц.,<sup>2</sup>Коренькова Г.В., доц.,<sup>1</sup>Белых Т.В., канд. соц. наук, доц.<sup>1</sup>Белгородский государственный национальный исследовательский университет<sup>2</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ДОСТУПНОСТЬ ЖИЛЬЯ В БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ КАК ОДИН ИЗ ИНДИКАТОРОВ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНА

dorokhova@bsu.edu.ru

Так как основные интересы общества отражаются через социальную сферу, то для создания достойных условий жизни населения необходимо осуществление эффективной социально-экономической политики, в первую очередь связанной с доступностью жилья. Доступность жилья является значимым элементом экономической безопасности. В статье рассматривается региональная составляющая экономической безопасности – доступности жилья на примере Белгородской области. При этом для оценки обеспечения экономической безопасности использована методика сопоставления показателей региональной экономики с их пороговыми значениями с целью выявления возможных угроз нарушения равновесия региональной системы. Проведенные расчеты свидетельствуют, что в Белгородской области среднестатистическая семья сможет отложить необходимую денежную сумму для приобретения квартиры среднего качества (типовой) на первичном рынке по условиям 2015 года за 5,7 лет, что значительно ниже допустимого порогового значения. Также рассматривалась возможность приобретения квартиры на вторичном рынке. В статье выявлены резервы повышения доступности жилья: за счет реконструкции и модернизации существующего жилищного фонда, предполагающих значительный социально-градостроительный эффект обновления жилой среды, получение дополнительной жилплощади на застроенных городских территориях, а также за счет реализации комплекса региональных программ для формирования нового сегмента рынка жилья экономического класса, отвечающего современным требованиям по качественным характеристикам.

**Ключевые слова:** экономическая безопасность региона, методика оценки и индикаторы экономической безопасности, доступность жилья, резервы повышения доступности жилья, региональные жилищные программы, реконструкция и модернизация.

Обеспечение экономической безопасности – одна из важнейших функций государства. Эта проблема является производной от задачи обеспечивать экономический рост на каждой ступени развития общества. Конкретное ее содержание изменяется в зависимости от сложившихся в данный период внешних и внутренних условий. На сегодня категория «экономическая безопасность» – составная и неотъемлемая часть современной экономической науки, она имеет свой предмет и специфические методы исследования. Она интересна тем, что гарантирует развитие и устойчивость экономики. Таким образом, экономическая безопасность является составной частью национальной безопасности государства.

Сегодня экономическая безопасность рассматривается, в основном, с позиций национальной экономики, в то время как, региональная составляющая изучена недостаточно полно, ввиду того, что все регионы имеют различный уровень развития, обуславливающий их уникальность, в связи с этим возникает проблема формирования эффективного механизма обеспе-

чения экономической безопасности для регионов России, без решения которой, невозможно обеспечение должного уровня экономической безопасности отдельного региона, а следовательно, экономической и национальной безопасности страны в целом.

Для оценки обеспечения экономической безопасности используют различные методики отечественных и зарубежных авторов, но наиболее распространенной является методика сравнения макроэкономических показателей с их пороговыми значениями, разработанная С.Ю. Глазьевым для оценки национальной экономической безопасности.

Данная методика адаптирована для регионов различными авторами. Так И.В. Новикова и Н.И. Красников используя систему показателей региональной экономики, сопоставляют их с пороговыми значениями, с целью выявления возможных угроз нарушения равновесия и развития составных элементов региональной системы с последующим наступлением кризисных явлений [1]. Авторы предлагают проводить ана-

лиз в следующих сферах: производственной, инновационной, продовольственной, финансовой и социальной. При этом социальная сфера имеет особое значение.

Следует отметить, что Белгородская область находится в группе лидеров по уровню социально-экономического развития среди субъектов Центрального федерального округа. А по уровню качества жизни на протяжении трех последних лет устойчиво занимает шестую позицию по данным «РИА Рейтинг» медиагруппы МИА «Россия сегодня» среди субъектов Российской Федерации после г. Москвы, г. Санкт-Петербурга, Московской области, республики Татарстан, Краснодарского края, что несомненно показывает высокий и стабильный уровень социально-экономического развития региона [2, 9].

Важным индикатором социальной сферы является показатель доступности жилья в регионе, т. е. возможности его приобретения. Данный показатель в современном обществе является значимым фактором экономической безопасности и стабильности.

Современное состояние градостроительства в Российской Федерации предопределено совокупностью природно-географических, историче-

ских, геополитических и социально-экономических факторов.

В 2014 году Белгород как административный центр Белгородской области отметил 60-летие. За это время Белгород из заштатного районного 30-тысячного городка превратился в современный благоустроенный 379-тысячный промышленный, деловой, научно-образовательный и культурный центр. Сейчас Белгород – это динамично развивающийся город, в облике и жизни которого гармонично переплетены элементы старины и современности, культуры и науки, классики и новаторства.

Рынок жилой недвижимости Белгорода является одним из наиболее устойчивых региональных рынков РФ. Активное жилищное строительство началось в последнее десятилетие прошлого века, и не сбавляет темп до сегодняшнего дня. За последние двадцать лет город неузнаваемо изменился. В Белгороде появились весьма выразительные жилые здания и комплексы. Жилищное строительство растет ввысь, приобретает элитно-комфортные черты [11, 12].

Проанализируем степень доступности жилья в Белгородской области в динамике за 2013–2015 гг. (табл. 1).

Таблица 1

#### Степень доступности жилья на жилищном рынке Белгородской области

| Показатели                                                  |              | 2013      | 2014      | 2015      |
|-------------------------------------------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|
| Среднедушевые денежные доходы населения (в месяц), руб.     |              | 23 734,7  | 25 371,5  | 27 907,1  |
| Прожиточный минимум, руб.                                   |              | 6 078     | 6 695     | 8 134     |
| Среднедушевые доходы минус прожиточный минимум, руб.        |              | 17 657    | 18 677    | 19 773    |
| Возможная сумма накопления семьи в год, руб.                |              | 423 768   | 448 248   | 474 552   |
| Цена на рынке за кв.м. общей площади жилья, руб.            | на первичном | 52 931    | 54 621    | 50 275    |
|                                                             | на вторичном | 49 433    | 52 664    | 50 295    |
| Стоимость типовой квартиры (54 кв.м.), руб.                 | на первичном | 2 858 274 | 2 949 534 | 2 714 850 |
|                                                             | на вторичном | 2 669 382 | 2 843 856 | 2 715 930 |
| Отношение стоимости жилья к возможной сумме накопления, раз | на первичном | 6,7       | 6,6       | 5,7       |
|                                                             | на вторичном | 6,3       | 6,3       | 5,7       |

Рассчитано по данным: [3, 5, 10].

В ходе анализа за основу была взята стоимость 1 кв. метра квартиры среднего качества (типовой) на первичном и вторичном рынках. Площадь квартиры соответствует минимальным нормам общей площади на человека. Сделанные расчеты свидетельствуют, что в Белгородской области среднестатистическая семья из 3 членов (2 взрослых и ребенок) сможет отложить необходимую денежную сумму на жилье по условиям 2015 года за 5,7 лет. При этом пороговое значение показателя отношения рыночной стоимости жилья к возможной сумме накопления (среднегодовому доходу семьи) в соответствии с методикой, разработанной

И.В. Новиковой и Н.И. Красниковым – 12 лет. Данный показатель свидетельствует о доступности жилья и отвечает на вопрос: сколько лет семье нужно работать, осуществляя расходы в пределах прожиточного минимума, чтобы приобрести квартиру [1]. При этом в Белгородской области данный показатель значительно ниже допустимого порогового значения.

Можно заметить, что для покупки квартиры на вторичном рынке потребуется меньше времени, чем на первичном рынке. Это связано, во-первых, с меньшей стоимостью 1 кв. м, т.к. цены устанавливаются их бывшими владельцами и не учитываются затраты застройщика, а во-вторых,

это жилье уже готовое и зарегистрированное, в отличие от еще недостроенного жилья на первичном рынке [7, 8].

Жилищный фонд – важнейшее национальное достояние, в умножении и сохранности которого заинтересовано все общество. С течением времени происходит старение жилищного фонда, быстрый переход его в категорию ветхого и аварийного. По данным Росстроя, в настоящее время общий износ основных фондов в ЖКХ превысил 60 %, а четверть основных фондов уже полностью отслужила свой срок.

В сложившихся условиях реконструкция зданий является той областью строительной деятельности, которая позволяет наиболее рационально использовать ограниченные финансовые ресурсы для получения наибольшего социального и экономического эффекта. Решение пробле-

мы реконструкции и модернизации существующего жилищного фонда имеет важное социально-экономическое значение в области обеспечения граждан современным жильем. Это позволяет не только поддерживать фонд в удовлетворительном техническом состоянии, снижать размеры потерь по ветхости, но и предполагает значительный социально-градостроительный эффект обновления жилой среды, получение дополнительной жилплощади на застроенных городских территориях, а также качественное обновление самого жилья [13–15].

Если проследить за «отношением стоимости жилья к возможной сумме накопления» в динамике, то значения в 2015 г. по сравнению с 2013 г. уменьшились на 12 и 7,2 месяцев, или на 15 % и 9,5% соответственно (рис. 1).

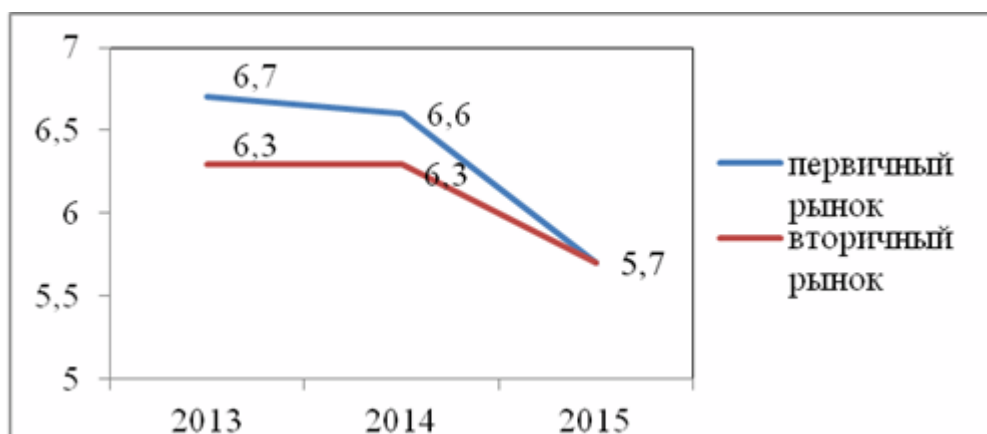


Рис. 1. Динамика показателя доступности жилья в регионе на первичном и вторичном рынках за 2013–2015 гг.

На графике отражено снижение возможного срока приобретения жилья, что свидетельствует о росте доступности жилья в регионе. Главными критериями такого снижения является рост среднедушевых денежных доходов населения и снижение стоимости 1 кв.м. типовой квартиры. Таким образом, основными факторами, влияющими на показатель уровня жизни населения, являются денежные доходы населения, величина прожиточного минимума и показатель соотношения среднедушевого дохода и величины прожиточного минимума, который за последние годы имеет положительную динамику роста.

За анализируемый период в 2014 г. наблюдался рост, а в 2014 г. происходило снижение показателя общей площади вводимого жилья. Динамика этого показателя в 2013 г. составила 106,5 %, в 2014 г. – 113,5 %, в 2015 г. – 105,8 %.

В Белгородской области предпринимаются различные меры по решению «квартирного вопроса», в том числе в виде региональных программ. Так для Правительства Белгородской области актуальной задачей является формирова-

ние нового сегмента рынка жилья – жилья экономического класса, доступного группе населения со средними доходами по ценовым качествам и отвечающего современным требованиям по качественным характеристикам в рамках программы «Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами жителей Белгородской области на 2014–2020 годы».

Набирает популярность Федеральная программа «Молодая семья», действие которой с 2016 года продлено еще на 5 лет. Программа призвана оказывать помощь молодежи, живущей на территории Белгорода и Белгородской области, в приобретении своего жилья.

В соответствии с общегосударственными мерами поддержки российских молодых семей, правительство в значительной степени помогает им разрешить одну из самых насущных проблем – жилищную.

Данная программа осуществляется путем предоставления семьям, зарегистрированным на территории России, целевой денежной помощи,

которая должна быть направлена исключительно на покупку или возведение собственного жилья.

Региональная программа «Молодая семья» в Белгороде и Белгородской области начала реализовываться еще в 2002 году. Она финансируется из средств местного и государственного бюджета, а также активного привлечения внебюджетных источников. На многих крупных предприятиях региона действуют свои системы помощи молодым сотрудникам, которые предоставляются вне зависимости от их участия в региональных или государственных социальных проектах. За время действия федеральной программы ею уже воспользовалось более 1000 жителей Белгородской области [4].

Также помощь в приобретении жилья оказывалась в рамках программ «Жилище», «Обеспечение молодых семей собственным жилищем» и «Обеспечение приобретения жилья молодым семьям в Белгороде и области», а в 2011–2015 гг. в рамках долгосрочной целевой программы «Обеспечение жильем молодых семей Белгородской области на 2011–2015 годы».

Таким образом, для обеспечения экономической безопасности региона необходимо создание механизма защиты его национальных интересов в области экономики, представляющего собой систему управленческих процедур, позволяющих региональным руководящим органам своевременно и эффективно отражать возникшие угрозы [6].

Так как основные интересы общества отражаются через социальную сферу, то для создания достойных условий жизни населения необходимо осуществление эффективной социально-экономической политики, в первую очередь связанной с доступностью жилья, что требует роста инвестиций в жилищное строительство. При этом показатель доступности жилья необходимо понимать несколько шире, нежели просто способность его приобретения гражданами. Данную проблему необходимо рассматривать в совокупности трех составляющих, таких как: приобретения жилья в частную собственность, найма жилых помещений и оплаты текущих затрат, связанных с содержанием, ремонтом и эксплуатацией жилья. Поэтому требуется расширение оценки доступности жилья за пределы его покупки.

Исходя из вышесказанного, очевидно, что постепенно повышается доступность приобретения жилья в России, в частности, в Белгородской области. Но, к сожалению, и сегодня далеко не для всех граждан жилье является доступным. В виду этого, недостаточно просто повышать платежеспособный спрос населения или

предложение на рынке недвижимости, необходимо сбалансированное воздействие как на спрос, так и на предложение при ключевой роли соответствующей государственной политики.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Новикова И.В. Красников Н.И. Индикаторы экономической безопасности региона // Вестник Томского государственного университета. 2010. №330. С. 132–138.
2. Рейтинг социально-экономического положения субъектов РФ. Итоги 2015 года [Электронный ресурс]: РИА Новости: [сайт]. М. 2015. Режим доступа: <http://ria.ru>.
3. Белгородская область в цифрах 2016: Крат. стат. сб./ Белгородстат. 2016. 289 с.
4. Программа молодая семья в г. Белгород и Белгородской области [Электронный ресурс]: Молодая семья. Руководство по участию. Режим доступа: <http://molodaja-semja.ru/>.
5. Цены и тарифы [Электронный ресурс]: Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Белгородской области: [сайт]. Б. 2016. Режим доступа: <http://belg.gks.ru/>.
6. Черемисина Н.В. Экономическая безопасность как комплексная оценка социально-экономического развития региона // Вестник Томского государственного университета. 2013. №4 (120). С. 160–171.
7. Невзорова М.Ю., Дорохова Е.И. Оценка состояния экономической безопасности Белгородской области // Проблемы и перспективы инновационного развития агротехнологий: сб. материалов XX Международной научно-производственной конференции, Белгород: Изд-во: Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина (Майский), 2016. С. 350–352.
8. Дорохова Е.И., Слащева И.А. Оценка состояния экономической безопасности Белгородской области // Актуальные проблемы экономики в условиях реформирования современного общества: сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 140-летию со дня основания НИУ «БелГУ», (Белгород, 25 ноя. 2015 г.), Белгород: Изд-во ООО «Эпицентр» 2016, С. 65–68.
9. Dorokhova E.I., Moskovkin V.M., Kamyshanchenko E.N., Stepanenko S.N., Lesovaya S.L., Ospishev P.I., Yakovlev E.A. Evaluation of the innovation potential of the regions of the central federal district of the Russian Federation // International Business Management. 2015. Т. 9. № 6. С. 1112–1118.
10. Пьянкова А.В., Дорохова Е.И. Методические подходы к оценке влияния

отдельных факторов на состояние и тенденции социально-экономического развития региона // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5. С. 386.

11. Черныш Н.Д., Коренькова Г.В., Митякина Н.А. «Качество жизни» применительно к малоэтажной застройке // «Строительство – 2012»: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Ростов н/Дону: Изд-во Рост. гос. строит. ун-та, 2012. С. 29-31.

12. Коренькова Г.В., Митякина Н.А., Черныш Н.Д. Градостроительная концепция развития и преобразования городской среды Белгорода // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Градостроительство: сб. статей [Электронный ресурс], (СГАСУ, 6-10 апр. 2015 г.), Самара: Изд-во СГАСУ, 2015. С. 130–135.

13. Черныш Н.Д., Коренькова Г.В., Митякина Н.А. Реконструкция жилых зданий как форма содействия реформированию ЖКХ

Белгородская область // Прошлое, настоящее и будущее: сб. ст. областной науч.-практ. конф., (Белгород, 22 дек. 2011 г.), Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2011. Ч. 3. С. 39–43.

14. Черныш Н.Д., Коренькова Г.В., Митякина Н.А. Реконструкция объектов в рамках инвестиционных проектов в Белгороде // Эффективные строительные конструкции: теория и практика: сб. ст. XII Междунар. науч.-техн. конф., Пенза: Приволжский дом знаний, 2012. С. 51–53.

15. Коренькова Г.В., Митякина Н.А., Черныш Н.Д. Возрождение исторического облика центрального квартала Белгорода // Культурно-историческое наследие строительства: вчера, сегодня, завтра: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., (Саратов, 13-14 ноя. 2014 г.), Саратов: Изд-во: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2014. С. 48–53.

---

**Dorokhova E.I., Korenkova G.V., Belikh T.V.**

#### **THE AVAILABILITY OF HOUSING IN BELGOROD REGION AS ONE OF THE INDICATORS OF ASSESSING THE LEVEL OF ECONOMIC SECURITY OF THE REGION**

*As the main interests of society are reflected through the social sphere, to create decent living conditions of the population it is necessary to implement effective socio-economic policy, primarily associated with housing affordability. Housing affordability is a significant element of economic security. The article deals with the regional component of economic security availability of housing for example, the Belgorod region. An evaluation of economic security the technique used for the benchmarking of the regional economy with their threshold values to identify possible threats to the imbalance of the regional system. The calculations show that in the Belgorod region the average family will be able to defer the required cash for the purchase of an apartment of medium quality (typical) on the primary market under the terms of the 2015 5.7 years, which is significantly below the acceptable thresholds. Also considered the possibility of buying an apartment on the secondary market. The article revealed reserves of increase of availability of habitation at the expense of reconstruction and modernization of the existing housing stock, involving significant social and urban regeneration of the living environment, more living space in built up urban areas and also due to the implementation of complex regional programs to form a new segment of the market housing that meets modern requirements in terms of quality.*

**Key words:** economic security of the region, methodology of assessment and indicators of economic security, affordable housing, to improve housing affordability, regional housing program, reconstruction and modernization.

---

**Дорохова Елена Ивановна**, кандидат экономических наук, доцент кафедры мировой экономики. Белгородский государственный национальный исследовательский университет.  
Адрес: Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85.  
E-mail: dorokhova@bsu.edu.ru

**Коренькова Галина Викторовна**, доцент кафедры архитектурных конструкций. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
E-mail: G-korenkova@yandex.ru

**Белых Татьяна Владимировна**, кандидат социологических наук, доцент кафедры социологии и организации работы с молодежью. Белгородский государственный национальный исследовательский университет.  
Адрес: Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85.  
E-mail: belikhtv@yandex.ru



DOI: 10.12737/article\_590878fb2eb2a0.97918298

Гавриловская С.П., канд. экон. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ВЫБОР И ОЦЕНКА ПОСТАВЩИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА

sgavril@inbox.ru

*Работа посвящена проблеме выбора поставщика в строительной организации. Формирование эффективной системы управления поставками и запасами по-прежнему остается одной из важных задач функционирования бизнеса. Ведь деятельность организации невозможна без эффективного использования ресурсов, доставляемых проверенными поставщиками, без надежного и долгосрочного присутствия на целевом рынке и достижения заданных критериев, обеспечивающих высокий уровень доходности. В работе представлено применение метода ELECTRE для решения вопроса выбора и оценки поставщика.*

**Ключевые слова:** выбор поставщика, критерии выбора, метод ELECTRE

Актуальной проблемой экономики России остается – обеспечение высокого уровня конкурентоспособности страны, ее предприятий и организаций. Высокие темпы научно-технического прогресса, приток инвестиций, направляемых на развитие производства с целью развития и совершенствования технологических процессов, приводящих к увеличению производительности труда, снижению издержек, росту оборачиваемости и ликвидности, внедрение инноваций, развитие автоматизированных информационных технологий – это только некоторые процессы, которые усиливают конкуренцию между участниками рынка. Широкие возможности, предоставляемые строительной фирме, независимо от ситуации на рынке возлагают на нее большее бремя ответственности за рациональность материально-технического обеспечения. В частности, сама строительная компания несет ответственность установления коммерческих связей по поставкам продукции производственно-технического назначения (надежность поставщиков, качество поставляемой продукции и т.п.), а также принятой с контрагентами ценовой политики (цены закупаемых материалов, тарифы на перевозки, наценки коммерческих посредников и т.п.) [1].

Проблема взаимодействия строительных организаций с поставщиками по-прежнему остается актуальной в системе формирования логистического менеджмента, а также в повышении эффективности деятельности организаций с целью снижения затрат. При этом разработка методики и инструментария обоснованного выбора поставщика остается важной в связи с наличием в бизнес-пространстве следующих тенденций [2]:

- необходимость изменения сущности, содержания и концепции взаимодействия со многими поставщиками или выбор одного надежно-

го и долгосрочного поставщика, удовлетворяющего условиям своевременности поставок и качества, а также отвечающего условиям маркетинговой концепции развития строительной организации;

- необходимость принятия единственно правильного и адекватного решения по взаимодействию с поставщиками в связи с увеличением их многообразия и разнообразия, с нивелированием различий между поставщиками по условиям поставки, предложению;

- необходимость существенного снижения затрат как на формирование поставки требуемых ресурсов, так и доставки заказа от поставщика;

- необходимость организации, осуществляющей взаимодействие с поставщиками, при выходе на рынок самой формировать коммерческое предложение.

Выбор оптимального поставщика в строительных организациях является одним из вопросов, требующих своевременного решения. Поиск решения осложняется трудностями, которые связаны с тем, что ведь не всегда однозначно можно выбрать поставщика по сформированному набору критериев. Ведь по одним критериям предполагаемый поставщик может быть лучшим, а по другим являться наихудшим [3].

Для решения данной проблемы, в организациях на первом этапе выполняют поиск потенциальных поставщиков, анализ их предложений и оценку возможного взаимодействия с ними.

На практике для поиска потенциальных поставщиков используются следующие способы [4]:

- если планируется закупка сырья, материалов на крупную сумму, то объявляется проведение тендера, что позволяет налаживать долгосрочные связи между поставщиками и потребителями;



– поиск ведется по рекламным материалам, которые предлагает потенциальный поставщик (фирменные каталоги, реклама или объявления в средствах массовой информации, официальный сайт организации);

– представители строительных организаций посещают выставки и ярмарки, знакомятся с товарами и потенциальными поставщиками;

– ведется личная переписка с возможными поставщиками.

В результате комплексного поиска появляется возможность сформировать перечень возможных поставщиков. Затем для оценки возможных поставщиков и выбора наилучшего в организации составляется перечень специальных критериев, позволяющий выполнить сравнительный анализ (таблица 1).

Таблица 1

**Группы критериев оценки поставщиков в строительных организациях [4]**

| Групповой признак                              | Наименования групп критериев                                                                                                                                               |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Репутация поставщика                           | экономическое состояние поставщика<br>выполнение контрактных обязательств<br>ценовая политика<br>наличие у поставщика системы менеджмента качества                         |
| Производственные и технологические возможности | техническая оснащенность предприятий поставщика<br>номенклатура предлагаемой продукции<br>эффективность контроля качества продукции;                                       |
| Условия поставки                               | возможные объемы поставок в строго установленные сроки<br>вид и норма отгрузки<br>дальность транспортировки, транспортные расходы<br>вид транспорта для доставки продукции |
| Послепродажное взаимодействие                  | готовность к удовлетворению необходимых пожеланий потребителя<br>межфирменная коммуникабельность<br>готовность к кооперации                                                |

На практике для выбора поставщика используется обычно метод рейтинговых оценок или метод доминирующих характеристик. Однако оба метода обладают существенными недостатками. Например, в методе доминирующих характеристик не учитываются многие параметры отбора, а применение метода рейтинговых оценок может привести к неверному принятию решения, поскольку совместно используют несопоставимые по смыслу данные, и с баллами, имеющими смысл качественных оценок, производят арифметические действия [5].

Для рациональной оценки и обоснованного выбора поставщика инструменты экономико-математического моделирования на сегодняшний день остаются самым надежным инструментом в решении этой проблемы. А наиболее эффективными математическими методами являются те, которые основываются на использовании методологии многокритериальной оптимизации, посвященной проблемам выбора принципов оптимальности и методов нахождения их реализаций в экстремальных задачах с несколькими критериями [6].

Далее в работе рассмотрим применение метода ELECTRE для решения проблемы выбора поставщика. Целью метода является отсеивание неперспективных альтернатив и выделение некоторого подмножества недоминирующих друг относительно друга альтернатив. Доминирование одной альтернативы над другой определяется не строго математически, а в смысле опреде-

ленной степени несогласованности на основе некоторой величины отклонения. Устанавливаются некоторые отношения доминирования, подмножества соответствия и несоответствия (так называемые множества конкордации и дисконкордации) всего множества целевых функций для каждой пары различных рассматриваемых альтернатив. На основе показателей, характеризующих эти подмножества, делаются выводы о доминировании одной альтернативы относительно другой либо невозможности установления факта доминирования [7]. Основные этапы метода представлены на рис. 1. В таблице 2 представлены основные математические соотношения для расчетов показателей, применяемые на каждом этапе метода.

Как любой из методов анализа метод ELECTRE имеет преимущества, к которым можно отнести:

– оценка каждой альтернативы является не абсолютной, а относительной по сравнению с другими альтернативами;

– уровни коэффициентов согласия и несогласия представляют собой инструмент анализа для лица принимающего решения;

– поэтапность выявления предпочтений лица принимающего решения;

– возможность выделить альтернативы с противоречивыми оценками.

Но метод ELECTRE не лишен недостатков. А именно,

- не определяется количественный показатель качества каждой альтернативы;
- при наличии большого количества альтернатив значительно увеличивается трудоемкость;
- важность критериев  $w_k$  назначается лицом, принимающим решения.

Рассмотрим реализацию метода ELECTRE на примере выбора поставщика строительной организации. В ходе анализа была сформирована группа основных критериев и выбраны пять поставщиков для организации. По результатам исследования составлена таблица 3.



Рис. 1. Общая схема метода ELECTRE

Таблица 2

## Основные математические формулы метода

| № | Матрица                                                    | Формула для расчета                                                                                                                                                                                                         |
|---|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Матрица нормализации<br>$D =   d_{lk}  _{mm}$              | $d_{lk} = \frac{f_k(X   A_l)}{\sum_{l=1}^m f_k(X   A_l)}, l = 1, \dots, m; k = 1, \dots, R$                                                                                                                                 |
| 2 | Средневзвешенная матрица<br>$P =   p_{lk}  _{mm}$          | $p_{lk} = w_k \cdot d_{lk}, l = 1, \dots, m; k = 1, \dots, R$                                                                                                                                                               |
| 3 | Множества конкордации $IK_{ql}$ и дисконкордации $ID_{ql}$ | $IK_{ql} = \{k \in I \mid f_k(X   A_q) \geq f_k(X   A_l)\}$ $ID_{ql} = \{k \in I \mid f_k(X   A_q) < f_k(X   A_l)\}$ Причем $IK_{ql} \cup ID_{ql} = I, IK_{ql} \cap ID_{ql} = \emptyset$ .                                  |
| 4 | Матрица конкордации<br>$C =   c_{lk}  _{mm}$               | $c_{ql} = \frac{\sum_{k \in IK_{ql}} w_k}{\sum_{k \in ID_{ql}} w_k} \quad \text{или} \quad c_{ql} = \frac{\sum_{k \in IK_{ql}} w_k}{\sum_{k \in IK_{ql}} w_k + \sum_{k \in ID_{ql}} w_k}, l = 1, \dots, m; k = 1, \dots, R$ |
| 5 | Матрица дисконкордации<br>$H =   h_{lk}  _{mm}$            | $h_{ql} = \frac{\max_{k \in ID_{ql}}  d_{ql} - d_{lk} }{\max_{k \in I}  d_{ql} - d_{lk} }, q, l = 1, \dots, m, q \neq l$                                                                                                    |
| 6 | Булева матрица конкордации<br>$V =   v_{lk}  _{mm}$        | $v_{ql} = \begin{cases} 1, & \text{if } c_{ql} \geq \bar{c} \\ 0, & \text{if } c_{ql} < \bar{c} \end{cases}, \bar{c} = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{q=1}^m \sum_{l=1}^m c_{ql}, q \neq l$                                         |

|   |                                                       |                                                                                                                                                                                       |
|---|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7 | Булева матрица дисконкордации $M = \ \mu_{kl}\ _{mm}$ | $\mu_{ql} = \begin{cases} 1, & \text{if } h_{ql} \geq \bar{h} \\ 0, & \text{if } h_{ql} < \bar{h} \end{cases}, \bar{h} = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{q=1}^m \sum_{l=1}^m h_{ql}, q \neq l$ |
| 8 | Результирующая матрица $T = \ t_{kl}\ _{mm}$          | $t_{ql} = \begin{cases} 1, & \text{if } v_{ql} = 1, \mu_{ql} = 1 \\ 0, & \text{if } (v_{ql} = 0 \vee \mu_{ql} = 0) \end{cases}, q, l = 1, \dots, m, q \neq l$                         |

Условные обозначения:  $f_k(X|A_l)$  – оценка критерия  $k$  для альтернативы  $A$ ;  $d_{lk}$  – элемент матрицы нормализации;  $R$  – количество измеряемых критериев,  $w_k$  – вес критерия;  $p_{lk}$  – элемент матрицы средневзвешенных значений;  $I$  – множество локальных критериев;  $c_{kl}$  – элемент матрицы индексов конкордации;  $h_{kl}$  – элемент матрицы индексов дисконкордации;  $\bar{c}$  – пороговое значение для индексов  $c_{kl}$ ;  $v_{kl}$  – элемент булевой матрицы конкордации;  $\bar{h}$  – пороговое значение для индексов  $h_{kl}$ ;  $\mu_{kl}$  – элемент булевой матрицы дисконкордации;  $t_{kl}$  – элемент результирующей матрицы

Таблица 3

## Показатели для анализа и выбора поставщика

| Критерий                                                | Поставщик 1 | Поставщик 2 | Поставщик 3 | Поставщик 4 | Поставщик 5 |
|---------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Цена за условную единицу продукции, тыс. руб.           | 1642        | 1836        | 1145        | 1978        | 1544        |
| Минимальная партия продукции, ед.                       | 500         | 300         | 1500        | 100         | 250         |
| Расстояние от поставщика, км                            | 1000        | 500         | 800         | 400         | 900         |
| Общее количество не выполнения контрактных обязательств | 1           | 2           | 0           | 0           | 1           |
| Срок поставки продукции                                 | 1 месяц     | 1,5 месяца  | 2 месяца    | 0,5 месяца  | 1 месяц     |
| Транспортные расходы, тыс. руб.                         | 1500        | 800         | 2200        | 1500        | 1000        |
| Качество продукции                                      | Среднее     | Высокое     | Низкое      | Высокое     | Среднее     |
| Наличие партнерской программы                           | Есть        | Нет         | Нет         | Есть        | Есть        |

В ходе исследования выполнена оценка параметров по 10-ти бальной шкале, также по каждому показателю экспертным путем были

установлены весовые показатели  $w_i$ , отражающие значимость каждого критерия (таблица 4).

Таблица 4

## Оценка критериев и альтернатив

| Альтернативы               | Значение локальных критериев по каждой альтернативе |                  |                      |                |                |                     |                    |                       |
|----------------------------|-----------------------------------------------------|------------------|----------------------|----------------|----------------|---------------------|--------------------|-----------------------|
|                            | Цена, $f_1(A)$                                      | Партия, $f_2(A)$ | Расстояние, $f_3(A)$ | Сбои, $f_4(A)$ | Срок, $f_5(A)$ | Тран_расх, $f_6(A)$ | Качество, $f_7(A)$ | Партнерство, $f_8(A)$ |
| Поставщик 1 ( $A_1$ )      | 5                                                   | 6                | 1                    | 6              | 6              | 5                   | 7                  | 7                     |
| Поставщик 2 ( $A_2$ )      | 4                                                   | 5                | 6                    | 2              | 3              | 9                   | 10                 | 4                     |
| Поставщик 3 ( $A_3$ )      | 9                                                   | 7                | 5                    | 10             | 1              | 2                   | 3                  | 3                     |
| Поставщик 4 ( $A_4$ )      | 3                                                   | 2                | 8                    | 10             | 8              | 5                   | 9                  | 9                     |
| Поставщик 5 ( $A_5$ )      | 6                                                   | 4                | 3                    | 7              | 6              | 7                   | 6                  | 8                     |
| Сумма значений критериев   | 27                                                  | 24               | 23                   | 35             | 24             | 28                  | 35                 | 31                    |
| Весовой параметр ( $w_i$ ) | 0,25                                                | 0,1              | 0,05                 | 0,05           | 0,15           | 0,1                 | 0,2                | 0,1                   |

В результате расчетов согласно общей схеме метода оценены матрицы средневзвешенных показателей, булевые матрицы согласованности

и несогласованности, а также матрица доминирования (таблицы 5–8).

Таблица 5

## Оценка матрицы средневзвешенных значений (P)

| Матрица P | $f_1(A)$ | $f_2(A)$ | $f_3(A)$ | $f_4(A)$ | $f_5(A)$ | $f_6(A)$ | $f_7(A)$ | $f_8(A)$ |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $A_1$     | 0,046    | 0,022    | 0,002    | 0,011    | 0,033    | 0,019    | 0,052    | 0,026    |
| $A_2$     | 0,037    | 0,019    | 0,011    | 0,004    | 0,017    | 0,033    | 0,074    | 0,015    |
| $A_3$     | 0,083    | 0,026    | 0,009    | 0,019    | 0,006    | 0,007    | 0,022    | 0,011    |
| $A_4$     | 0,028    | 0,007    | 0,015    | 0,019    | 0,044    | 0,019    | 0,067    | 0,033    |
| $A_5$     | 0,056    | 0,015    | 0,006    | 0,013    | 0,033    | 0,026    | 0,044    | 0,030    |

Таблица 6

## Оценка булевой матрицы согласованности (V)

| Матрица V | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ | $A_5$ |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $A_1$     | -     | 1     | 1     | 0     | 0     |
| $A_2$     | 0     | -     | 1     | 1     | 0     |
| $A_3$     | 0     | 0     | -     | 0     | 0     |
| $A_4$     | 1     | 0     | 1     | -     | 1     |
| $A_5$     | 1     | 1     | 1     | 0     | -     |

Таблица 7

## Оценка булевой матрицы несогласованности (M)

| Матрица M | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ | $A_5$ |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $A_1$     | -     | 1     | 1     | 0     | 1     |
| $A_2$     | 0     | -     | 0     | 1     | 0     |
| $A_3$     | 0     | 0     | -     | 0     | 0     |
| $A_4$     | 1     | 0     | 1     | -     | 1     |
| $A_5$     | 0     | 1     | 0     | 0     | -     |

Таблица 8

## Матрица доминирования (T)

| Матрица T | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ | $A_5$ |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $A_1$     | -     | 1     | 1     | 0     | 0     |
| $A_2$     | 0     | -     | 0     | 1     | 0     |
| $A_3$     | 0     | 0     | -     | 0     | 0     |
| $A_4$     | 1     | 0     | 1     | -     | 1     |
| $A_5$     | 0     | 1     | 0     | 0     | -     |

Условия доминирования среди множества альтернатив представлены в виде направленного

графа, вершинами которого являются выбранные альтернативы (поставщики) (рис. 2).

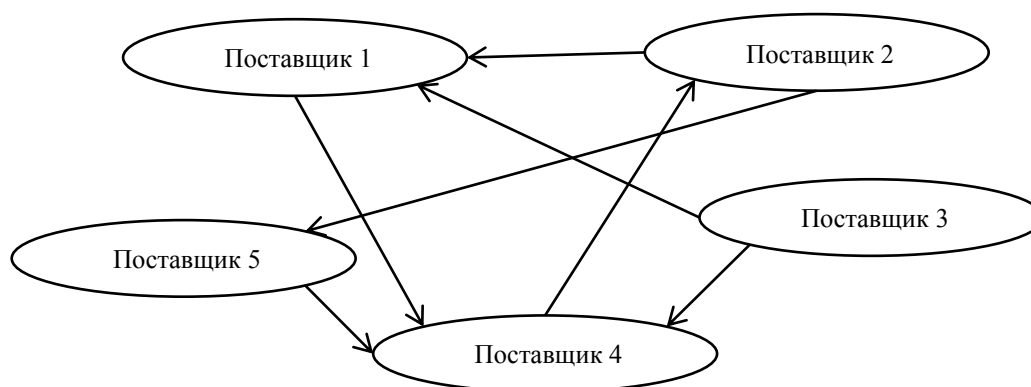


Рис. 2. Результирующий граф предпочтений

Проведенные расчеты показывают, что поставщик 4 является наиболее предпочтительным в сравнении с другими поставщиками по совокупности критериев. Поставщик 3 уступает всем претендентам, несмотря на самую низкую цену закупки продукции. Поставщики 1 и 5 имеют равные позиции в сравнении с остальными. А поставщик 2 имеет ряд преимуществ в сопоставлении с поставщиком 4, но проигрывает по приоритетности поставщикам 1 и 5.

Представленная методика позволяет выбрать альтернативы, которые на первый взгляд не являются предпочтительными, что в даль-

нейшем может оказать влияние на принятие решения по выбору поставщика. Методика позволяет применять любые критерии без изменения общей схемы принятия решения, что является наиболее важным при учете достаточно большого количества альтернатив.

Внедрение в организации предлагаемой методики выбора приоритетного поставщика с использованием метода ELECTRE облегчит работу специалистов отдела логистики, ускорит процесс выбора в режиме реального времени и снизит затраты организации.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Ермолина А.Ю. Выбор поставщиков материально-технических ресурсов в строительных организациях // Экономические науки. 2009. №8(57). С. 307–311.

2. Дегтярева Н.М., Яковлев Р. Методические подходы к выбору и оценке поставщиков предприятия [Электронный ресурс] Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/metodicheskie-podhody-k-vyboru-i-otsenke-postavschikov-predpriyatiya>. (дата обращения 15.03.2017)

3. Старикова М.С. Оценка ожидаемой результативности партнерских взаимодействий предпринимательских структур // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №5. С. 207–211.

4. Сысолятин А.В. Выбор поставщика в закупочной деятельности торговой фирмы [Электронный ресурс] Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: [http://nauka-](http://nauka-rastudent.ru/12/2256/)

[rastudent.ru/12/2256/](http://nauka-rastudent.ru/12/2256/). (дата обращения 03.02.2017)

5. Лещинский Б.С., Конкина Ю.А. Выбор поставщика в условиях разнотипности данных с использованием методов теории нечетких множеств [Электронный ресурс] Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/vybor-postavschika-v-usloviyah-raznotipnosti-dannyh-s-ispolzovaniem-metodov-teorii-nechetkih-mnozhestv> (дата обращения: 19.03.2017).

6. Рудычев А.А., Гавриловская С.П., Никитина Е.А., Ярмоленко Л.И. К вопросу применения методологии многокритериальной оптимизации в системе управления конкурентоспособностью предприятия // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. №5. С. 244–247.

7. Зак Ю.А. Принятие многокритериальных решений. М.: Изд. Экономика, 2011. 236 с.

**Gavrilovskaya S.P.**

**SELECTION AND EVALUATION OF THE SUPPLIER USING THE MULTI-CRITERIAL SELECTION METHOD**

*The work is devoted to the problem of choosing a supplier in a construction organization. The formation of an effective supply and inventory management system remains one of the important tasks of business. Thus, the organization's activities are impossible without the effective use of resources delivered to verified suppliers, without a reliable and long-term presence in the target market and achieving the set criteria that ensure a high level of profitability. In USE, this is the ELECTRE method used to solve the issue of selecting and evaluating equipment.*

**Key words:** *supplier choice, selection criteria, ELECTRE method*

**Гавриловская Светлана Петровна**, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и организации производства.

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

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

E-mail: [sgavril@inbox.ru](mailto:sgavril@inbox.ru)

DOI: 10.12737/article\_590878fb275474.55656173

*Костыря А.В., канд. экон. наук, доц.**Белгородский государственный национальный исследовательский университет  
зам. начальника отдела городского планирования и развития**МАУ «Институт муниципального развития и социальных технологий»**Сергеева Т.С., канд. экон. наук, зам. директора по научной и проектной деятельности  
МАУ «Институт муниципального развития и социальных технологий»*

## ОЦЕНКА РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ГОРОДА БЕЛГОРОДА ДО 2025 ГОДА И ВЫПОЛНЕНИЯ ПЛАНА МЕРОПРИЯТИЙ ОРГАНОВ МЕСТНОГО САМОУПРАВЛЕНИЯ НА 2016 ГОД

---

**nutako@rambler.ru**

---

*Оценка реализации Стратегии развития города Белгорода до 2025 года и выполнения плана мероприятий органов местного самоуправления на 2016 г. была проведена с точки зрения уровня достижения интегральных индексов и индикаторов качества жизни.*

*Применяемая в анализе методика основывается на определении уровня достижения того или иного индекса и индикатора качества жизни относительно планового роста (сокращения), запланированного в 2015 г. для достижения в 2016 г.*

**Ключевые слова:** *Стратегия развития города Белгорода до 2025 года, индикаторы качества жизни, интегральные индексы, уровень достижения.*

---

**Введение.** Стратегия развития города Белгорода до 2025 года является основополагающим документом стратегического планирования и развития городской территории в различных сферах жизнедеятельности. В свою очередь, ее анализ является важным процессом в выявлении правильности выбранного стратегического направления развития городской территории и уровня достижения интегральных показателей, закрепленных за тремя основными направлениями Стратегии.

**Методология.** Применяемая в анализе методика основывается на определении уровня достижения того или иного индекса и индикатора качества жизни относительно планового роста (сокращения), запланированного в 2015 г. для достижения в 2016 г. Для этого рассчитывается фактический рост (сокращение) показателя относительно 2015 г. и относится к плановому росту (сокращению), запланированному для 2016 г. в 2015 г. Полученный результат умножается на 100 % для перевода результата в процентное исчисление. Таким образом учитывается темп роста (сокращения) показателя, исходя из достигнутого уровня в 2015 г.

Использовать в аналитических расчетах показатель роста (сокращения) индексов и индикаторов качества жизни относительно планового уровня 2016 г. мы считаем недостаточным инструментом, т.к. не будут учтены ресурсные затраты, понесенные для достижения исходной позиции в 2015 г.

Полученные в данном анализе уровни достижения тех или иных индексов и индикаторов качества жизни, величины которых больше или

меньше 100-процентного значения, учитывают, в первом случае, шаги, опережающие плановый уровень, а во втором, – «шаги назад», за плановый уровень.

Стоит отметить, что плановый уровень достижения таких индикаторов качества жизни, как ежегодное снижение потребления энергоресурсов в МКД; ежегодное снижение мест концентрации дорожно-транспортных происшествий; удовлетворенность населения уровнем и качеством общественной безопасности; показатель рождаемости на 1000 жителей; показатель первичной заболеваемости взрослого населения на 100000 человек; охват детей дошкольным образованием; доля молодежи от 14 до 30 лет, принимающей участие в общественно значимой деятельности; количество социальных инициатив, поданных для участия в конкурсах некорректно отражены в Стратегии развития города Белгорода, т.к. не отражают динамики роста (сокращения) по отношению к фактически достигнутому уровню в 2015 г., в связи с чем уровни их достижения были определены, исходя из планового уровня и фактически достигнутого показателя в 2016 г.

Вместе с тем плановые показатели самих индексов здоровья и гражданской активности также указаны в Стратегии развития города Белгорода до 2025 года некорректно по отношению к 2015 г. по выше названной причине, и также уровень их достижения был определен по указанной методике.

**Основная часть.** В результате нами был сделан вывод о том, что на текущий период в среднем реализация Стратегии составила

105,53 % плановых показателей 2016 г. по отношению к достигнутому уровню в 2015 г. (табл. 1). Причиной этому стало как превышение индексами безопасности жизнедеятельности, интеллектуального потенциала населения, социального благополучия и качества муниципального управления 100-процентного уровня, так и отрицательное значение уровня достижения индекса экономического развития.

Индексу здоровья и индексу гражданской активности не хватило совсем немного для того, чтобы достичь планового уровня в 100 % – 0,24 % и 2,82 % соответственно.

Следует отметить, что сложившаяся позитивная ситуация стала результатом того, что

плановые показатели 2016 г. формировались при внесении изменений в Стратегию развития города Белгорода до 2025 г. в конце 2016 г., когда примерно были известны конечные фактические результаты. Кроме того, изменение методики расчета интегральных индексов и увеличение их общего числа привело к несопоставимости полученных результатов за 2016 г. и ранее рассчитанных значений индексов за 2012–2014 гг., что сделало невозможным полностью оценить план действий органов местного самоуправления в 2012–2016 гг. и проанализировать динамику изменений интегральных индексов за указанный период.

Таблица 1

### Уровни достижения направлений Стратегии развития города Белгорода до 2025 года на 2016 г

| Направление Стратегии, Индекс                                                               | Уровень достижения, % |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| <b>Обеспечение устойчивого развития экономики города и городской среды</b>                  | <b>16,91</b>          |
| Инфраструктурный индекс                                                                     | 84,52                 |
| Индекс экономического развития                                                              | -183,78               |
| Индекс безопасности жизнедеятельности                                                       | 150                   |
| <b>Инвестиции в человека</b>                                                                | <b>146,53</b>         |
| Индекс здоровья                                                                             | 99,76                 |
| Индекс интеллектуального потенциала населения                                               | 103,72                |
| Индекс социального благополучия                                                             | 236,11                |
| <b>Повышение качества муниципального управления и развитие общественного самоуправления</b> | <b>153,14</b>         |
| Индекс гражданской активности                                                               | 97,18                 |
| Индекс качества муниципального управления                                                   | 209,09                |
| <b>Стратегия развития города Белгорода</b>                                                  | <b>105,53</b>         |

Как свидетельствуют данные анализа наибольших успехов среди всех интегральных индексов удалось достигнуть индексу качества муниципального управления – его значение увеличилось в отчетном году по сравнению с 2015 г. на 0,253 пункта или практически на 50 % (46,59 %). Минимального роста по отношению к другим интегральным индексам достиг индекс интеллектуального потенциала населения. Его величина составила 0,551 пункта, что на 0,008 пункта выше значения 2015 г. При этом ряд интегральных индексов, таких как экономического развития, здоровья и гражданской активности, наоборот, снизили свои значения по отношению к 2015 г. на 0,031, 0,049 и 0,063 пункта соответственно.

В результате за счет взаимного влияния на направления Стратегии уровень достижения направления 3 – «Повышение качества муниципального управления и развитие общественного самоуправления» – превысил плановые 100% на 53,14 %, направления 2 – «Инвестиции в человека» – на 46,53 %, и только уровень достижения направления 1 – «Обеспечение устойчивого развития экономики города и городской

среды» – составил 16,91 %, что меньше планового показателя почти в 6 раз (табл. 1).

В свою очередь, достигнуть указанных уровней по направлениям Стратегии и индексам позволили уровни достижения индикаторов качества жизни, составляющие последних.

Проведенный нами анализ свидетельствует о том, что уровень достижения индекса экономического развития на 2016 г. составил – 183,78 %, что является единственным отрицательным показателем среди уровней достижения других индексов Стратегии. Это явилось результатом сокращения уровней достижения количества субъектов малого предпринимательства на 10000 населения на – 622,73 %, налоговых поступлений от субъектов малого и среднего предпринимательства – на -249,65 %, объема товаров собственного производства, отгруженных на экспорт – на -216,35 % и удовлетворенности населения экономическим развитием города – на -362,76 %. Ряд показателей, таких как объем инвестиций в основной капитал из всех источников финансирования на душу населения и число туристов и экскурсантов, наоборот, превысили плановый уровень в 100 % в 4,8 и 2,3

раза соответственно. Положительную тенденцию показали удельный вес инновационной продукции в общем объеме отгруженной продукции, доля малых инновационных предприятий в общем объеме малых предприятий, оборот розничной торговли и валовой муниципальный продукт на душу населения; их уровни достижения достигли планового уровня в 100 %. При этом стоит отметить, что уровень достижения оборота организаций по видам экономической деятельности составил 53,85 %.

Не достигнуть планового уровня в 100 % инфраструктурному индексу не позволили, в первую очередь, удовлетворенность населения жилищно-коммунальными услугами, доля застроенных участков в микрорайонах ИЖС с подведенными коммуникациями и построенными подъездными путями в общем количестве участков и удовлетворенность населения благоустройством, уровень достижения которых составил, соответственно, -330,14 %, -100 % и -111,73 %. Наоборот, уровни достижения удельной энергоемкости валового муниципального продукта и удовлетворенности населения транспортным обслуживанием превысили плановый уровень на 162,91 % и 1368,83 % соответственно. При этом оставшаяся большая часть индикаторов качества жизни, составляющих инфраструктурный индекс, достигли планового уровня.

Уровень достижения индекса безопасности жизнедеятельности на 2016 г. составил 150 %, что в 1,5 раза выше планового уровня. Это произошло вследствие того, что два индикатора качества жизни, составляющие данный индекс, намного превысили плановую «черту»: индекс вероятности гибели граждан от неестественных причин – в 4,25 раза и уровень производственного травматизма на 1000 работающих – в 2 раза. В свою очередь, рост индекса экологического благополучия остановился на плановом уровне. Напротив, удельному весу преступлений на 100000 населения и удовлетворенности населения уровнем и качеством общественной безопасности немного не хватило до достижения ими планового уровня – 0,79 % и 4,27 % соответственно.

Вместе с тем, стоит отметить, что ни один индикатор качества жизни, составляющий индекс безопасности жизнедеятельности не имеет негативной окраски.

Наибольшее влияние, по нашему мнению, на уровень достижения индекса здоровья (до планового уровня ему не хватило 0,24 %) оказали показатель смертности на 1000 жителей, превысивший 100-процентный уровень выполнения в 2 раза; показатель рождаемости на 1000 жите-

лей, «перешагнувший» плановый рубеж на 1,72 %; доля детей I и II групп здоровья в общей численности обучающихся в муниципальных образовательных учреждениях, опередившая план 2016 г. на 28,57 %; показатель первичной заболеваемости взрослого населения на 100000 населения, опередивший плановый уровень на 22,45 %; доля населения, систематически занимающегося физической культурой и спортом, превысившая плановый рубеж в 2,6 раза; доля населения, принявшего участие в тестировании всероссийского спортивного комплекса «ГТО», уровень достижения которой составил 100 %; и удовлетворенность населения качеством оказания медицинской помощи, «перешагнувшая» 100-процентный уровень на 76,44 %.

Вместе с тем, уровень достижения показателя младенческой смертности на 100 человек, родившихся живыми, составил 66,67 %.

Наихудшие результаты показали ожидаемая продолжительность жизни при рождении и доля населения, охваченного медицинскими осмотрами, – их уровни достижения составили 26,67 % и 5 % соответственно.

Вместе с тем, стоит отметить, что ни один индикатор качества жизни, составляющий индекс здоровья не имеет негативной окраски.

Отрицательный уровень достижения индекса интеллектуального потенциала населения (-0,8 %) обеспечился за счет негативных уровней достижения следующих индикаторов качества жизни: удовлетворенности населения качеством дошкольного (-6800 %), общего (-2875 %) и дополнительного (-1675 %) образования и количества посещений (в том числе виртуальных) муниципальных библиотек на 1000 человек населения (-225 %).

В то же время число победителей олимпиад, конкурсов, фестивалей регионального уровня и выше; численность учащихся в учреждениях дополнительного образования детей в сфере культуры; охват детей школьного возраста различными формами отдыха и оздоровления; доля объектов культурного наследия, находящихся в муниципальной собственности и не требующих консервации и реставрации, в общем количестве объектов культурного наследия, находящихся в муниципальной собственности; количество посещений учреждений выставочного типа полностью соответствуют плановым показателям.

Но стоит отметить, что при этом есть четыре индикатора качества жизни, составляющие индекс интеллектуального потенциала населения, которые превысили плановый уровень 2016 г. Это охват детей дошкольным образованием – 103,72 %, охват детей дополнительным образованием – 1100 %, количество посетителей культур-



но-массовых мероприятий – 4142,86 %, удовлетворенность населения качеством предоставляемых услуг в сфере культуры – 143,3 %.

Наибольшее влияние на уровень достижения индекса социального благополучия (его величина превысила плановый уровень в 2,7 раза) оказали количество семей с 3 и более детьми – 266,67 %, годовая среднемесячная начисленная заработная плата – 111,45 %, доля малообеспеченных граждан – 112,5 %, отношение годовой среднемесячной начисленной заработной платы к прожиточному минимуму – 129 %, уровень зарегистрированной безработицы – 425 % и доля аварийного жилья – 110 %.

Вместе с тем, уровень достижения обеспеченности населения жильем и индекса фондов соответствуют плановым значениям.

Стоит отметить, что ни один индикатор качества жизни, составляющий индекс социального благополучия не имеет негативной окраски.

Уровень достижения индекса гражданской активности на 2016 г. составил 97,18 %. Это произошло, на наш взгляд, благодаря количеству социальных инициатив, поданных для участия в конкурсах, чей уровень достижения превышает плановый уровень 2016 года на 13,33 %, а также доле молодежи от 14 до 30 лет, принимающей участие в общественно значимой деятельности; количеству граждан пожилого возраста, участвующих в образовательном процессе; численности граждан пожилого возраста, входящих в Активы пожилых, ведущих работу в микрорайонах по месту жительства; количеству городов, участвующих в совместных проектах, чей уровень достижения соответствует плановым значениям.

Более скромных показателей достигли индекс солидарности и удовлетворенность населения информационной открытостью ОМС; их уровни достижения составили 62,25 % и 51,11 % соответственно.

На фоне этого уровень достижения количества граждан, вовлеченных в работу ТОС, имеет негативный окрас – -231,92 %.

И, наконец, превысить плановый показатель уровня достижения более чем в 2 раза индексу качества муниципального управления помогли доля муниципальных служащих, прошедших подготовку и переподготовку (155,4 %). Показатель доли граждан, имеющих доступ к получению государственных и муниципальных услуг по принципу «одного окна» по месту пребывания, в т.ч. в МФЦ предоставления государственных и муниципальных услуг, выполнен на 100 %. Удовлетворенность населения деятельностью органов местного самоуправления установилась на уровне 85,58 %, тогда как показате-

тель бюджетобеспеченности на душу населения показал наименьший результат среди всех индикаторов качества жизни, составляющих индекс качества муниципального управления, – 41,18 %.

**Выводы.** Таким образом, на основе проведенного анализа реализации Стратегии развития города Белгорода до 2025 года и выполнения плана мероприятий органов местного самоуправления на 2016 г. можно сделать следующие выводы.

Во-первых, уровень реализации Стратегии в целом в 2016 г. превышает плановый уровень более чем на 5 %.

Во-вторых, из трех направлений, представленных в Стратегии развития города Белгорода до 2025 года, лишь одно – «Обеспечение устойчивого развития экономики города и городской среды» – не достигло плановых показателей, тогда как два остальных перешли плановую «черту». Такое положение дел есть результат отрицательного значения интегрального индекса экономического развития, входящего в данное направление Стратегии.

В-третьих, отставание индексов от плановых показателей, в свою очередь, является результатом низкого уровня индикаторов качества жизни. При этом имеет место быть не просто отставание индикаторов качества жизни от плановых показателей, а снижение их количественных показателей далеко за уровень 2015 г. Перечень наиболее «проблемных» индикаторов качества жизни представлен в таблице 2.

В-четвертых, перевыполнение установленных плановых уровней по тем или иным индикаторам может свидетельствовать о высокой удельной эффективности бюджетного финансирования на каждый авансированный рубль, что показывает необходимость снижения бюджетного финансирования по данному направлению и перераспределения денежных средств внутри муниципальных программ на финансирование «отстающих» индикаторов.

В-пятых, исходя из предыдущего пункта, невыполнение плановых уровней по тем или иным индикаторам может свидетельствовать, наоборот, о низкой удельной эффективности бюджетного финансирования и говорить о необходимости изыскания возможности увеличения бюджетного финансирования по данному направлению.

И, в-шестых, отличие полученных оценок реализации Стратегии через муниципальные программы, проекты, концепции и мероприятия от результатов, полученных в данном исследовании может свидетельствовать о несопоставимости количественных показателей эффектив-

ности реализации муниципальных программ и проектов и индикаторов качества жизни, низкой поддержке индикаторами качества жизни по-

ставленных в Стратегии целей и задач, заранее заниженных плановых количественных показателей индикаторов качества жизни.

Таблица 2

**Перечень индикаторов качества жизни, чьи количественные значения определяются за уровнем 2015 года**

| Направление Стратегии                                                                                   | Цель                                                                            | Интегральный индекс                           | Индикатор качества жизни                                                                                                        | Значение 2015 г. | Значение 2016 г. | Уровень достижения в отчетном году, % |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|---------------------------------------|
| Направление 1<br>«Обеспечение устойчивого развития экономики города и городской среды»                  | Развитие экономического потенциала                                              | Индекс экономического развития                | Количество субъектов малого предпринимательства на 10000 населения, ед.                                                         | 727              | 612              | -622,73                               |
|                                                                                                         |                                                                                 |                                               | Налоговые поступления от субъектов малого и среднего предпринимательства в бюджет городского округа «Город Белгород», тыс. руб. | 402722           | 372600           | -249,65                               |
|                                                                                                         |                                                                                 |                                               | Объем товаров собственного производства, отгруженных на экспорт, млн руб.                                                       | 5244,47          | 4032,7           | -216,35                               |
|                                                                                                         |                                                                                 |                                               | Удовлетворенность населения экономическим развитием города, %                                                                   | 64,67            | 48,3             | -362,76                               |
|                                                                                                         | Создание комфортной и эстетичной территории жизнедеятельности                   | Инфраструктурный индекс                       | Удовлетворенность населения жилищно-коммунальными услугами, %                                                                   | 47,92            | 41,2             | -330,14                               |
|                                                                                                         |                                                                                 |                                               | Удовлетворенность населения благоустройством города, %                                                                          | 86,09            | 85,9             | -111,73                               |
| Направление 2<br>«Инвестиции в человека»                                                                | Развитие духовного, культурного и интеллектуального потенциала населения города | Индекс интеллектуального потенциала населения | Удовлетворенность населения качеством дошкольного образования, %                                                                | 66,3             | 52,9             | -6800                                 |
|                                                                                                         |                                                                                 |                                               | Удовлетворенность населения качеством общего образования, %                                                                     | 67,6             | 56,5             | -2875                                 |
|                                                                                                         |                                                                                 |                                               | Удовлетворенность населения качеством дополнительного образования детей, %                                                      | 60,6             | 54,3             | -1675                                 |
|                                                                                                         |                                                                                 |                                               | Количество посещений (в том числе виртуальных) муниципальных библиотек на 1000 человек населения                                | 1231             | 1226             | -225                                  |
| Направление 3<br>«Повышение качества муниципального управления и развитие общественного самоуправления» | Формирование солидарного городского общества                                    | Индекс гражданской активности                 | Количество граждан, вовлеченных в работу ТОС, чел.                                                                              | 198953           | 172506           | -231,92                               |

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. О внесении изменений в решение Совета депутатов города Белгорода от 30 января 2007 года № 413 «Об утверждении Стратегии развития города Белгорода до 2025 года и Плана мероприятий органов местного самоуправления по

реализации Стратегии развития города Белгорода до 2025 года на 2012–2016 годы // Решение Совета депутатов города Белгорода от 29 ноября 2016 г. № 439.

---

**Kostyrya A.V., Sergeeva T.S.**

**ASSESSMENT OF THE IMPLEMENTATION OF THE STRATEGY FOR  
THE DEVELOPMENT OF THE CITY OF BELGOROD UNTIL  
2025 YEAR TO YEAR 2016**

*Assessment of the implementation of the strategy for the development of the city of Belgorod until the year 2025 and the implementation of the plan of activities of local self-government bodies in 2016, was held in terms of the level of achievement of the integral indexes and indicators of quality of life.*

**Key words:** *Belgorod city development strategy to 2025 year, indicators of quality of life, integral indices, the level of achievement.*

---

**Костыря Анна Васильевна**, кандидат экономических наук

МАУ «Институт муниципального развития и социальных технологий», НИУ «БелГУ» кафедра экономики и моделирования производственных процессов.

Адрес: Россия, 308000, Белгород, ул. Генерала Лебеда, д. 2

E-mail: nutako@rambler.ru

**Сергеева Татьяна Сергеевна**, кандидат экономических наук

МАУ «Институт муниципального развития и социальных технологий», НИУ «БелГУ» кафедра экономики и моделирования производственных процессов.

Адрес: Россия, 308000, Белгород, ул. Генерала Лебеда, д. 2

E-mail: imrst@mail.ru

DOI: 10.12737/article\_590878fb15a361.07734143

Трошин А.С., д-р экон. наук, доц.,  
Али Шах Шахрам, магистрант,  
Кротова С.С., студент,  
Чернова И.А., студент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ИНВЕСТИЦИОННАЯ ОСНОВА РАЗВИТИЯ РЕАЛЬНОГО СЕКТОРА ЭКОНОМИКИ НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ

as\_troshin@inbox.ru

*В период экономического спада, оттока инвестиций, снижения производственной активности и отсутствия перманентности во внешнеэкономической и политической ситуации актуальным становится вопрос привлечения инвестиционных ресурсов, в том числе и в рамках решения задач по импортозамещению. Нестабильность на внешнем рынке и достаточно сложная экономическая ситуация внутри страны привела к значительному сокращению инвестиций. Это обусловило необходимость поиска новых источников инвестирования и новых объектов вложения средств. Одними из наиболее привлекательных видов экономической деятельности для вложения инвестиционных ресурсов являются строительство и агропромышленный комплекс.*

**Ключевые слова:** строительство, агропромышленный комплекс, Белгородская область, инвестиции, виды экономической деятельности, отрасль.

**Основная часть.** В последние годы экономическая ситуация в Белгородской области складывается под влиянием ухудшения экономической и политической конъюнктуры, санкций, необходимости решения задач по импортозамещению. Так если, ранее Белгородская область была одним из благоприятных в инвестиционном плане регионов страны, то теперь ситуация несколько изменилась, не в последнюю очередь за счет сокращения международного товарооборота и ограничений по международному движению капитала [1, 2].

В современных условиях экономика Белгородской области, с одной стороны, должна обладать способностью эффективно использовать и видоизменять имеющиеся внутренние ресурсы, с другой - замещать ранее импортируемые ресурсы, непрерывно наращивая при этом положительные изменения [3, 4, 5].

Структура валового регионального продукта в Белгородской области в 2016 г. по видам экономической деятельности представлена на рисунке 1.

По данным рис. 1. можно отметить, что строительство в регионе занимает одно из ведущих мест среди представленных видов экономической деятельности, причем подобная тенденция сохраняется и в общероссийском масштабе. Рынок недвижимости Белгородской области можно по праву отнести к одному из быстрорастущих в последние годы. По количеству возводимых объектов и спросу на них Белгородская область уступает Москве и Подмосковию сохраняя паритет с Краснодарским краем. Так, в 2016 г. году объем выполненных строи-

тельных работ в области составил 56,7 млрд руб., или 36,6 тыс. руб. на душу населения, что соответствует пятой позиции по ЦФО и второй по Черноземью.

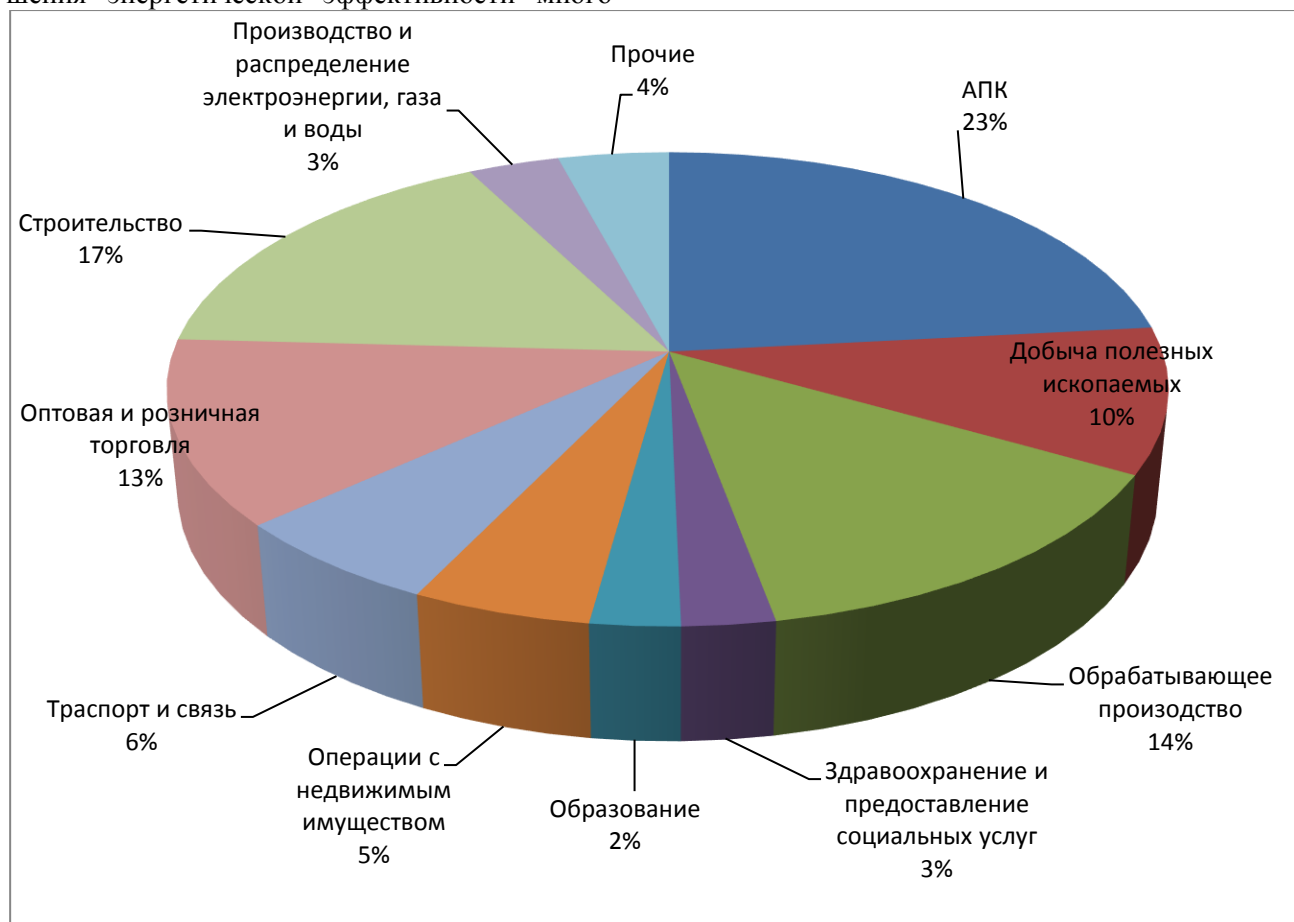
В Белгородской области ежегодно вводится в эксплуатацию более 1,5 млн кв. м общей жилой площади, при этом более 80 % составляет индивидуальное жилье. По объему введенного жилья в расчете на тысячу человек населения наша область опережает среднероссийский уровень на 75,3 %, занимая пятое место среди регионов России (1003,8 м<sup>2</sup>), что составляет более одного квадратного метра на человека в год.

В области на протяжении нескольких десятилетий успешно осуществляются государственные программы и национальные проекты по развитию жилищного строительства, модернизации и реконструкции предприятий строительной индустрии, созданию производств малоэтажного домостроения, обеспечению местного рынка высококачественными материалами, изделиями и конструкциями с учетом требований к повышению энергоэффективности и ресурсосбережения. Продолжается реализация Государственной программы Белгородской области «Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами жителей Белгородской области на 2014-2020 годы», утвержденной постановлением Правительства Белгородской области №441-пп от 28.10.13г., Государственной программы Белгородской области «Совершенствование и развитие транспортной системы и дорожной сети Белгородской области на 2014-2020 годы», утвержденной по-

становлением Правительства Белгородской области №440-пп от 28.10.2013 г.

В области осуществляются долгосрочные целевые адресные программы переселения граждан из аварийного жилищного фонда, программы комплексного развития коммунальной инфраструктуры поселений, городских округов области, программы энергосбережения и повышения энергетической эффективности много-

квартирных домов. В микрорайонах массовой застройки ИЖС ведется строительство инженерных сетей и сооружений, систем водоснабжения и водоотведения, сетей наружного освещения. Ввод жилья в Белгородской области в январе – феврале 2017 года, в сравнении с аналогичным периодом прошлого года, характеризуется следующими данными (табл. 1.):



Источник: составлено авторами по данным [6, 7]

Рис. 1. Структура валового регионального продукта в Белгородской области по видам экономической деятельности в 2016 г., %

Таблица 1

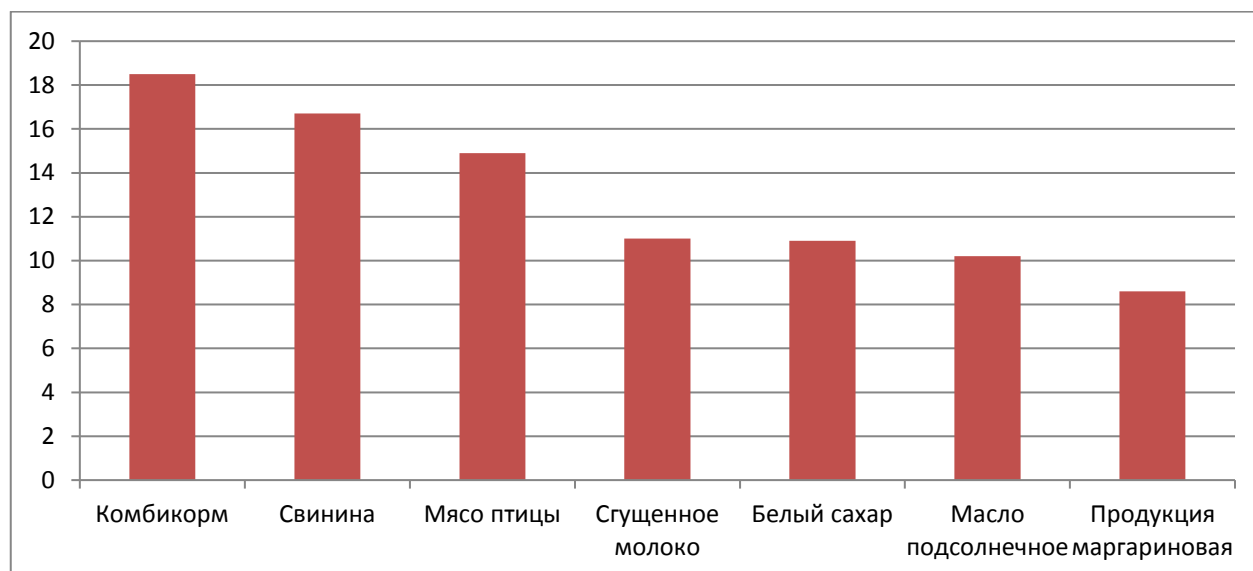
#### Ввод жилья в Белгородской области в 2016-2017 гг.

| Регион               | Введено кв. м общей площади |                                              | Из общего объема – жилищное строительство населением, кв. м общей площади |                                              |
|----------------------|-----------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
|                      | за период с начала года     | в % к соответствующему периоду прошлого года | за период с начала года                                                   | в % к соответствующему периоду прошлого года |
| Белгородская область | 96850                       | 64.5                                         | 95395                                                                     | 64.6                                         |

Источник: составлено авторами по данным [6, 7]

Особняком стоят следующие инвестиционные решения: строительство третьего цеха горячебрикетированного железа на Лебединском ГОКе (650 млн долларов); строительство фабрики окомкования в Белгородской области (680 млн долларов); строительство фармзавода в Белгородской области (10 млрд рублей).

Остановимся на вопросах развития аграрного сектора Белгородской области, который является одним из локомотивов экономического развития региона, имея при этом существенную долю и в общероссийском производстве (рис. 2.).



Источник: составлено авторами по данным [6,7,8]

Рис. 2. Доля отраслей АПК Белгородской области в общероссийском производстве, %

Белгородская область обладает рядом крупных животноводческих комплексов, которые позволяют региону обеспечивать мясной продукцией не только собственное население, но и значительную часть Центральной России. В создании высокоэффективного и современного, с технологической точки зрения агропромышленного производства ведущая роль отводится масштабным целевым инвестиционным проектам, которые, по сути, и являются основным катализатором развития региональной экономики в рамках существующего хозяйственного механизма [9, 10, 11]. Между тем, ряд секторов требуют применения к ним инструментов дотационной политики: молочное животноводство; овощеводство защищенного грунта; выращивание плодовых и ягодных культур; развитие аквакультуры; семеноводство; производство биодобавок, ветеринарных препаратов, компонентов для кормопроизводства. Сведения о финансируемых инвестиционных проектах в аграрном секторе экономики Белгородской области представлены в таблице 2.

В рамках реализации программ импортозамещения в аграрном секторе экономики Правительство Белгородской области планирует привлечь в ближайшей перспективе более 70 млрд руб. инвестиционных ресурсов на реализацию проектов по таким направлениям, как производство свинины; производство мяса птицы; производство кормов для животных; мясопереработка; выращивание зерновых культур [6, 7, 8].

Реализация подобных проектов позволит увеличить объемы производства скота и птицы в живом весе на 125,5 тыс. т; модернизировать существующие и создать дополнительные про-

изводственные мощности по переработке мяса; увеличить на 285 тыс. т мощности по первичной обработке и хранению зерна; увеличить объемы производства кормов более чем на 350 тыс. т.

В ближайшей перспективе в регионе планируется реализовать около 9 проектов по выращиванию овощей закрытого грунта общей стоимостью более 25 млрд руб. и проектной мощностью около 108,3 тыс. т.

В рамках развития производства плодовых и ягодных культур планируется реализация 28 проектов стоимостью 2,3 млрд руб., которые позволят производить более 58 тыс. т плодов и ягод. Другое перспективное для Белгородской области направление это - выращивание рыбы. Предполагается реализация 6 инвестиционных проектов с общим объемом привлеченных ресурсов в размере 1,7 млрд руб. Создаваемые предприятия смогут производить до 5,5 тыс. т рыбы и около 20 т икры в год.

В заключении можно отметить, что стратегически эффективное развитие экономики Белгородской области будет зависеть от своевременной реализации намеченных проектов и программ в инвестиционно-инновационной сфере, что позволит не только сохранить, но и повысить уровень конкурентоспособности хозяйствующих субъектов региона, как на внутреннем, так и на международном рынке.

Вполне очевидно, что без надлежащей модернизации производственных мощностей с одной стороны, формирования современных инфраструктурных элементов инвестиционно-инновационной сферы, с другой достичь подобного представляется проблематичным.

Таблица 2

**Финансирование инвестиционных проектов в аграрном секторе экономики  
Белгородской области**

| Наименование проекта                                           | Реализуемое направление                            | Объем инвестиционных ресурсов | Сведения по проекту                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Строительство тепличного комплекса                             | Тепличные комплексы                                | 6000 млн руб.                 | Декабрь 2016 – «Сигма Кэпитал» учредила специализирующееся на овощеводстве ООО «Гринхаус» в городе Белгороде.<br>В планах ООО «Гринхаус» – строительство в Белгородской области современного тепличного комплекса по выращиванию томатов и огурцов.<br>Куратор со стороны Правительства Белгородской области – АО «Корпорация «Развитие».                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Строительство мясоперерабатывающего завода                     | Скотоводство, переработка мяса, переработка молока | 3000 млн руб.                 | В Белгородской области (г. Алексеевка) планируется строительство нового мясоперерабатывающего завода, инвестором которого выступит немецкая корпорация TönniesFleischwerk. Ведется разработка проектно-сметной документации.<br>Из общего количества производимого мяса 70 % товара будет реализовываться на территории России.<br>Инвесторы планируют реализовывать товар на международных рынках.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Строительство мясоперерабатывающего производства (3-я очередь) | Свиноводство                                       | 1000 млн руб.                 | Белгородский агропромышленный комплекс "Промагро" анонсировал вложение 1 млрд руб. в строительство третьей очереди мясоперерабатывающего завода производительностью порядка 100 т полуфабрикатов в смену. Производство предполагается разместить на площади 6 тыс. кв. м. В рамках проекта будут построены цех глубокой разделки свинины мощностью 240 голов в час, линия упаковки и склад готовой продукции. После разделки и обвалки мясо планируется направлять в адресный склад-накопитель вместимостью 150 т., далее оно должно поступать в цех упаковки с пропускной способностью 16 т в час.<br>Проект предполагается реализовать с голландской компанией «MPS» (возможна поставка зарубежного оборудования для глубокой разделки свинины). |
| Модернизация тепличного комплекса                              | Тепличные комплексы                                | 649 млн руб.                  | ООО «Гринхаус».<br>АО «Корпорация «Развитие».                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Создание линии по производству сливочного масла                | Скотоводство, переработка мяса, переработка молока | 320 млн руб.                  | ООО «Тулчинка.Ru» запустило новую линию по производству масла и спреда общей мощностью 3,5 тонны в час.<br>Модернизация позволит увеличить действующие мощности в 2,5 раза (более 200 тонн готовой продукции в сутки).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

Источник: составлено авторами по данным [6, 7, 8]

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трошин А.С., Косолапова М.В., Свободин В.А. Консультационная служба в АПК как социально-экономическая система // Научное обозрение. 2015. №6. С. 167–170.

2. Трошин А.С., Санду И.С., Рыженкова Н.Е., Барсукова Н.В. Особенности развития инновационно-инвестиционной деятельности в аграрном секторе экономики: механизм государственно-частного партнерства // Инновации и инвестиции. 2015. №2. С. 6–8.

3. Трошин А.С., Санду И.С. Инвестиционная основа финансирования аграрного сектора экономики России в рамках ВТО // Экономика сельского хозяйства России. 2015. №10. С. 14–18.

4. Глаголев С.Н., Дорошенко Ю.А., Манин А.В. Инвестиционно-инновационный потенциал региона: сущность, значение, импакт-факторы и способы оптимизации // Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. 2014. №2(50). С. 127–132.

5. Дорошенко Ю.А., Бухонова С.М., Сомина И.В., Климашевский К.А. Исследование синергетического эффекта в сфере инвестиционно-инновационной деятельности предприятий промышленности строительных материалов // Промышленное и гражданское строительство. 2014. №12. С. 33–36.

6. <http://derbo.ru> - Портал департамента экономического развития Белгородской области

7. <http://belregion.ru> - Портал губернатора и правительства Белгородской области

8. <http://ikc.belaprk.ru/> - Интернет-портал ОГАУ "ИКЦ АПК"

9. Troshin A.S., Sandu I.S., Kupriyanov S.V., Stryabkova E.A., Saldanha H.F.D. Role and place of economic mechanism in modern conditions // Life Science Journal. 2014. 11(10s). pp. 487–490.

10. Трошин А.С. Механизм государственно-частного партнерства при осуществлении венчурных инвестиций // АПК: экономика, управление. 2014. №1. С. 35–42.

11. Трошин А.С. Инвестирование аграрного сектора России в условиях членства в ВТО // АПК: экономика, управление. 2014. №5. С. 65–70.

---

**Troshin A.S., Ali Shah Shakhram, Krotova S.S., Chernova I.A.**

**THE BASIC INVESTMENT OF DEVELOPMENT OF A REAL SECTOR OF THE ECONOMY ON THE REGIONAL LEVEL**

*During the period of recession, outflow of investment, decline in production activity and the lack of stability of foreign economic and political situation attraction of investment resources becomes a pressing matter also in the framework of the decision behind the policy of import substitution. Instability on the external market and a quite difficult economic situation inside the country leads to the significant reduction of investment. This necessitated searching for the new investment sources and the new objects for investment. One of the most attractive kinds of economic activity for investment are the building sector and agriculture complex.*

**Key words:** building sector, agriculture complex, Belgorod region, investment, kinds of economic activity, sector

---

**Трошин Александр Сергеевич**, доктор экономических наук, доцент, профессор.

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

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

E-mail: [as\\_troshin@inbox.ru](mailto:as_troshin@inbox.ru)

**Али Шах Шахрам**, магистрант кафедры менеджмента и внешнеэкономической деятельности.

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

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

**Кротова Светлана Сергеевна**, студентка кафедры менеджмента и внешнеэкономической деятельности.

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

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

E-mail: [svetlanamikaelson@icloud.com](mailto:svetlanamikaelson@icloud.com)

**Чернова Ирина Александровна**, студентка кафедры менеджмента и внешнеэкономической деятельности.

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

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

E-mail: [irishka\\_04.03@mail.ru](mailto:irishka_04.03@mail.ru)



DOI: 10.12737/article\_590878fb04b9b7.20921669

Кондрашов И.Б., соискатель

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## МЕТОДЫ И ИНСТРУМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬЮ

vanlord@yandex.ru

*Актуализация решения крупной стратегической задачи – самоокупаемости и саморазвития региональных экономик – требует развития и переосмысления большинства имеющихся подходов к управлению их конкурентоспособностью и его совершенствования с учетом этой важной характеристики. В статье уточнены задачи и проблемы менеджмента конкурентной региона, в частности, ее оценки на примере Белгородской области. Предложен ряд инструментов, позволяющих мобилизовать и использовать факторы и источники конкурентоспособности региона для создания и укрепления его конкурентных преимуществ с акцентом на нематериальных активах и аппарате маркетинга территорий.*

**Ключевые слова:** регион, региональная конкурентоспособность, самоокупаемость, территориальный маркетинг, мониторинг.

**Введение.** Эффективное функционирование региона как субъекта хозяйствования и социально-экологической системы, его рыночно-производственная ориентация и устойчивость, способность удовлетворять потребности населения и бизнеса в различных благах и услугах зависят от двух главных факторов: качества региональной политики государства и уровня стратегического менеджмента на местах, эффективно использующего ресурсы региона. Это подтверждается выводами многих ученых и специалистов [1, 2, 5]. Современная деловая элита должна осознавать необходимость межрегиональной конкуренции и использовать эту концепцию для активизации наращивания уникальных преимуществ в регионах. Межрегиональная конкуренция – это стремление территории завоевать целевые группы потребителей и ресурсы жизнедеятельности.

Итак, речь идет о достижении желаемого уровня региональной конкурентоспособности как способности территории быть привлекательной для проживания, вложения инвестиций, расширения строительства и производства товаров, а также туризма [3]. Другими словами, категория региональной конкурентоспособности отражает совокупность указанных выше качеств, присущих субъекту федерации, включая – что существенно важно – социальные аспекты, оценку власти и ее действий как резидентами, так и нерезидентами, самочувствие и самоуважение населения, их деловую и инновационную активность и другие важные характеристики.

С нашей точки зрения, межрегиональную конкуренцию в ее теоретическом и практическом развитии можно и нужно использовать как ступень для достижения конкурентоспособности на внешнем рынке [6, 13]. Однако ее специфика

весьма существенна в сравнении с конкуренцией на микроуровне – между предприятиями-производителями товаров и услуг, и на сегодняшний момент не прояснена методологически. Ю. Ефимычев называет такую конкуренцию «кооперенцией» [4]. В какой мере эта конкуренция носит рыночный характер, а в какой – соревновательный? Какими способами достигается и может обеспечиваться региональная конкурентоспособность (РК), каковы механизмы и технологии управления ею, также не исследовано – методически и практически – в необходимой для органов регионального и муниципального управления степени. Между тем задача обеспечения РК носит стратегический характер и выходит на уровень национальной конкурентоспособности и безопасности. То есть, роль РК как управленческой категории обусловлена заложенными в нее паттернами, нацеливающими систему на мобилизацию, достижение синергии, максимальное включение внутренних резервов коллективов, жителей данной территории.

**Основная часть.** Обобщение материалов по данной проблематике показывает, что функции управления РК укрупненно включают: целеполагание стратегического развития региона с учетом РК; оценку текущей и перспективной РК; анализ конкурентообразующих параметров и влияющих на них факторов; отбор ключевых региональных компетенций для их развития и укрепления конкурентной позиции; планирование направлений роста конкурентных преимуществ, инструментария и ресурсов для этого; оценку эффективности вариантов стратегии повышения РК и ее фактической реализации.

Как видим, начальные этапы управления РК базируются на ее оценке и анализе, и дальней-

шие шаги во многом зависят от точности и объективности такой оценки.

Проанализируем подходы к оценке РК на примере Белгородской области, которая имеет противоречивые оценки с точки зрения конкурентоспособности: так, качество жизни расценивается как высокое, но инвесторы, особенно иностранные, не считают ее привлекательной для крупных инвестиций. Но, во-первых, сам по себе показатель качества жизни находится на среднем уровне; во-вторых, он сложился в основном за счет высоких значений в группах частных индексов «Освоенность территорий и развитость транспортной инфраструктуры» (6 место) и «Экологические и климатические условия» (7 место). Что касается прочих групп индексов, то регион занимает 33 место по уровню экономического развития и 48-е – по обеспеченности объектами социальной инфраструктуры.

Рейтинг инновационности регионов 2015 г., берущий во внимание 24 параметра, объединенные в три группы (научные исследования и разработки; инновационная деятельность; социально-экономические условия инновационной деятельности) показывает, что недостаточна инновационная активность: область заняла лишь 47 место. Здесь играет роль и общий фон низкой инновационной активности в стране (макроэкономическая составляющая РК) – Россия занимает одно из последних мест в мировом рынке интеллектуальной собственности [7].

Кроме того, имеет место большой разрыв в уровне доходов и жизни среди населения региона, и эта дифференциация продолжается. Вклад в региона в экономику страны отражен в таблице 1.

Таблица 1

### Вклад экономики Белгородской области в экономику РФ

| Показатели                                              | %   |
|---------------------------------------------------------|-----|
| Доля в населении страны                                 | 1,1 |
| Доля валового регионального продукта (ВРП) в ВВП страны | 1,1 |
| Доля в объеме продукции сельского хозяйства             | 4,4 |
| Доля в добыче полезных ископаемых                       | 0,8 |
| Доля в объеме продукции обрабатывающей промышленности   | 1,6 |
| Доля в объеме инвестиций в основной капитал             | 0,9 |
| Доля в общем объеме ввода жилья                         | 1,8 |
| Доля в общем объеме розничной торговли                  | 1,0 |
| Доля в объеме экспорта                                  | 0,6 |
| Доля в объеме импорта                                   | 1,1 |

Регион занимает 3-е место в России по объему производства сельскохозяйственной продукции (187 млрд.руб.), 12% производства скота и птицы, что говорит о высоком уровне развития аграрного сектора.

Интересны данные Федеральной антимонопольной службы (ФАС), сформировавшей рейтинг регионов России по степени конкуренции и состоянию конкурентной среды за 2014 год. Он включал 4 критерия: количество предприятий на территории региона; количество жалоб в ФАС на нарушения в сфере конкуренции; состояние товарных рынков; мнение бизнесменов о конкуренции и соответствующей среде региона. По итогам рейтинга ФАС Белгородская область заняла 19 место.

Поскольку регионы России весьма существенно различаются по своим естественно-демографическим, историческим и прочим условиям, имеет смысл рассмотреть и сравнить ключевые параметры РК по пяти регионам, входящим в Центральный Черноземный район (ЦЧР) (см. табл. 2).

Представляется, что с точки зрения управления РК и анализа ее состояния ЦЧР можно рассматривать как своеобразный кластер, включающий сходные по условиям территории, внутри которых правомерно проводить сравнение конкурентообразующих показателей. Устойчивый лидер кластера имеет шанс перейти к иной группе регионов-конкурентов, более высокой категории.

К предложенным, достаточно традиционным параметрам РК в дальнейшем стоит добавить такие, как наличие в регионе эффективных собственников, некоторые подходы к оценке которых уже имеются в отечественных исследованиях, а также способность эффективно осваивать выделенные для региона ресурсы федерального уровня.

Матрица SWOT-анализа также является значимым инструментом оценки и анализа РК. В рамках матрицы отражаются преимущества и уязвимые места внутренней и внешней среды региона.

Методика, предложенная Е.А.Стрябковой («конусная модель»), включает:

- результаты деятельности (ВРП, безработица, доходы);
- инновационную эффективность (доля инновационных товаров, экспорт технологий);
- детерминанты РК (специальные фонды, технопарки, инкубаторы, кластеры, хай-тек);
- специализацию (занятость в наукоемких и свертехнологических отраслях);
- детерминанты управления (стимулы, поддержка передовых отраслей и фирм) [ 8 ]:.

Перспективная РК рассчитывается путем нормирования используемых параметров и вычисления субиндексов по формуле среднеарифметической. Ключевой фактор в методике Е.А. Стрябковой представлен в виде инновационной активности региона. В таблице 3 приведены результаты рейтинга перспективной РК.

Таблица 2

### Параметры конкурентоспособности регионов ЦЧР

| Показатели                                     | Белгородская область | Воронежская область | Курская область | Липецкая область | Тамбовская область |
|------------------------------------------------|----------------------|---------------------|-----------------|------------------|--------------------|
| Численность, тыс. чел.                         | 1550                 | 2333                | 1120            | 1156             | 1050               |
| Удельный вес безработных, %                    | 7,4                  | 12,9                | 2,0             | 4,1              | 4,9                |
| Среднедушевые доходы (в мес., тыс.руб.)        | 27,9                 | 30,1                | 25,8            | 27,6             | 25,1               |
| Индекс промышленного производства, %           | 104,7                | 103,1               | 104,2           | 100,7            | 104,5              |
| Оборот розничной торговли, тыс. руб.           | 275878               | 463696              | 174878          | 215896           | 182429             |
| Сальдированный финансовый результат, тыс. руб. | 81734                | 46972               | 53115           | 94030            | 44651              |
| Индекс потребительских цен, %                  | 111,4                | 118,6               | 113,9           | 112,1            | 112,7              |

Таблица 3

### Рейтинг перспективной конкурентоспособности регионов ЦФО

| Регион ЦФО           | Индекс перспективной РК | Ранг региона |
|----------------------|-------------------------|--------------|
| Белгородская область | 0,1987                  | 11           |
| Брянская область     | 0,1765                  | 12           |
| Владимирская область | 0,2177                  | 7            |
| Воронежская область  | 0,2983                  | 4            |
| Ивановская область   | 0,2018                  | 10           |
| Калужская область    | 0,3936                  | 2            |
| Костромская область  | 0,0741                  | 17           |
| Курская область      | 0,2088                  | 9            |
| Липецкая область     | 0,2734                  | 5            |
| Московская область   | 0,7838                  | 1            |
| Орловская область    | 0,1536                  | 14           |
| Рязанская область    | 0,2096                  | 8            |
| Смоленская область   | 0,1151                  | 15           |
| Тамбовская область   | 0,1125                  | 16           |
| Тверская область     | 0,1654                  | 13           |
| Тульская область     | 0,2645                  | 6            |
| Ярославская область  | 0,3855                  | 3            |

Учитывая итоги компаративного анализа подходов к оценке РК, уровень точности и разброса полученных оценок, можно констатировать следующее:

- Белгородская область отличается противоречивостью оценки своего конкурентного положения и РК по существующим рейтинговым схемам, кроме того, не всегда ясно, какой

вид РК приводится в отчетных данных – текущей, потенциальной, фактической или перспективной;

- сложно дать объективную оценку региону и его конкурентоспособности для целей управления на основании существующих методик, так как они обладают недостатками, базируясь в основном на экспертных оценках и не всегда имея четкие критерии отнесения к диапазонам оценки;

- в оценке конкурентной позиции и РК слабо представлен блок параметров, связанных с нематериальными активами региона, что говорит о том, что: а) данный вопрос не вполне обеспечен методическим инструментарием для принятия практических решений; б) этого рода ресурсы не стали до сих пор актуальными при формировании стратегий регионального развития и роста конкурентоспособности.

Авторский подход в оценке и анализе РК, который может дополнить картину динамики конкурентного поведения и состояния региона состоит в следующих методических положениях.

1. Исходя из структуры потенциала РК мы выделяем два вида РК – потенциальную и фактическую (текущую).

2. Потенциальная РК определяется базово-ресурсным потенциалом региона, включая научно-производственный, природно-ресурсный, финансово-инвестиционный и человеческий. Для ее оценки предложено использовать следующие объективные параметры (частные индексы в сравнении с конкурентом):

- основные фонды региона (мощности) с учетом их износа и доли активной части;
- обеспеченность земельными ресурсами;
- индекс промышленного производства;
- удаленность поставщиков и потребителей (по основной массе ввоза-вывоза, не менее 60 %);
- финансово-инвестиционное состояние;
- обеспеченность трудовыми ресурсами;
- развитость инфраструктуры.

Общее значение  $RK_{пот.}$  вычисляется по следующей формуле:

$$RK_{пот.} = \sum I_{пот.} \cdot iA_i / n, \quad (3)$$

где  $I_{пот.}$  – частные индексы потенциальной РК,  $n$  – число частных индексов,  $A_i$  – значимость параметров.

Отметим, что указанные параметры относятся к разряду обеспеченности экономики региона основными факторами производства.

3. Фактическая РК – ее достигнутый на анализируемый момент времени уровень зависит от качества и организации процесса преобразования, то есть, от того, насколько эффективно бы-

ли преобразованы ресурсы в результат, а именно, в социально-экономические показатели региона. Исходя из определения РК как степени привлекательности для заинтересованных групп [9, 10], для оценки фактической РК нами предлагается трехмерный подход и, соответственно, три оценочных блока:

- потребительская оценка (уровень спроса на продукцию региональных производителей, включая экспорт; бренд региона и его популярность; благоприятность условий торговли);

- партнерская (экономическая продуктивность, деловая репутация и инвестиционная привлекательность для внешних партнеров, возможность получения доходов на территории);

- социальная (доходы на душу населения, занятость, удовлетворенность населения социальным положением, социальная этика бизнеса и власти).

Таким образом, во все три блока входит составной частью элемент нематериальных активов (НМА) региона. Схема оценки фактической РК представлена на рис.1.

Тогда интегральный показатель РК будет равен:

$$RK_{инт.ф.} = K_{потр.} \cdot K_{парт.} \cdot K_{соц.} \quad (2)$$

где  $RK_{инт.ф.}$  – интегральный коэффициент РК,  $K_{потр.}$  – потребительская оценка РК,  $K_{парт.}$  – партнерская оценка РК,  $K_{соц.}$  – социальная оценка РК

В случае положительной динамики развития региона должно соблюдаться условие:

$$RK_{ф.инт} \geq RK_{пот.}$$

Методика апробирована при расчете потенциальной РК (табл.4) и интегрального показателя фактической РК для Белгородской области в сравнении с Курской (сопоставимые условия конкуренции). Она не отменяет использование существующих подходов, но может дополнить оценку РК в разрезе наиболее значимых проблем региональной системы, поиска и наращивания ее конкурентных преимуществ.

Значение 1,24 говорит о более высокой потенциальной РК Белгородской области по сравнению с Курской, в основном за счет численности населения и финансового положения.

В таблице 5 представлены итоги оценки фактической РК области. Согласно методике, индексы сворачиваются в суммарные значения по блокам (потребительская, партнерская и социальная оценки) на основе среднеарифметической, учитывая примерно равную значимость этих укрупненных параметров. Для получения балльных оценок используем адаптированный метод семантического дифференциала (рис.2), дающий возможность построения шкал для трех указанных выше блоков оценки.

Из приведенных расчетов следует ряд выводов для управления региональной конкурентоспособностью, а именно: по сравнению с ближайшим (географически и экономически) конкурентом Белгородская область имеет более высокую потенциальную РКпот (1,24). Однако должно настораживать то, что фактическая РК выше конкурента на меньшую величину или, иными словами, ниже потенциальной ( $1,17 \leq 1,24$ ). Это говорит о недостаточно эффективных преобразовательных процессах в регионе и о том, что данный потенциал требует более при-

стального внимания к своему накоплению и использованию. Как уже было отмечено, это нематериальные активы региона и его ключевые способности-компетенции.

Следующим шагом целесообразно рассчитать РКпот. и РКинт.ф. по сравнению с более сильным конкурентом в ЦФО, например, Воронежской или Калужской областью. Но даже полученных результатов достаточно для принятия стратегических решений в сфере мобилизации преобразовательных ресурсов региона.

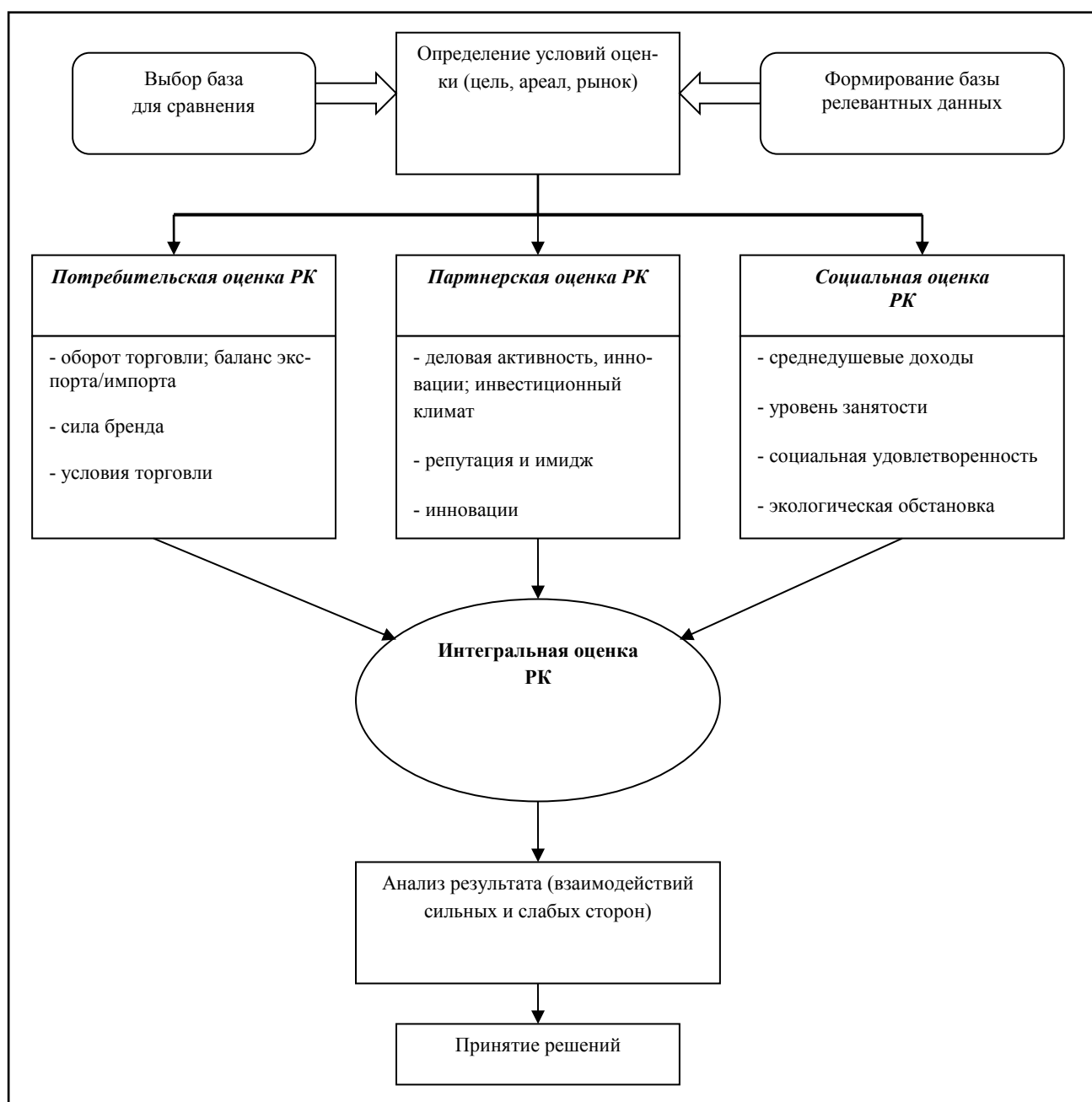


Рис. 1. Схема трехмерной оценки фактической региональной конкурентоспособности

Таблица 4

## Результаты оценки потенциальной РК Белгородской области по авторской методике

| Параметры оценки РК <sub>пот.</sub>                                                                     | Единицы измерения                         | Поправочные коэффициенты, в долях 1                             | Значение по региону | Значение конкурента | Индекс | Значимость, А |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|--------|---------------|
| Численность трудовых ресурсов                                                                           | Тыс. чел.                                 | Доля экономически активного населения (или уровень образования) | 1502,3×0,65         | 1170,4×0,68         | 1,28   | 0,2           |
| Стоимость основных фондов в промышленности и сельском хозяйстве                                         | Млн. руб. на душу населения               | Коэффициент износа, в т.ч. морального; доля активной части ОФ   | 807,4               | 863,2               | 0,93   | 0,15          |
| Обеспеченность природными ресурсами                                                                     | Кв. км земельных угодий на душу населения | Коэффициент экономической пригодности земель                    | 1,69                | 2,13                | 0,76   | 0,17          |
| Финансово-инвестиционное обеспечение (прибыль, консолидированный бюджет региона, привлеченные средства) | Тыс. руб. на душу населения               |                                                                 | 56,6                | 47,4                | 1,21   | 0,2           |
| Индекс промышленного производства                                                                       | %                                         |                                                                 | 104                 | 103                 | 1,01   | 0,16          |
| Развитость инфраструктуры                                                                               | Км дорог на душу населения                |                                                                 | 6,2                 | 5,7                 | 1,08   | 0,19          |
| Интегральный индекс РК пот.                                                                             | РК <sub>пот.</sub> = 1,24                 |                                                                 |                     |                     |        | 1,0           |

|                           |                                                                                                |   |   |   |   |    |    |    |                                                                                        |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|----|----|----|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Потребительская оценка РК | Существенно выше, чем у региона-конкурента                                                     | 3 | 2 | 1 | 0 | -1 | -2 | -3 | Существенно отстают от региона-конкурента                                              |
| Партнерская оценка РК     | Репутация надежного, прогрессивного делового партнера и благоприятного инвестиционного климата | 3 | 2 | 1 | 0 | -1 | -2 | -3 | Репутация ненадежного партнера, неэффективного собственника, высок инвестиционный риск |
| Социальная оценка РК      | Высокая степень социальной удовлетворенности населения региона                                 | 3 | 2 | 1 | 0 | -1 | -2 | -3 | Низкая степень социальной удовлетворенности населения региона                          |

Рис. 2. Шкала оценки составляющих РК методом семантического дифференциала

Подчеркнем методологически важный тезис: конкурентные преимущества региона выступают следствием ряда актуальных факторов, включение и использование которых и является **центральной функцией механизма управления РК**. В данной статье мы не ставили задачу рассмотреть подробно каждый из факторов, поскольку они достаточно известны, основаны на ромбе конкурентных сил М.Портера и отражены в ряде работ [14, 15], имея как внешний, так и внутренний характер. Поэтому остановимся на инструментальной части механизма управления РК – как и с помощью чего можно реально при-

влечь и активизировать те силы и факторы, которые имеют место быть в том или ином регионе. Инструментарий управления РК только формируется в нашей стране, однако уже имеет место ряд таких используемых в практике рычагов и методов, с помощью которых можно влиять на уровень РК и разрабатывать соответствующую стратегию.

С нашей точки зрения все инструменты управления РК условно можно разделить на три большие группы.

**Оценочные методы:** методы оценки потенциала и уровня РК, факторный анализ влия-

ния на имидж, силу бренда, матричные методы, включая анализ сильных и слабых сторон реги-

она, карты позиционирования, региональный бенчмаркинг и т.п.

Таблица 5

### Результаты оценки фактической РК Белгородской области

| Потребительская оценка (суммарная) = | Оборот розничной торговли, на тыс. чел. | Баланс экспорта-импорта, %                           | Благоприятность условий торговли (балл)           | Торговая сила бренда, балл                                             |
|--------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 1,19                                 | 1,51                                    | 1,18                                                 | 0,95                                              | 1,13                                                                   |
| Партнерская оценка (суммарная)       | Деловая активность (ВРП на 1 занятого)  | Репутация Надежного партнера (доля внешних кредитов) | Инвестиционный климат (доходность вложений/риски) | Инновации (численность человек, занятых исследованиями и разработками) |
| 0,92                                 | 1,1                                     | 0,92                                                 | 1,0                                               | 0,67                                                                   |
| Социальная оценка (суммарная)        | Доходы на душу населения, тыс. руб.     | Трудоустроенность %                                  | Уровень образования, %                            | Удовлетворенность населения социальным положением, %                   |
| 1, 21                                | 1,09                                    | 0,96                                                 | 0,91                                              | 1,38                                                                   |
| РКинт. ф = 1,17                      |                                         |                                                      |                                                   |                                                                        |

**Мотивационно-экономические** включают: финансирование социально-значимых программ и PR-проектов, краудфандинг, систему поощрений и грантов за инновации и достижение на этой основе уровня конкурентности, за повышение узнаваемости субъекта, наценка за марку, стандарты качества и обслуживания, поддержка экспортеров, туризма и т.п..

**Организационно-обеспечивающие:** это рычаги, позволяющие региональному управлению разрабатывать стратегии роста РК предприятиям, районам, поддерживающие их осуществление, формировать имидж публичным лицам и мероприятиям. Это продвиженческий, событийный и спортивный маркетинг, карт-роудинг, фандрайзинг, обмен сетевыми ресурсами (так, в Белгороде в 2016г. создан центр совместных сетевых ресурсов с Сербией), создание креативных Интернет-порталов региона, расширение присутствия в поле федеральных новостей и др.

Одним из действенных инструментов управления РК может служить мониторинг ее факторов на субуровне. Аргументацией данного утверждения служит тот факт, что РК выступает обобщающим показателем конкурентоспособности отдельных районов, входящих, в данную область, например, Белгородскую. Из принципа сбалансированности и гармоничности развития, являющегося краеугольным для обеспечения устойчивости системы, вытекает, что требуемый уровень РК не может быть достигнут, если отдельные районы значительно и заметно отстают от прочих по показателям производства, качества товаров и менеджмента, экологической обстановки, благоустроенности и других параметров, важных для конечных индикаторов РК. Поэтому система управления РК в лице ее коор-

динирующего маркетингового центра должна обеспечивать систематическое проведение следующих мер:

- мониторинг конкурентоспособности районов (субуровень) по установленным критериям, коррелирующим с индикаторами РК (мезоуровень);
- анализ факторов и условий конкурентоспособности районов совместно с органами районного управления и его маркетинговыми центрами;
- выявление причин низкой конкурентоспособности или, наоборот, трансляция передового опыта в другие районы;
- организация обучения кадров в том числе, в формате коучинга, информационной поддержки и прочей помощи районам в разработке стратегий роста их конкурентоспособности и формирования нематериальных активов;
- совместная разработка рекламно-пропагандистских и PR-кампаний, кобрендинг; реализация программ территориального маркетинга, включая его социально-этичный аспект.

Укрупненные параметры для оценки конкурентоспособности на субуровне предлагаются в следующем составе:

- доход на душу населения (И1); уровень безработицы (И2); обеспеченность инфраструктурой (И3); уровень образования (И4); выполнение социальной миссии; экологическая обстановка (И5); наличие и «сила» бренда района (И6); инновационная активность (И7).

Конкурентные индексы рассчитываются по формуле:

$$Ini = \text{Пфи.} / \text{Пср.}, \quad (3)$$

где  $P_{ф.i}$  – фактическое значение параметра  $i$ -того района,  $P_{ср.}$  – среднее значение по региону.

Мониторинг конкурентных индексов необходимо проводить не реже двух раз в год. Отклонения указанных параметров от средних значений по региону в целом будут служить ориентирами для принятия дальнейших стратегических решений и программ.

Состав приведенных параметров может варьироваться в зависимости от социально-экономической или экологической ситуации и приоритетности проблем и задач, стоящих перед регионом в целом. С этой целью можно применять «взвешивание» параметров. В частности, выполнение социальной миссии районами в лице их власти сегодня является крайне важным показателем для РК, прямо влияя не только на степень удовлетворенности населения и репутацию района в лице его ТОП-менеджеров и руководителей, но также и на долю рынка, занимаемую районом на рынке. Исследования подтверждают этот факт: так, Шлаканева В.А.[13] выявила зависимость между выполнением социальной миссии организации и ростом ее продаж:  $Y = 118 + 0,96x$  (где  $Y$  – темп роста продаж,  $x$  – уровень выполнения миссии).

Рассмотрим еще один инструмент управления РК, результативность которого подтверждена практикой Белгородской области. Речь идет о стратегии «Формирование регионального солидарного общества» на 2011-2025 годы, реализуемой в целях развития идей, заложенных в Программе улучшения качества жизни населения и последовательного улучшения качества человеческих отношений на основе принципов справедливости, взаимного доверия и социальной ответственности. В системе мероприятий «Стратегии» реализуется 11 приоритетных направлений, в том числе:

- формирование духовных и культурных основ регионального солидарного общества;
- укрепление института семьи и семейных отношений как основы общества;
- формирование в среде молодежи установок на коллективизм, сотрудничество, развитие социальных сетей в молодежной среде, волонтерства;
- развитие и консолидация институтов гражданского общества и обеспечение гражданского участия;
- укрепление взаимного доверия между властью и населением;
- формирование и развитие социального капитала муниципальных образований и межмуниципального сотрудничества;

- развитие партнерства государства и гражданского общества на основе развития системы оказания государственных и муниципальных услуг населению;

- утверждение принципов социальной защищенности, поддержки и ответственности как оснований достижения общественного согласия;

- развитие корпоративных отношений в трудовых коллективах;

- совершенствование экономической основы регионального солидарного общества;

- тиражирование имиджа и символики регионального солидарного общества.

Первые итоги в реализации Стратегии выразились в том, что к 2016г. Белгородская область занимает 3-е место в рейтинге социального самочувствия регионов России. Достижение такого результата связано, в первую очередь, с работой, которая проводится в области по улучшению качества жизни и формированию регионального солидарного общества. Солидарное общество в понимании белгородцев – это сплоченное общество, объединенное общими позитивными целями, активной созидательной деятельностью на благо региона и Отечества. Оно основывается на таких ключевых понятиях, как единство, духовность, нравственность, патриотизм, доверие, деятельное сочувствие, ответственность.

Таким образом, стратегию формирования солидарного общества на региональном уровне можно рассматривать как еще один инструмент повышения РК, носящий комплексный характер.

Проектное управление следует рассматривать как эффективную форму реализации конкурентных стратегий. Так, проектом, направленным на повышение социальной РК в Белгородской области является проект «Управление здоровьем», стратегическая цель которого – увеличение продолжительности жизни населения региона к 2019г. до 75 лет. Для отработки мероприятий проекта определены две пилотные территории – Ракитянский и Новооскольский районы. Разработана региональная модель первичной медико-санитарной помощи, включающая 736 медицинских округа, 22 центра управления здоровьем, расположенных в муниципальных образованиях. Также в прошлом году были построены 24 и отремонтированы 209 офисов семейного врача и фельдшерско-акушерских пунктов. В план 2017-2018 годов вошли 269 объектов. Чтобы успешно провести модернизацию, в 2017 году переобучение должны пройти 707 медицинских работников. Главная роль в новой системе отводится семейному врачу, который будет заботиться о здоровье всех жителей медицинского округа.



Следует учесть также, что одной из прогрессивных форм развития региональной промышленности, инновационной инфраструктуры и социальной сферы выступают концессионные проекты на основе ГЧП (государственно-частного партнерства) как механизм привлечения частных инвестиций [16]. Особенно важна такая форма финансирования для социально-значимых объектов, для повышения качества услуг, оказываемых населению, а также для улучшения управления государственным и муниципальным имуществом (см. Федеральный Закон «О концессионных соглашениях» от 21.07.2005 №115ФЗ (ред. от 28.06.2014).

**Выводы.** В заключение подчеркнем важность использования в целях роста региональной конкурентоспособности и ее нематериальной составляющей философии и инструментально-технологической базы маркетинга территорий или регионального маркетинга [11,12]. Результаты изучения сущностных основ регионального маркетинга и тенденций его трансформации свидетельствуют о том, что он эволюционирует в направлении все большего утверждения его:

- во-первых, как особой философии ведения не только бизнеса, но и региональной политики в целом, влияющим на стиль и формы стратегического управления на территории;
- во-вторых, активно-инновационного управления ее социально-экономическим и культурным развитием, пространственным обустройством в широком смысле;
- в-третьих, методологии глубокого изучения социально-рыночной ситуации с последующим воздействием на нее через специфический маркетинговый и PR-инструментарий, систему адекватных коммуникаций.

Итак, региональная конкурентоспособность, рассматриваемая как концепт и целевая функция регионального управления, определяет круг задач и инструментов для достижения этой намеченной функции, а именно, повышения конкурентного уровня региона и достижения его устойчивой позиции. Так, известно, что грамотно выстроенная имиджевая политика позволяет значительно повысить инвестиционную привлекательность региона, увеличить финансовые поступления в региональный бюджет минимум на 20 %. Стратегия развития региона, территории в этом случае формируется с учетом потенциала конкурентоспособности и реализации его наиболее прогрессивных элементов, к которым сегодня, в «экономике информации и впечатлений» относятся, прежде всего, нематериальные активы. Это предполагает расширенное инвестирование именно в данные ресурсы, которые

определяют эффективность использования факторов традиционного материального типа.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беленов О.Н., Анучин А.А. Конкурентоспособность стран и регионов. М.: Кнорус. 2011. 144с.
2. Грант Р.М. Ресурсная теория конкурентных преимуществ: практические выводы для формулирования стратегии // Вестник СПбГУ. Сер. 8. Менеджмент. 2003. № 3. С. 47–75.
3. Дорошенко Ю.А., Бухонова С.М., Сомина И.В. Теоретические аспекты привлекательности экономических систем // Белгородский экономический вестник. 2014. №2. С. 3–7
4. Ефимычев Ю.И. Промышленные кластеры и экономический рост // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Экономика и финансы. 2005. №1. С.15–18.
5. Татаркин А.И. Региональная направленность экономической политики Российской Федерации как института пространственного обустройства территории // Экономика региона. Т.12. вып.1. С.9-27
6. Кондрашов И.Б., Щетинина Е.Д. Нематериальные активы региона как основа его стратегического и конкурентного позиционирования //Белгородский экономический вестник. 2016. №3 (83). С. 32–38.
7. Селиверстов Ю.И. Институциональные проблемы обеспечения конкурентоспособности России в инновационной сфере// Белгородский экономический вестник. 2015. №4 (79). С. 38–46.
8. Стрябкова Е.А. Роль инноваций в тренде российской экономики. Монография. 2016. С.220-234
9. Старикова М.С. Трансформация конкурентных отношений в современной экономике// Белгородский экономический вестник. 2016. №3. С.38-44
10. Прокушев Е.Ф., Антонов А.Ю. Методические подходы к оценке внешней торговли региона // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №3. С. 175–178
11. Сачук Т.В. Территориальный маркетинг. СПб.: Питер. 2009. 256с.
12. Панкрухин А.П. Территориальный маркетинг// Маркетинг в России и за рубежом. 1999. №5. 656 с.
13. Шлаканева В.А. Совершенствование методических подходов к комплексной оценке конкурентоспособности организаций потребительской кооперации // Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. 2013. №3 (47). С. 67–74

14. Porter M. Regional foundations of competitiveness and implications for government policy / M. Porter // Paper presented at the Department of Trade and Industry Workshop on Regional Competitiveness. London: DTI, 2002.

15.. Lundwall B.-A. The Learning Economy: Some Implications for the Knowledge Base of Health and Education System / Knowledge, Man-

agement in the Learning Society. Paris, OECD, 2000.

16. Герасименко О.А., Авилова Ж.Н. Концессия как перспективный механизм государственно-частного партнерства в регионе // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №3. С. 200–205.

---

**Kondraschov I.B.**

**METHODS AND INSTRUMENTS OF MANAGEMENT OF COMPETITIVENESS OF REGION**

*Actualization of solving a huge strategic problem – the viability of a regional economy – requires the development of existing approaches to management of its competitiveness and the improvement of such management in compliance with this important feature. The tasks and challenges of management of competitive position of a region, and particularly its assessment on the example of Belgorod region, have been specified at the article. The range of tools for employment a region's competitive factors with an accent on intangible assets and territorial marketing apparatus has also been suggested.*

**Key words:** region, viability of a regional economy, competitiveness of region, placemarketing, monitoring.

---

**Кондрашов Иван Борисович**, соискатель кафедры маркетинга.

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

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

E-mail: vanlord@yandex.ru

DOI: 10.12737/article\_590878fae86266.01838180

Карамышев А.Н., канд. экон. наук, доц.  
Казанский федеральный университет

## АНАЛИЗ МЕТОДОЛОГИЙ ПРОЦЕССНОГО УПРАВЛЕНИЯ, ПОЛНОСТЬЮ ОХВАТЫВАЮЩИХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

antonkar2005@yandex.ru

Формирование полноценной системы управления предприятием требует детального моделирования и определения продуктовых взаимосвязей всех бизнес-процессов предприятия. Решение данной задачи является проблематичным для крупных промышленных предприятий в силу их специфических особенностей. По этой причине особую актуальность приобретают существующие методологии процессного управления, полностью охватывающие бизнес-процессы предприятия. Наиболее распространенными из них являются методологии «Rummler-Brach», «СММІ», а также методологии процессного управления предприятием, заложенные в программных продуктах «ІС», «BAAN», «SAP». В статье приводится анализ указанных методологий, выявлены их достоинства, недостатки и особенности применения.

**Ключевые слова:** процессное управление, промышленность, философия менеджмента, машиностроение, методология управления.

Наиболее популярными в развитых странах являются следующие методологии процессного управления, охватывающие основные и вспомогательные бизнес-процессы: «Rummler-Brach», «СММІ» и методологии процессного управления, заложенные в автоматизированных информационных системах управления предприятием. Рассмотрим их.

### Методология «Rummler-Brache»

В основе данной методологии, разработанной в 1990-х годах Руммлером Г. и Брэйчем А., лежит понятие производительности труда со-

трудников. Результативность труда каждого сотрудника определяют на трех иерархических уровнях: а) рабочего места; б) бизнес-процесса; в) организации. При этом на каждом из этих уровней результат труда оценивается с позиции целей, документального сопровождения и системы управления производительностью труда [1].

Для наглядности была разработана оценочная модель, получившая название «модель девяти коробок» (табл.1) .

Таблица 1

Модель девяти коробок

| Оценочная позиция<br>Уровень иерархии | Цели организации                                                              | Документальное сопровождение                                                                            | Управление производительностью труда                                                                |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Организация                           | Стратегия компании, оперативные планы и их реализация                         | Бизнес-модель функционирования компании                                                                 | Оценка результативности деятельности компании в целом, анализ влияния корпоративной культуры на нее |
| Бизнес-процесс                        | Потребности бизнес-процессов – потребителей                                   | Регламентирующие документы выполнения бизнес-процессов и его структурных элементов                      | Модификация бизнес-процессов при изменении параметров внешней или внутренней среды                  |
| Рабочее место                         | Система оценки эффективности деятельности сотрудника, управление его карьерой | Должностные инструкции, Положение о структурной единице организации, повышение квалификации сотрудников | Система мотивации сотрудников                                                                       |

Общий алгоритм управления организацией на основе методологии «Rummler-Brach» следующий [2, 3]:

а) компания определяет целевые сегменты потребительского рынка;

б) разрабатывается стратегия наиболее эффективного удовлетворения потребностей клиентов и бизнес-модель ее реализации;

в) внутренняя среда организации мобилизуется на выполнение стратегических и тактических целей;

г) регламентирующие документы организации и система мотивации актуализируются с учетом обозначенных целей;

д) регулярно осуществляются мониторинг производительности и эффективности труда на каждом иерархическом уровне организации, а также совершенствование бизнес-процессов.

Преимущества методологии: а) позволяет реализовать стратегические планы компании в тактических действиях посредством разработки ключевых показателей эффективности для каждого рабочего места; б) позволяет оценивать динамику эффективности каждого рабочего места основных бизнес-процессов в части прямых затрат через однозначно понимаемый экономический показатель; в) формирует информационную основу для проведения бенчмаркетингового анализа; г) позволяет осуществлять системное управление предприятием; д) позволяет опосредованно оценить вклад каждого рабочего места в итоговые показатели деятельности.

Недостатками методологии являются: а) однобокий и неполный анализ деятельности компании через призму производительности труда; б) отсутствие методов улучшения параметров бизнес-процессов и его структурных элементов; в) отсутствие механизмов определения производительности труда рабочих мест во вспомогательных бизнес-процессах.

#### **Методология «СММІ»**

Методология «СММІ» разработана в 1980-х годах организацией «Software Engineering Institute». Основной целью методологии является внедрение и развитие процессного управления на предприятии.

В соответствии с данной методологией выделяется пять уровней развития процессного управления [4]:

1. Начальный. Бизнес-процессы слабо изучены, затраты на их выполнение и результаты варьируются.

2. Управляемый. Описаны отдельные бизнес-процессы.

3. Определенный. Описаны все бизнес-процессы организации. На втором и третьем уровне зрелости бизнес-процессов используется одна из нотаций моделирования бизнес-процессов.

4. Количественно-управляемый. На данном уровне все важные параметры бизнес-процессов выявлены, определены их

количественные характеристики, заданы эталонные величины этих параметров, управленческие решения принимаются по результатам отклонения фактических значений от эталонных. На данном уровне зрелости процессного управления используются методы «Бережливого производства», «Шести сигм».

5. Оптимизируемый. Основной акцент делается на совершенствовании бизнес-процесса.

Определение уровня зрелости процессного управления осуществляется на основе анализа следующих областей: 1. «управление требованиями»; 2. «планирование проекта»; 3. «мониторинг проекта»; 4. «менеджмент договоров с поставщиками»; 5. «оценка качества продукции и процессов»; 6. «управление конфигурацией»; 7. «разработка требований»; 8. «техническое решение»; 9. «интеграция продукции»; 10. «фокусирование внимания на процессах компании»; 11. «описание процессов компании»; 12. «тренинг»; 13. «управление рисками»; 14. «интегрированное управление поставщиками»; 15. «анализ разрешений и решений»; 16. «организационная среда для интеграции»; 17. «производительный организационный процесс»; 18. «количественное управление проектами»; 19. «инновационные внедрения»; 20. «анализ причин»; 21. «разрешение проблем»; 22. «контроль проекта». Каждая из областей имеет свои цели (уникальные или общие). Определение уровня процессного развития осуществляется на основе ответов на 101 вопрос. По результатам анализа вырабатываются рекомендации по развитию отдельных бизнес-процессов или организации в целом [4–6].

Преимущества методологии являются: а) возможность определения уровня развития системы процессного управления; б) универсальность методологии, возможность ее применения в любой сфере; в) полный охват бизнес-процессов.

Недостатками методологии являются: а) отсутствие оригинальных методов анализа производственных процессов; б) отсутствие возможности формирования полноценной системы управления предприятием; в) отсутствие возможности автоматизации бизнес-процессов.

#### **Методологии процессного управления предприятием, заложенные в программных продуктах «1С», «BAAN», «SAP».**

Возникновение данных программных продуктов обусловлено следующими факторами:

1. Развитие информационных технологий и компьютерной техники привели к возможности автоматизации бизнес-процессов, ранее выполнявшихся вручную или на простом

программном обеспечении. Это позволило на порядок повысить производительность труда и снизить накладные расходы [7].

2. Необходимость учесть требования нормативно-правовых актов государства. Этот фактор является актуальным постоянно, поскольку нормативно-правовая база регулярно изменяется и дополняется. В рамках массового программного продукта стоимость учета изменений нормативно-правовых актов для отдельного пользователя является приемлемой в сравнении с вариантом отслеживать и учитывать данные изменения самостоятельно [8].

3. Необходимость поддержки принятия управленческих решений. В рамках указанных программных продуктов есть возможность сбора информации, формирования отчетов и аналитических материалов с минимальным участием сотрудников [9, 10].

4. Возможность интеграции с другими программными продуктами и технологиями (в т.ч. базами данных, веб-сайтами) в единую систему управления, что повышает возможности системы управления предприятием [11].

Все указанные программные продукты разрабатывались по следующему алгоритму [8, 12, 13]:

1. Компания-разработчик моделировала «идеальный» с ее точки зрения алгоритм выполнения бизнес-процесса.

2. В рамках этого алгоритма выделялись отдельные работы бизнес-процесса, которые были важны с точки зрения потенциального потребителя.

3. Возможность учета выполнения данных работ (на основе первичных документов предприятия) была реализована в программном продукте.

4. Сформирована возможность аналитической обработки информации за определенный период времени в разрезе интересующих признаков.

Этот подход к разработке программного продукта предопределил преимущества и недостатки методологий процессного управления на основе программ.

Преимуществами методологии являются: а) высокая скорость внедрения на предприятии; б) высокая экономическая эффективность; в) поддержка программного продукта производителем в актуализированном состоянии.

Недостатками методологии являются: а) частичное или полное несоответствие реальных бизнес-процессов предприятия и «эталонных» бизнес-процессов, заложенных в программный продукт; б) жестко структурированная

стандартная конфигурация программы, что в отдельных случаях не позволяет анализировать информацию в необходимых разрезах; в) первоначальные инвестиции в программные продукты могут быть очень высокими (все зависит от конфигурации и заложенных возможностей); г) переход с одного программного продукта на другой из указанных выше является очень затратным, что приводит компании к «программной зависимости». Эти недостатки приводят к необходимости инвестировать дополнительные ресурсы в поддержку информационной системы предприятия квалифицированными IT-специалистами.

**Выводы.** На основе вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Рассмотренные методологии процессного управления, полностью охватывающие бизнес-процессы предприятия, имеют свои специфические особенности:

1.1. Методология «Rummler-Brache» акцентирует внимание на всеобщем анализе производительности труда, что делает процесс принятия управленческих решений несколько однобоким. Это приводит к ограничению возможностей системы управления предприятием. Существенным недостатком данной методологии являются методологические проблемы расчета производительности труда в обеспечивающих бизнес-процессах.

1.2. В фокусе внимания методологии «СММИ» находятся вопросы внедрения и развития системы процессного управления. Применяемые методы позволяют определить уровень развития процессного управления предприятия и обозначить направление дальнейших усилий для ее развития. Основным недостатком методологии является отсутствие жесткого алгоритма развития системы процессного управления.

1.3. Методологии управления предприятием, заложенные в программные продукты «1С», «BAAN», «SAP» позволяют в короткие сроки и по приемлемой цене автоматизировать бизнес-процессы предприятия. Основным недостатком такого подхода к управлению предприятием является частичное или полное несоответствие реальных бизнес-процессов предприятия и «эталонных» бизнес-процессов, заложенных в программный продукт. Это приводит к необходимости модификации программных алгоритмов и дополнительным издержкам.

2. Указанные недостатки методологий, полностью охватывающих бизнес-процессы предприятия, не позволяют обеспечить системное управление предприятием. Их общим недостатком является проблематичность определения

явных взаимосвязей между предлагаемыми в рамках методологий мероприятиями и экономическими результатами деятельности предприятия в целом.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Казаева М.С., Абросимова Е.В., Улеев А.С. Анализ американских методологий процессного управления [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: [http://iupr.ru/domains\\_data/files/zurnal\\_27/Kazaeva%20M.S.%20-%20Statya.pdf](http://iupr.ru/domains_data/files/zurnal_27/Kazaeva%20M.S.%20-%20Statya.pdf) (дата обращения: 26.03.2017)
2. Geary A. Rummler. Serious Performance Consulting According to Rummler. NY: John Wiley & Sons, 2007. 176 p.
3. Geary A. Rummler, Alan P. Brache. Improving Performance: How to Manage the White Space on the Organization Chart. NY: John Wiley & Sons, 2012. 288 p.
4. CMMI Product Team. CMMI® for Development, Version 1.2. Pittsburgh: Carnegie Mellon Software Engineering Institute, 2006. 573 p.
5. Кожомбердиева Г.И., Гарина М.И., Бураков Д.П. // Программные продукты и системы. 2013. №4. С. 117–124.
6. Ахен Д., Клауз А., Тернер Р. CMMI®: Комплексный подход к совершенствованию процессов. Практическое введение в модель. М.: Изд-во МФК, 2005. 330 с.
7. Баринаева А. Практика использования бизнес-процессов и задач в «1С: Предприятие 8.3». URL: <http://курсы-по-1с.рф/news/2017-03-02-business-processes-practice/> (дата обращения: 26.03.2017).
8. Кондратьев А.В., Кузнецов В.В. Использование механизма бизнес-процессов «1С: Предприятие 8» в курсе «Проектирование информационных систем» // Новые информационные технологии в образовании: Сборник научных трудов 11 междунар. научн.-практ. конф. «Развитие инновационной инфраструктуры образовательных учреждений с использованием технологий «1С». М.: 1С-Паблишинг, 2011. С. 212–215.
9. Курганова Е.В. Основы использования ВААН ERP 5.0С. Корпоративные информационные системы: учебное пособие. М.: Московский государственный университет экономики, статистики и информатики, 2004. 236 с.
10. Самардак А.С. Корпоративные информационные системы. Владивосток: ДВГУ, 2003. 262 с.
11. Руководство SAP ERP. Построение эффективной системы управления. М.: Альпина Паблишер, 2008. 356 с.
12. Вейс В., Кречмер Р. SAP R/3. Программирование на языке ABAP/4. М.: Лори, 2007. 360 с.
13. Маззалло Д., Витлей П. SAP R/3 для каждого. Пошаговые инструкции, практические рекомендации, советы и подсказки. М.: Баланс Бизнес Букс, 2008. 336 с.

---

**Karamyshev A.N.**

### PROCESS-BASED MANAGEMENT METHODOLOGY ANALYSIS COMPLETELY COVERING BUSINESS PROCESSES OF THE ENTERPRISE

*Formation of a complete enterprise management system requires detailed modeling and definition of product interrelations of all business processes of the enterprise. It is a problem to complete this task for large industrial enterprises due to its specific features. For this reason, existing methodologies of the process-based management that completely cover business processes of the enterprise, acquire particular urgency. The most common of these are "Rummler-Branch" and "CMMI" methodologies, as well as methodologies of the process-based management of the enterprise built-in "1C", "BAAN", "SAP" software products. The article presents analysis of the methodologies mentioned; it describes their advantages, disadvantages and specifics of application.*

**Key words:** process-based management, industry, management philosophy, machine building, business processes system management methodology.

---

**Карамышев Антон Николаевич**, кандидат экономических наук, доцент  
Набережночелнинский институт Казанского федерального университета  
Адрес: Россия, 423826, Набережные Челны, 423812, д. 68/19  
E-mail: antonkar2005@yandex.ru

DOI: 10.12737/article\_590878fada2449.83068338

*Трунова И.В., магистрант,  
Затолюкина Н.М., канд. географ. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЕКРЕАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ТЕРРИТОРИИ ШЕБЕКИНСКОГО РАЙОНА И ГОРОДА ШЕБЕКИНО

nm-zatolokina@yandex.ru

*В настоящее время человек испытывает большое количество стрессовых и психологических нагрузок. Для восполнения потраченных сил и увеличения жизненной энергии требуются рекреации различного уровня и потенциала, которые включают в себя отдых, лечение, профилактику, занятия физкультурой и спортом. Научой доказано, что лесной воздух благоприятно влияет на оздоровление организма. Простая прогулка по сосновому бору успокаивает, снимает психологические нагрузки и способствует обогащению кислородом организма человека, особенно это важно в вазе роста и созревания человека. Белгородская область обладает высокими рекреационными возможностями, но они не используются в полной мере. На территории области возможно создание новых реабилитационных и восстановительных центров на базе имеющихся природных ресурсов. Особенно это актуально вблизи областного центра.*

**Ключевые слова:** рекреационный потенциал, развитие территории, депрессивные площадки, оздоровительный лагерь

**Введение.** В условиях глобализации, свободного перемещения финансовых и трудовых ресурсов важнейшими показателями привлекательности, известности и узнаваемости Шебекинского района становятся его интеллектуальные, культурные и спортивные возможности, качество его инфраструктуры, удобство городской среды.

На сегодня в районе имеют место два фактора – невысокий потребительский и научный потенциал, слабо развитый уровень деловой инфраструктуры. Проводимая районом и региональной властью политика способствует развитию экономики, культуры и самобытности района, в том числе ее институциональных возможностей привлекать, развивать и создавать конкурентные преимущества.

**Методология.** Целями проведенного исследования раскрывается рекреационный потенциал Шебекинского района и города Шебекино. Исследование позволило предложить возможный вариант по использованию территории для наибольшего раскрытия рекреационной составляющей данного района Белгородской области.

**Основная часть.** Большое значение приобретают рекреационные ресурсы, под которыми подразумеваются не только природные ландшафты, но и культурные и исторические памятники. Основу рекреационного потенциала России составляют исторические города, музеи, национальные и природные парки, горы, озера, моря, гидроминеральные источники, пригодные для отдыха и лечения [1].

Условно территория Российской Федерации подразделяется по наличию природных и общественных объектов на 15 рекреационных

районов; Белгородская область входит в Центральный рекреационный район, основная функция которого – туристско-оздоровительная.

Территория Белгородской области обладает большим рекреационным потенциалом. Во-первых, *выгодное географическое положение и рельеф местности* способствуют развитию туристических маршрутов, велосипедных и пеших прогулок, организации санаторного лечения. Во-вторых, *благоприятные климатические условия* позволяют предоставлять услуги в сфере туризма и отдыха круглый год [2].

В-третьих, большие запасы *лесных ресурсов*. Уникальными считаются естественные меловые боры в Шебекинском («Бекарюковский бор») и Новооскольском районах. Проанализировав земли лесного фонда в муниципальных районах Белгородской области (рисунок 1), был сделан вывод, что наибольшие лесные площади расположены в Шебекинском, Красногвардейском и Старооскольском районах; наименьшие – в г. Белгород, Вейделевском, Краснояружском районах.

В-четвертых, на живописных берегах *рек* организуются пляжи, базы отдыха, санатории; также реки используются в водном туризме. Разведаны месторождения минеральных вод (Белгородский, Борисовский, Яковлевский, Шебекинский, Чернянский районы), но их использование в лечебно-оздоровительных целях недостаточно развито.

В-пятых, наличие *особо охраняемых природных территорий* (ООПТ) общей площадью более 51 000 га. Помимо памятников природы на территории области по данным Управления культуры Белгородской области расположено

2 016 памятников истории и культуры (35 – федерального значения), 43 памятника искусства,

908 памятников археологии, 8 старинных парков [3].

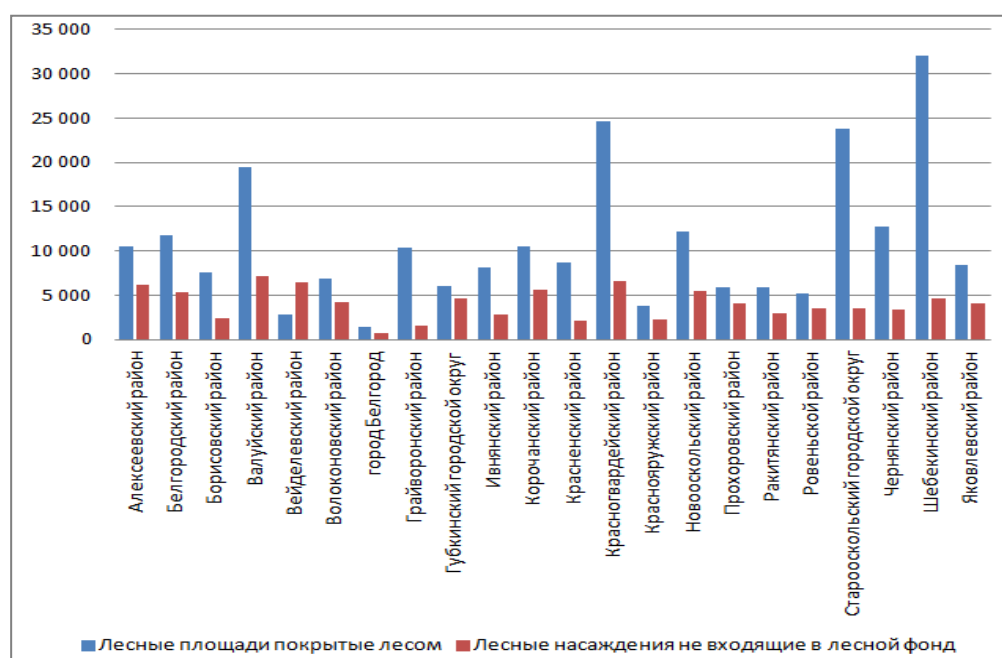


Рис. 1. Соотношение земель лесного фонда муниципальных районов Белгородской области

Таким образом, из приведенного анализа видно, что Белгородская область обладает высокими рекреационными возможностями, но они не используются в полной мере. Полагаем, что в некоторых районах Белгородчины возможно создание нового реабилитационного и восстановительного центра на базе имеющихся природных ресурсов. Рассмотрим такую возможность на территории Шебекинского района.

Шебекинский район расположен на юге Белгородской области, состоит из 1 городского и 14 сельских поселений; характеризуется разнообразием состава грунта, густой овражно-балочной сетью, обводненностью. Протекают такие реки как Северский Донец, Нежеголь, Короча. Как видно на рисунке 2 наибольшей про-

тяженностью обладает река Нежеголь, которая к тому же является одной из самых чистых рек Белгородской области, поэтому на ее живописных берегах расположены базы отдыха и санаторий [5].

На территории Шебекинского района и города Шебекино находится большое количество памятников истории и архитектуры, особо охраняемых природных территорий. Здесь располагаются крупные лесные массивы. Большие площади сосны меловой встречаются на территории Шебекинского района. Главным ограничивающим фактором является разработка меловых карьеров (ОАО «Шебекинский меловой завод»). Места распространения показаны на рисунке 3.

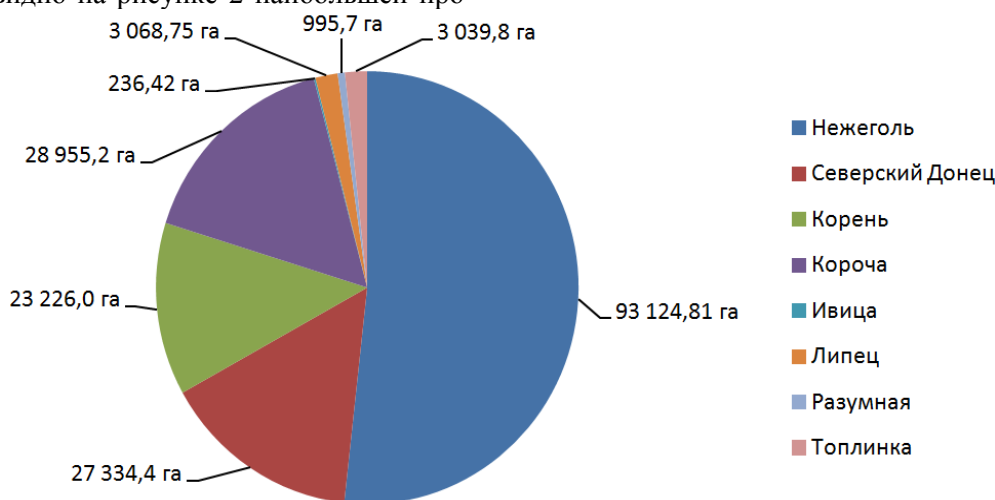


Рис. 2. Протяженность рек Шебекинского района





- Шебекинский район  
(Бекарюковский бор, Бор на мелу, с.  
Архангельское, Чураево)
- Новооскольский (Стенки-Изгорья)
- Чернянский район (окраина п.  
Чернянка)
- Украина, Донецкая область

Рис. 3. Ареал распространения сосны меловой

Наукой доказано, что лесной воздух благоприятно влияет на оздоровление организма. После пребывания в лесу, человек чувствует прилив жизненных сил, ощущает себя бодрым. В лесном воздухе содержатся *фитонциды* – противомикробные вещества, которые могут оказывать противоаллергическое и иммуномодулирующее действие. Анализы выявили, что в воздухе хвойного леса содержится в 5 раз больше фитонцидов, чем в других лесах. Ученые также установили, что воздух кедрового и соснового леса практически стерилен, даже туберкулезная палочка теряет свою активность. Из этого можно сделать вывод о том, что значение соснового леса на здоровье человека очень велико: укрепляется сердечнососудистая, нервная система, иммунитет, улучшается психическое и эмоциональное состояние организма [6].

Большое внимание на территории Шебекинского района уделяется здоровью населения: производится строительство новых спортивных сооружений, осваиваются такие виды спорта как плавание, хоккей, футбол, фигурное катание, художественная гимнастика, различные виды борьбы. Кроме спорта развиваются рекреации: базы отдыха, дом отдыха, детские оздоровительный лагеря.

Исходя из анализа природных ресурсов и культурно-исторического потенциала муници-

пального образования «Шебекинский район и город Шебекино», было выявлено, что данная территория наиболее подходит для размещения нового рекреационного комплекса.

Одной из депрессивных площадок Шебекинского района выступает земельный участок, расположенный на территории Новотаволжанского сельского поселения, где раньше располагался детский оздоровительный лагерь «Пионерская республика» (рис. 4 а). В настоящее время площадка не используется. На территории расположены 15 жилых помещений (корпусов) для отдыха со степенью износа 99% [7].

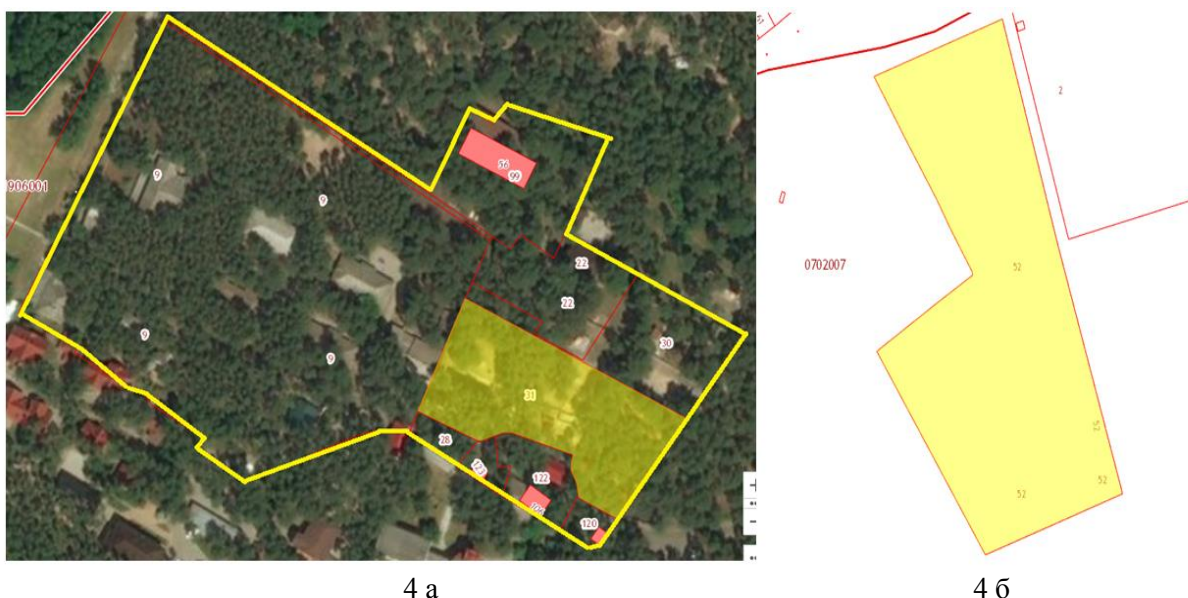
Территория детского оздоровительного лагеря «Костер» (рис. 4 б), располагающаяся в районном центре, также не используется. Корпуса лагеря, как и сама территория, находятся в критическом состоянии: крыши и полы помещений прогнили, выбиты стекла и выломаны рамы. Раньше «Костер» считался одним из лучших детских лагерей области, но все изменилось с закрытием Шебекинского химического завода. Потом лагерь передали администрации Шебекинского района, но 2014 года его сняли с баланса, и территория пришла в полное запустение.

В таблице 1 приведены некоторые характеристики депрессивных площадок.

Таблица 1

#### Характеристики детских оздоровительных лагерей (депрессивных площадок)

| Наименование                     | «Костер»                                          | «Пионерская республика»                        |
|----------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Площадь, м <sup>2</sup>          | 67 225                                            | 61 968                                         |
| Владелец земельного участка      | собственность муниципалитета                      | собственность РФ                               |
| Текущее использование территории | не используется                                   |                                                |
| Доступ к площадке                | автомобильное сообщение                           |                                                |
| Инженерная инфраструктура:       |                                                   |                                                |
| Электроэнергия                   | +                                                 | +                                              |
| Водоснабжение                    | –                                                 | –                                              |
| Вид разрешенного использования   | Р-3А (Зона отдыха и занятий физической культурой) | Р-3 (Зона рекреационно-ландшафтных территорий) |



4 а

4 б

Рис. 4. Депрессивные площадки Шебекинского района и города Шебекино [4, 5]:  
4 а – территория детского оздоровительного лагеря «Пионерская республика»;  
4 б – территория детского оздоровительного лагеря санаторного типа «Костер»

Далее более подробно рассмотрим разбивку территории детского лагеря «Костер», которая представлена на рисунке 5.

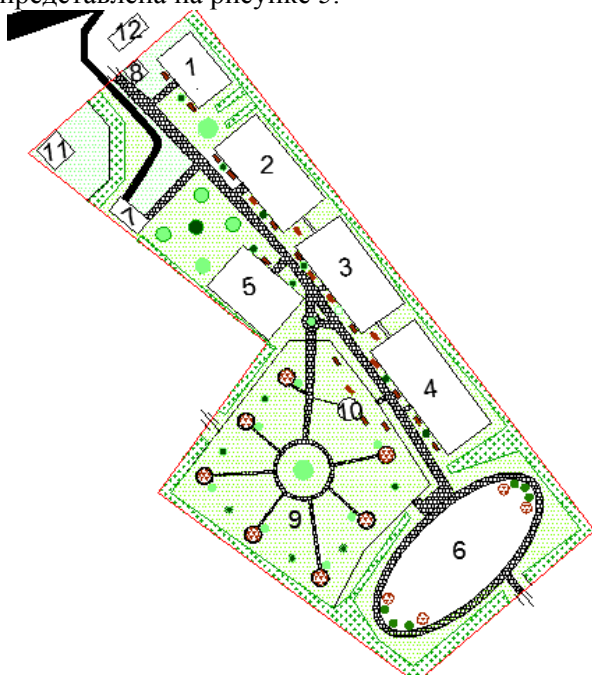


Рис. 5. План разбивки территории оздоровительно-восстановительного центра

Оздоровительно-восстановительный центр предусматривается круглогодичного действия для взрослых и детей с 3 лет. Территория предусматривает размещение следующих объектов:

1. Административное здание размером 24×36 метров;
2. Корпус отдыха и питания (60×45 метров), включающий одноместные и двухместные номера, столовую на 45 мест;

3. Лечебно-диагностический комплекс (60×30 метров), в котором расположены лечебные кабинеты;

4. Физкультурно-оздоровительный комплекс (ФОК) размером 72×60 метров;

5. Культурно-развлекательный центр размером 45×30 метров;

6. Спортивная площадка для игровых видов спорта 0,42 га;

7. Крытая автостоянка для работающего персонала на 10 мест, располагаемая на территории центра;

8. Контрольно-пропускной пункт;

9. Зона отдыха 1,15 га, включающая детскую площадку, малые архитектурные формы;

10. Детская игровая площадка с песочницей для детей от 3 до 7 лет;

11. Электрическая подстанция;

12. Открытая автостоянка для посетителей на 20 мест за пределами территории оздоровительного центра.

По периметру территории можно высадить сосну обыкновенную, березу, что приведет в дальнейшем к образованию естественного ограждения.

**Вывод.** Таким образом, для наиболее эффективного использования городских территорий необходимо вовлекать в оборот неиспользуемые территории, поэтому предлагаем создать на основе рассмотренных депрессивных площадок новые восстановительный и оздоровительный центры. Строительство новых здравниц будет направлено на профилактику и лечение заболеваний, следовательно, повысится уровень оздоровления местного населения и населения соседних регионов. Кроме того благодаря стро-

ительству новых объектов появятся новые рабочие места, тем самым сократится доля безработных; а также работа центров будет приносить экономическую выгоду. В целом все это приведет к дальнейшему развитию территории города Шебекино и Шебекинского района как одной большой рекреационной зоны.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила землепользования и застройки городского поселения «Города Шебекино» «Шебекинского района и города Шебекино» Белгородской области: офиц. Текст. - Белгород, 2010.
2. Инвестиционные площадки: [Электронный ресурс] // Официальный сайт администрации Шебекинского района Белгородской области. 2016. URL: <http://www.admsheb.ru/investment/>
3. Культурное наследие: [Электронный ресурс] // Управление культуры Белгородской области. URL: <https://www.belkult.ru/p/zakon/>
4. Публичная кадастровая карта: [Электронный ресурс]. 2010-2015. URL: <https://pkk5.rosreestr.ru/>
5. Рекреационные ресурсы России: [Электронный ресурс] // География. URL: <https://geographyofrussia.com/rekreacionnye-resyrsy-v-rossii/>
6. Затолокина Н.М. Влияние промышленных зон на развитие застроенной территории (на примере Старооскольского городского округа) // IV Международная научно-практическая конференция "Современные концепции научных исследований" Евразийский Союз Ученых. 2014. №4. С.77–81.
7. Затолокина Н.М., Васильчикова М.А., Кутник В.В., Новиков Е.С., Харченко Т.В. Перспективы развития сельских территорий Белгородского района Белгородской области // Международный независимый институт Математики и Систем «МиС», XV Международная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы развития инновационной деятельности в новом тысячелетии». 2015. Новосибирск. №4(15)/2015. С.79.

---

**Trunova I.V., Zatolokina N.M.**

### PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF THE RECREATIONAL POTENTIAL OF THE TERRITORY OF SHEBEKINSKY AREA AND THE CITY OF SHEBEKINO

*Currently, the person experiences a large amount of stress and psychological stress. To fill the spent forces and increase vital energy, recreation of a different level and potential is required, which includes rest, treatment, prevention, physical education and sports. Science has proven that forest air has a positive effect on the health of the organism. A simple walk through the pine forest soothes, relieves psychological stress and facilitates the oxygenation of the human body, this is especially important in the vase of growth and maturation of a person. The Belgorod region has high recreational opportunities, but they are not fully used. In the region it is possible to create a new rehabilitation and recovery centers on the basis of available natural resources. This is especially true near the regional center.*

**Key words:** recreational potential, development of the territory, depressive grounds, health camp.

---

**Трунова Ирина Владимировна**, магистр, кафедры городского кадастра и инженерных изысканий. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
E-mail: [trunova.irina2010@yandex.ru](mailto:trunova.irina2010@yandex.ru)

**Затолокина Наталья Михайловна**, кандидат географических наук, научный сотрудник кафедры городского кадастра и инженерных изысканий. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
E-mail: [nm\\_zatolokina@yandex.ru](mailto:nm_zatolokina@yandex.ru)

DOI: 10.12737/article\_590878facd4db7.22636176

*Парфенюкова Е.А., асс., магистрант,  
Ширина Н.В., канд. техн. наук, доц.*

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

## ВЫПОЛНЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ КАДАСТРОВЫХ РАБОТ В ПИЛОТНОМ РЕГИОНЕ

[schnv02@mail.ru](mailto:schnv02@mail.ru)

*Приводятся основные положения реализации отдельных блоков федеральной целевой программой «Развитие единой государственной системы регистрации прав и кадастрового учёта недвижимости на период с 2014 по 2020 год», а именно, рассматриваются вопросы отработки технологии комплексных кадастровых работ с целью 100-процентного учета объектов в «пилотных» кадастровых кварталах для дальнейшего массового внедрения.*

**Ключевые слова:** комплексные кадастровые работы, «пилотный» регион, кадастр недвижимости, кадастровый инженер.

Сегодня одной из главных проблем в сфере осуществления кадастровых отношений остается отсутствие необходимых сведений об объектах недвижимости, содержащихся в единой федеральной информационной системе недвижимости, или ненадлежащее качество этих сведений. До сих пор неизвестно общее количество неучтенных в едином государственном реестре недвижимости (далее – ЕГРН) земельных участков и объектов недвижимости. Попытки Федеральной службы земельного кадастра России провести в 2001 году инвентаризацию сведений о ранее учтенных земельных участках для отражения их в государственном реестре земель кадастрового района и на дежурной кадастровой карте в виде чертежа земельных участков в квартале и каталога координат точек границ земельных участков оказались безуспешными. Существующий в настоящее время способ формирования сведений ЕГРН на основе заявительного принципа приводит к созданию фрагментарного реестра (кадастра). Мировая практика подтверждает, что создание кадастра на основе заявок заинтересованных лиц даже в течение длительного времени приводит лишь к 20–30-процентной наполняемости кадастра сведениями о земельных участках и объектах недвижимости. Решением этой проблемы может стать выполнение комплексных кадастровых работ [1, 2].

Проведение комплексных кадастровых работ предусмотрено Федеральным законом от 24 июля 2007 г. № 221-ФЗ «О кадастровой деятельности» [3]. Комплексные кадастровые работы – единственный действенный механизм уточнения границ земельных участков. Они являются логическим завершением начатой в 1993 году земельной реформы, которая сформировала современную систему земельно-имущественных отношений в России. Помимо уточнения границ

проведение таких работ позволит устранить кадастровые ошибки в сведениях кадастра недвижимости и определить местоположение границ объектов капитального строительства [4].

На сегодняшний день процедура осуществления комплексных кадастровых работ представляет собой механизм, практика реализации которого является нововведением не только для Белгородской области, но и для других регионов Российской Федерации.

В соответствии с положениями Федерального закона от 24.07.2007 г. № 221-ФЗ «О государственном кадастре недвижимости» (ред. 03.07.2016 г.) под комплексными кадастровыми работами понимаются кадастровые работы, которые выполняются одновременно в отношении всех расположенных на территории одного кадастрового квартала или территориях нескольких смежных кварталов:

1) земельных участков, кадастровые сведения о которых не соответствуют установленным требованиям к описанию местоположения границ земельных участков;

2) земельных участков, занятых зданиями или сооружениями, площадями, улицами, проездами, набережными, скверами, бульварами, водными объектами, пляжами и другими объектами общего пользования, образование которых предусмотрено утвержденным в установленном законодательством о градостроительной деятельности порядке проектом межевания территории;

3) зданий, сооружений, а также объектов незавершенного строительства, права на которые зарегистрированы в установленном Федеральным законом «О государственной регистрации прав на недвижимое имущество и сделок с ним» порядке (ныне «О государственной регистрации недвижимости» №218-ФЗ).

Согласно п. 2 ст. 42.2 гл. 4.1 финансиру-

ние выполнения комплексных кадастровых работ осуществляется за счет средств бюджетов субъектов Российской Федерации и (или) бюджетов муниципальных районов, городских округов, в том числе за счет средств, направляемых в бюджеты субъектов Российской Федерации в виде субсидий из федерального бюджета [3]. Общие правила определения объема средств федерального бюджета, ежегодно предусматриваемых на финансовое обеспечение проведения комплексных кадастровых работ, предоставления и распределения между бюджетами субъектов Российской Федерации субсидий из федерального бюджета на указанные цели приводятся в федеральной целевой программе «Развитие единой государственной системы регистрации прав и кадастрового учета недвижимости (2014 – 2020 годы)» [6].

В 2017 году субсидии на выполнение комплексных кадастровых работ планируется предоставить трем пилотным регионам – Республике Тыва, Астраханской и Белгородской областям. Исполнители комплексных кадастровых работ будут определены региональными властями на конкурсной основе.

Таким образом, Белгородская область вошла в перечень пилотных регионов.

В настоящее время достаточно большое количество земельных участков, сведения о которых содержатся в ЕГРН, не имеют точного описания границ. Согласно информации ФГБУ «ФКП Росреестра» по Белгородской области, общее количество земельных участков, учтенных в ГКН (ныне ЕГРН), расположенных на территории Белгородской области, составляет 913 970; количество земельных участков, местоположение границ которых установлено в соответствии с требованиями земельного законодательства РФ – 474 525, что составляет 52 % от общего количества земельных участков. Причина, в основном, в том, что длительное время законодательство допускало оформление прав на земельные участки без установления границ.

Кроме того, в ЕГРН учтены земельные участки, в сведениях о местоположении границ которых содержатся кадастровые ошибки, имеющие массовый характер и требующие комплексного решения для их устранения. На сегодняшний день по данным ФГБУ «ФКП Росреестра» в ЕГРН с кадастровыми ошибками содержатся сведения о 19 370 земельных участках, расположенных на территории Белгородской области.

Отсутствие сведений о границах земельных участков или наличие в ЕГРН сведений о границах земельных участков, не соответствующих требованиям, установленным законодатель-

ством, отсутствие сведений о местоположении зданий, сооружений, объектов незавершенного строительства на земельных участках:

- не позволяет осуществлять рациональное и качественное управление и распоряжение земельными ресурсами (в частности, сложно определить, какие земельные участки являются свободными для последующего их предоставления);

- увеличивает риски приобретателей прав на объекты недвижимости, в т.ч. в части возможных споров в суде;

- снижает инвестиционную привлекательность территорий и объектов жилищного и иного строительства;

- приводит к потере поступлений в бюджет органов местного самоуправления доходов от земельного налога.

Отметим, что в целевой модели по фактору В2 «Эффективность процедур постановки земельного участка на кадастровый учет...» целевое значение показателя «Учет земельных участков с уточненной площадью» к 2020 году должен быть на уровне 85%. При этом показатель «Учет земельных участков с уточненной площадью» и «Внесение в ЕГРН сведений о согласованных границах земельных участков» входят в систему показателей Национального рейтинга инвестиционного климата в регионах. На наш взгляд, достижение целевого показателя невозможно без применения новых подходов и технологий кадастровых работ.

На территории пилотных муниципальных образований, в том числе и Белгородской области, за счет средств федерального бюджета, направленных в виде субсидии, будут выполняться комплексные кадастровые работы, в ходе которых будет:

- осуществлено уточнение местоположения границ земельных участков;

- осуществлено установление и/или уточнение местоположения на земельных участках зданий, сооружений, объектов незавершенного строительства;

- образованы земельные участки, на которых расположены здания, в том числе многоквартирные дома, сооружения, за исключением сооружений, являющихся линейными объектами;

- образованы земельные участки общего пользования, занятые площадями, улицами, проездами и другими объектами;

- исправлены кадастровые ошибки в сведениях о местоположении границ объектов недвижимости.

В ходе отработки нового механизма осуществления комплексных кадастровых работ с



целью наполнения базы данных ЕГРН и исправления ошибок в нем для территории Белгородской области были определены три основных блока результатов, представленных на рисунке.



Рис. Цели выполнения комплексных кадастровых работ в «пилотных» кварталах Белгородской области

Хотелось бы обратить внимание на то, что комплексные кадастровые работы могут выполняться на всей территории России только единой. Кроме того, для того чтобы работы проводились на законных основаниях, необходимо наличие ратифицированного проекта межевания территории и землеустроительная документация, включая ситуационные планы и планово-картографические материалы [7–9].

Как подчеркнула Виктория Абрамченко: «Комплексные кадастровые работы являются важнейшим инструментом, предложенным региональным властям для оптимального территориального планирования, наполнения бюджетов и повышения инвестиционной привлекательности.» и мы полностью с ней согласны.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бурмакина Н.И. Актуальные проблемы в сфере реализации кадастровых отношений и возможные пути их решения [Электронный ресурс]. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/aktualnye-problemy-v-sfere-realizatsii-kadastrykh-otnosheniy-i-vozmozhnye-puti-ih-resheniya>

2. Бабаян К. Т., Гагай И.В. К вопросу о совершенствовании кадастровых работ, учета недвижимости и регистрации прав на нее [Электронный ресурс]. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-sovershenstvovanii-kadastrykh-rabot-ucheta-nedvizhimosti-i-registratsii-prav-na-nee>

3. Федеральный закон от 24 июля 2007 г. № 221-ФЗ «О кадастровой деятельности» (в редакции Федерального закона от 03 июля 2016 г. № 361-ФЗ) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2017) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.consultant.ru>

4. Виктория Абрамченко: Регионы получают субсидии на кадастровые работы [Электронный ресурс]. URL: <http://economy.gov.ru/minrec/press/news/2016141207>

5. Федеральный закон от 13.07.2015 № 218-ФЗ (ред. от 03.07.2016) «О государственной регистрации недвижимости» (с изм. и доп., вступ. в силу с 02.01.2017) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.consultant.ru>

6. Постановление Правительства Российской Федерации от 10 октября 2013 г. № 903 «О федеральной целевой программе «Развитие единой государственной системы регистрации прав и кадастрового учета недвижимости (2014 - 2020 годы)» [Электронный ресурс]. URL: <https://rg.ru/2013/10/17/kadastr-uchet-site-dok.html>

7. Комплексные кадастровые работы [Электронный ресурс]. URL: <http://kadastrsro.ru/polezno-znat/statiy-obsukdeniy/29-sro-kadastrykh-injenerov-statiy/169-kompleksnye-kadastrye-raboty>

8. Выполнение комплексных кадастровых работ для уточнения местоположения границ земельных участков на основе сведений, полученных с использованием беспилотных летательных аппаратов [Электронный ресурс]. URL: [https://roscadastre.ru/html/IV\\_Sezd/d3\\_ks3\\_Popov.pdf](https://roscadastre.ru/html/IV_Sezd/d3_ks3_Popov.pdf)

9. Комплексные кадастровые работы [Электронный ресурс]. URL: <https://farpoint-nn.ru/Article/2102/kompleksnye-kadastrye-raboty>

Parfenyukova E.A., Shirina N.V.

## IMPLEMENTATION OF COMPREHENSIVE CADASTRAL WORKS IN A PILOT REGION

The basic provisions of implementing the individual units of the federal target program «Development of Uniform State System of Registration of the Rights and the Cadastral Accounting of Real Estate for the Period from 2014 to 2020» have been presented, that is, the elaboration of comprehensive cadastral works technology with the purpose of 100% registration of cadastre objects in the «pilot» cadastral units for the further mass implementation is considered.

**Key words:** comprehensive cadastral works, «pilot» region, immovable property cadastre, cadastral engineer.

**Ширина Наталья Владимировна**, кандидат технических наук, доцент  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46  
E-mail: schnv02@mail.ru

**Парфенюкова Елизавета Артуровна**, магистрант.  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46  
E-mail: schnv02@mail.ru

DOI: 10.12737/article\_590878fac11024.08837272

*Кононова О.Ю., ст. препод.,  
Затолюкина Н.М., канд. геог. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
Мелентьев А.А., канд. экон. наук, доц.  
Белгородский государственный аграрный университет им В.Я. Горина*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

oksana171289@mail.ru

Одним из ключевых ресурсов в Российской Федерации является земельный ресурс - это основа национального богатства. Однако земли могут выходить из сельскохозяйственного оборота, истощаться, деградировать качественно и количественно. Обеспечение государства земельными ресурсами, а также их эффективное использование являются важнейшим политическим и экономическим факторами развития общественного производства. Мировой опыт свидетельствует, что экологическая и продовольственная безопасность в значительной мере зависит от действующих механизмов государственного управления в области рационального использования, охраны и восстановление природных ресурсов. Поэтому в работе были предложены способы решения проблемы уменьшения земель сельскохозяйственного назначения. Рациональное использование земель относят к числу важнейших принципов земельного права. Как принцип права, рациональное использование земель выражается в требовании их эффективной эксплуатации землевладельцами, землепользователями и собственниками земли. Содержание данного принципа определяется как общими требованиями, предъявляемыми к использованию и охране земель вообще, так и спецификой правового режима той или иной категории земель.

**Ключевые слова:** земля, рациональное использование, земельный фонд, плодородие, земли сельскохозяйственного назначения, земельные ресурсы.

Источником жизнеспособности любого государства являются земельные ресурсы и население, проживающее на них. Обеспечение государства земельными ресурсами, а также их эффективное использование являются важнейшим политическим и экономическим факторами развития общественного производства. Население получает более 87 % продуктов в виде урожая с обработанной земли. А если же учесть и продукты животноводства, выращенные на лугах и пастбищах, то этот показатель увеличится до 98 %. В отличие от других средств производства, которые в процессе использования изнашиваются, уменьшают свои полезные свойства, выходят из хозяйственного оборота, естественная производительная способность земли способна увеличиваться при правильном обращении с ней и рациональном ее использовании. В результате этого можно сказать, что земля представляет собой практически вечное средство производства. Однако земли могут выходить из сельскохозяйственного оборота, истощаться, деградировать качественно и количественно [1].

В настоящее время проблемы эффективного социально-экономического использования природных ресурсов стоят перед современным российским обществом особенно остро. В соответствии с данными государственной статистической отчетности площадь земельного фонда Российской Федерации на 1 января 2016 года

составила 1712,5 млн. га без учета внутренних морских вод и территориального моря (рис. 1). По сравнению с мировыми земельными ресурсами – это около 14 % суши планеты [2].

Доля пахотных земель в Российской Федерации составляет всего 7,6 %, а в Западной Европе – 30 %, Азии – 15,2 %, Северной Америке – 12,6 %. Из этого можно сделать вывод, что каждый гектар пашни в России - это национальное богатство.

Мировой опыт свидетельствует, что экологическая и продовольственная безопасность в значительной мере зависит от действующих механизмов государственного управления в области рационального использования, охраны и восстановление природных ресурсов.

Управление земельными ресурсами (землями) это организующая деятельность компетентных органов исполнительной власти по обеспечению рационального использования и охраны земель всеми субъектами земельных отношений. Управление землями подразделяется на общее и ведомственное (отраслевое), которые имеют общность задач, функций и метода воздействия. Общее управление земельными ресурсами осуществляется органами общей и специальной компетенции и имеет территориальный характер, т.е. оно распространяется на земли (независимо от их категории и прав на конкретный земельный участок) в пределах территории Рос-



сийской Федерации, субъектов РФ или муниципальных образований. Такое управление осуществляют органы общей компетенции: Правительство РФ, органы исполнительной власти субъектов РФ, исполнительные органы местного

самоуправления, а также органы специальной компетенции, в частности Федеральное агентство по управлению государственным имуществом, Федеральная служба по надзору в сфере природопользования и др.

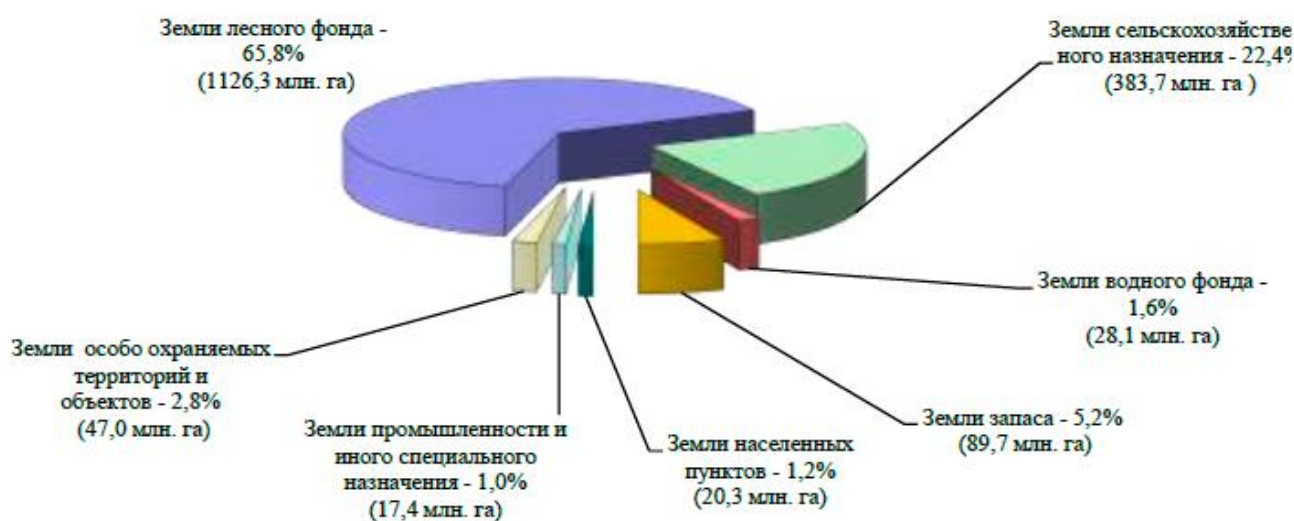


Рис. 1. Структура земельного фонда Российской Федерации по категориям земель

Анализ данных, полученных в результате государственного статистического наблюдения за земельными ресурсами, и докладов о состоянии и использовании земель в субъектах Российской Федерации показал, что в 2015 году значительные площади земель были вовлечены в гражданский оборот, а также продолжались процессы установления (изменения) границ населенных пунктов.

В течение 2015 года переводы земель из одной категории в другую затронули все категории земель, в большей степени это коснулось земель сельскохозяйственного назначения, земель лесного фонда, земель запаса, земель промышленности и иного специального назначения, а также земель населенных пунктов (табл. 1).

Таблица 1

**Распределение земельного фонда Российской Федерации по категориям земель**

| № п/п                               | Наименование категорий земель                        | на 1 января 2015 г.<br>(млн. га) | на 1 января 2016 г.<br>(млн. га) | 2015 г. к 2014 г.<br>(+/-)<br>(млн. га) | Изменения<br>в процентах |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|
| 1                                   | Земли сельскохозяйственного назначения               | 385,5                            | 383,7                            | -1,8                                    | -0,47                    |
| 2                                   | Земли населенных пунктов, в том числе:               | 20,1                             | 20,3                             | 0,2                                     | 0,99                     |
| 2.1                                 | городских населенных пунктов                         | 8,3                              | 8,3                              | —                                       | —                        |
| 2.2                                 | сельских населенных пунктов                          | 11,8                             | 12,0                             | 0,2                                     | 1,67                     |
| 33                                  | Земли промышленности и иного специального назначения | 17,2                             | 17,4                             | 0,2                                     | 1,15                     |
| 4                                   | Земли особо охраняемых территорий и объектов         | 47,0                             | 47,0                             | —                                       | —                        |
| 5                                   | Земли лесного фонда                                  | 1122,6                           | 1126,3                           | 3,7                                     | 0,33                     |
| 6                                   | Земли водного фонда                                  | 28,0                             | 28,1                             | 0,1                                     | 0,36                     |
| 7                                   | Земли запаса                                         | 89,5                             | 89,7                             | 0,2                                     | 0,22                     |
| Итого земель в Российской Федерации |                                                      | 1709,9                           | 1712,5                           | 2,6                                     | 0,15                     |

На 1 января 2016 года площадь земель сельскохозяйственного назначения составила 383,7 млн. га. В сравнении с предшествующим годом площадь категории земель в составе земельного фонда Российской Федерации умень-

шилась на 1,8 млн. га. Землями сельскохозяйственного назначения признаются земли за границами населенных пунктов, предоставленные для нужд сельского хозяйства или предназначенные для этих целей. Земли данной катего-

рии выступают как основное средство производства в сельском хозяйстве, имеют особый правовой режим и подлежат особой охране, направленной на сохранение их площади, предотвращение развития негативных процессов и повышение плодородия почв. Вследствие этого, можно сделать вывод, что рациональное использование земель сельскохозяйственного назначения является одной из наиболее актуальных и острых проблем на современном этапе развития современного общества.

Рациональное использование земель относят к числу важнейших принципов земельного права. Как принцип права, рациональное использование земель выражается в требовании их эффективной эксплуатации землевладельцами, землепользователями и собственниками земли. Содержание данного принципа определяется как общими требованиями, предъявляемыми к использованию и охране земель вообще, так и спецификой правового режима той или иной категории земель [3].

При использовании сельскохозяйственных земель данный принцип требует повышения их плодородия, увеличения урожайности сельскохозяйственных культур, организации эффективной хозяйственной эксплуатации данных земель, и одновременно предполагает надлежащую охрану земель сельскохозяйственного назначения.

Использование земель несельскохозяйственного назначения с учетом принципа рациональности предполагает обеспечение их строго целевого использования с максимальным эффектом для землевладельцев, землепользователей, собственников, а также при учете требований охраны как земельных ресурсов, так и окружающей среды в целом.

В правовом регулировании использования и охраны земель сельскохозяйственного назначения традиционно имеют место два основных аспекта. Во-первых, обеспечение оптимального использования и охраны земель в самом процессе сельскохозяйственного производства и, во-вторых, максимально возможное предотвращение сокращения их площадей. В первом случае существует зависимость правового регулирования использования земли от уровня развития сельскохозяйственного производства.

Проблема правового обеспечения охраны площади земель, используемых как основное средство производства, от изъятия для строительства промышленных и иных объектов в настоящее время является значительной проблемой для сельского хозяйства. Вторжение несельскохозяйственного использования земель в сферу земледелия является закономерным ито-

гом процесса урбанизации и развития промышленности. В этой связи возникает проблема соотношения сельскохозяйственного и несельскохозяйственного использования земель.

Все земли, которые пригодны для сельскохозяйственного производства, имеют приоритетный режим использования. Это означает, что они, во-первых, должны предоставляться, прежде всего, для сельскохозяйственных целей. Определение земель, пригодных для нужд сельского хозяйства, производится на основании данных государственного земельного кадастра.

Сокращение площади земель сельскохозяйственного назначения произошло в результате передачи части этих земель, преимущественно сенокосов и пастбищ, в ведение сельских и поселковых.

Рост численности населения Белгородской области, увеличение промышленного производства приводят к увеличению общей площади земель населенных пунктов, промышленных и иных.

Подобная тенденция соответствует общемировым процессам глобализации и урбанизации. Увеличение численности населения Белгородской области начиная с XVIII века стало следствием резкого роста распаханых земель за счет сведения лесов, сокращения площади сенокосов и пастбищ, вовлечения в сельскохозяйственный оборот целинных земель, в том числе овражно-балочного комплекса. Уже к началу XX века распаханность территории составляла практически 80 процентов. В настоящее время под пашней находится более 50 процентов территории области. Соответственно, площадь лесов сократилась с 25 процентов в XVIII веке до 9,6 процента к настоящему времени [4].

Большая часть территории области занята землями сельскохозяйственного назначения, площадь которых на 1 января 2015 года составила 2094,8 тыс. га (77,2 %) (рис.2).

В составе земель сельскохозяйственного назначения преобладают сельскохозяйственные угодья, площадь которых составляет 1900,0 тыс. га (90,7 %), лесные земли, покрытые и непокрытые лесами, занимают – 10,3 тыс. га (0,5 %), земли под лесными насаждениями, не входящими в лесной фонд составляют 73,3 тыс. га (3,5 %). Доля земель, занятых водными объектами, в том числе: болотами, составляет 36,0 тыс. га (1,7 %), дорогами – 19,1 тыс. га (0,9 %), под постройками – 12,4 тыс. га (0,6 %), нарушенными землями – 0,6 тыс. га (0,1 %), прочими землями – 42,4 тыс. га (2,0 %) [5].

На современном этапе развития агропромышленного комплекса региона, согласно пас-

порту Белгородской области (2015г.), пашня занимает 79,5 % территории Белгородской области, еще 17 % площади области приходится на

естественные кормовые угодья (ЕКУ), при этом 89 % сельскохозяйственных угодий расположено на землях сельскохозяйственного назначения.

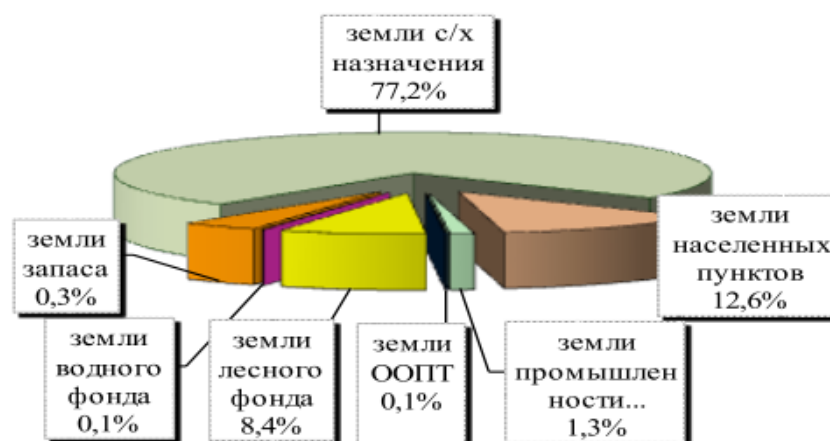


Рис. 2. Распределение земельного фонда Белгородской области по категориям

Высокая степень распаханности (более 80 % на полях крупных сельхозпредприятий) размещение сельскохозяйственных угодий на склонах (до 40% посевной площади), преобладание пропашных культур в структуре севооборотов и другие факторы способствовали дегра-

дации агроресурсов. Наибольшей долей распаханности (более 60 %) на территории Белгородской области отличаются бассейны рек Сейм, Потудань, Псёл, Чёрная Калитва и Айдар (рис.3) [6].

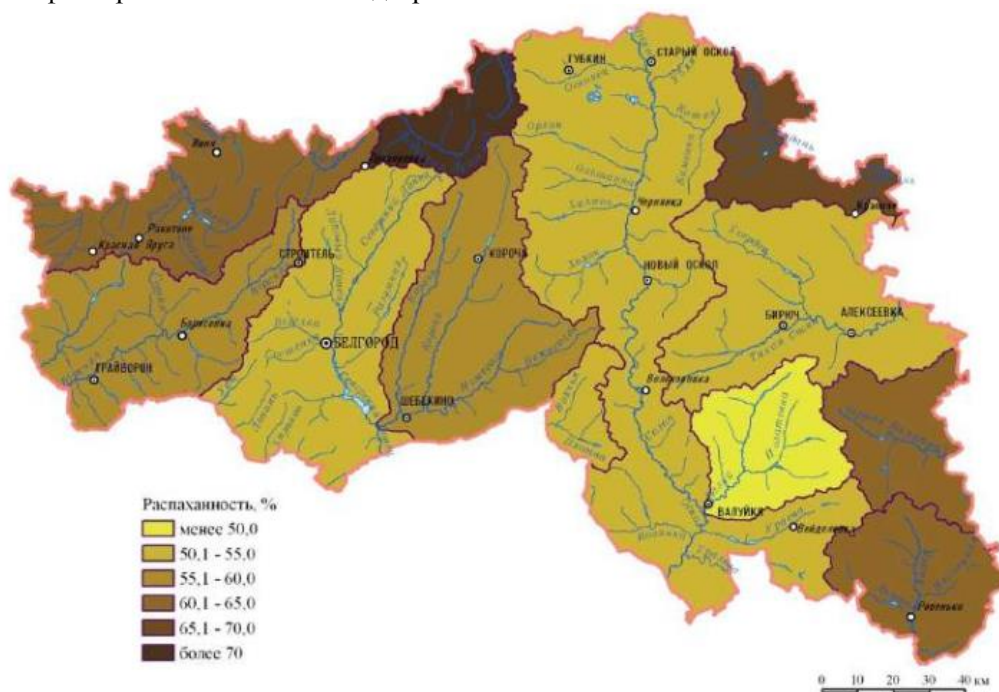


Рис. 3. Распаханность земель (%) в разрезе основных бассейнов рек

При организации крупных полей базис эрозии увеличивается, возрастает протяженность линий тока. Отсюда увеличение потенциальной эрозионной энергии рельефа.

Наиболее аграрно освоенными территориями, с долей пашни более 85 % от общей площади сельскохозяйственных угодий являются Старооскольский (88 %), Прохоровский (87 %), Ив-

нянский, Шебекинский, Борисовский (85 %) районы.

Ландшафтная организация территории обозначена как одно из направлений реализации стратегии развития Центрального Федерального Округа до 2020 г. (утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 6.09.2011г. № 1540-р). В Белгородской области концепция адаптивно-ландшафтного земледелия стала интенсивно внедряться с 1980-х годов. Одной из первых внедрением этой прогрессивной и научно обоснованной системы в хозяйства области занималась д.с.-х. наук, проф. О.Г. Котлярова [7].

Негативная ситуация с использованием и охраной земель сельскохозяйственного назначения требует ускоренного проведения мер по их защите, прежде всего, путём совершенствования земельного законодательства, землеустройства особо ценных продуктивных сельскохозяйственных угодий.

Главным решением проблемы уменьшения земель сельскохозяйственного назначения -это, во-первых, нужно отменить процедуру перевода земель сельскохозяйственного назначения для нужд строительства. Во-вторых, надо развивать само сельское хозяйство. Выделить финансовые средства для производителей сельскохозяйственной продукции. Повышать эффективность использования сельскохозяйственных земель. Хозяйственное использование земель сельскохозяйственного назначения не должно ухудшать состояние земель вследствие производственной деятельности. Наоборот, оно должно содействовать восстановлению и улучшению плодородия почв и их полезных свойств. В этой связи собственники земельных участков и землепользователи обязаны выполнять мероприятия по защите земель от водной и ветровой эрозии, селей, подтоплений, заболачивания, вторичного засорения, иссушения, уплотнения, загрязнения отходами производства, химическими и радиоактивными веществами и от других процессов разрушения, от зарастания сельскохозяйственных угодий кустарниками и мелколесьем, а также других процессов ухудшения культурно-технического состояния земель. Они также должны проводить рекультивацию нарушенных земель, мероприятия по повышению их плодородия и улучшению других полезных свойств земли. Все предприятия и организации, которые проводят работы, влияющие на состояние сельскохозяйственных

земель, обязаны снимать, использовать и сохранять плодородный слой почвы.

Таким образом, правовое регулирование использования земли в процессе сельскохозяйственного производства, а также установления оптимального соотношения в межотраслевом использовании земли ориентировано прежде всего на обеспечение рационального использования земли в целях развития сельскохозяйственного производства.

В этой связи необходимость рационального и эффективного использования земель сельскохозяйственного назначения должна являться главным приоритетом государства и регулироваться в нормативном правовом, экономическом, социальном и экологическом отношениях.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Затолокина Н.М. Использование в регионе с интенсивным хозяйственным освоением земель сельскохозяйственного назначения/ Современное Российское право: проблемы, пути совершенствования: сб. ст. IV Междунар. науч.-практ. конф., Пенза: Приволжский Дом знаний, 2010. С. 95–97.
2. Официальный сайт федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестр) [Электронный ресурс]. URL: <https://rosreestr.ru/site/.ru>.
3. Затолокина Н.М. Особенности использования и перспективы развития земель в приграничной зоне (на примере Белгородского района Белгородской области)/ Материалы IX международной научно-практической конференции "Восточное партнерство", Польша: Sp. z o.o. Nauka i studia, ul. Lukasinskiego, 37-700, Przemysl, 2013. С. 65–69.
4. Дегтярь, А.В. Экология Белогорья в цифрах: моногр. Белгород: Константа, 2016. С. 120–122.
5. Официальный сайт департамента имущественных и земельных отношений Белгородской области [Электронный ресурс]. - URL: <http://dizo31.ru/>
6. Лисецкий Ф.Н. Реки и водные объекты Белогорья: моногр. Белгород: Константа, 2015. С. 362.
7. Котлярова Е.Г., Котлярова О.Г. Эффективность ландшафтных систем земледелия: моногр. Белгород: ИД «Белгород», 2014. С. 184.

---

**Kononova O.Yu., Zatolokina N.M., Melentyev A.A.**  
**USE OF LANDS OF AGRICULTURAL PURPOSE AT THE PRESENT**  
**STAGE IN THE TERRITORY OF THE BELGOROD REGION**

*One of key resources in the Russian Federation is the land resource - it is a basis of national wealth. However lands can leave an agricultural turn, be exhausted, degrade qualitatively and quantitatively. Providing the state with land resources, and also their effective use are the major political and economic factors of devel-*

opment of social production. The international experience demonstrates that ecological and food security considerably depends on the operating mechanisms of public administration in the field of rational use, protection and restoration of natural resources. Therefore in work ways solutions of the problem of reduction of lands of agricultural purpose have been proposed. Rational use of lands is referred to number of the major principles of the land right. As the principle of the right, rational use of lands is expressed in the requirement of their effective operation by land owners, land users and owners of land. Content of this principle is defined as the general requirements imposed to use and protection of lands in general and specifics of a legal regime of this or that category of lands.

**Key words:** earth, rational use, land fund, fertility, earth of agricultural purpose, land resources.

**Кононова Оксана Юрьевна**, старший преподаватель кафедры городского кадастра и инженерных изысканий. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
E-mail: oksana171289@mail.ru

**Затолокина Наталья Михайловна**, кандидат географических наук, доцент кафедры городского кадастра и инженерных изысканий.  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
E-mail: nm-zatolokina@yandex.ru.

**Мелентьев Антон Александрович**, кандидат экономических наук, научный сотрудник кафедры землеустройства, ландшафтной архитектуры и плодоводства  
Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина  
Адрес: 308503, Белгородская обл., Белгородский р-н, п. Майский, ул. Вавилова, 1  
E-mail: melentev\_07@mail.ru

Научное издание  
**«Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова»**  
**№ 5, 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 10.04.17. Подписано в печать 10.05.17. Формат 60×84/8  
Усл. печ. л. 27. Уч.-изд. л. 29

Тираж 1000 экз. Заказ 59. 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

