

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

**НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ**  
**ВЕСТНИК**  
**БГТУ им. В.Г. ШУХОВА**

**№ 1, 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.



## К 45-ЛЕТИЮ КАФЕДРЫ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

6

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

**Сулейманова Л.А.**

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ  
И КОНКУРЕНТОСПОСОБНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ,  
ИЗДЕЛИЯ И КОНСТРУКЦИИ

9

**Глаголев Е.С., Сулейманова Л.А., Марушко М.В.**

РАЗВИТИЕ ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В РОССИИ

17

**Косухин М.М., Косухин А.М.**

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ  
ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОДИФИКАТОРОВ МОНОЛИТНЫХ БЕТОНОВ  
ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РЕКОНСТРУКЦИОННЫХ РАБОТ

23

**Курбатов В.Л., Комарова Н.Д.**

ДИСПЕРСНЫЕ СЫРЬЕВЫЕ СМЕСИ, ИХ ОСОБЕННОСТИ КАПИЛЯРНОГО  
СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ

33

**Константиновская Л.В., Косухин М.М.**

К ВОПРОСУ О ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СОВМЕСТИМОСТИ РЕМОНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
В БЕЗНАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ ПРИ БЕСТРАНШЕЙНОЙ РЕНОВАЦИИ

37

**Абсиметов В.Э., Востров В.К., Абсиметов М.В.**

НЕКОТОРЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КАСПИЙСКОГО ШЕЛЬФА  
И АВТОКОЛЕБАНИЯ МОРСКИХ СТАЦИОНАРНЫХ  
НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

41

**Смоляго Г.А., Дрокин С.В., Белоусов А.П., Пушкин С.А.**

ОБСЛЕДОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО РЕЗЕРВУАРА ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ЧИСТОЙ ВОДЫ

47

**Меркулов С.И., Есипов С.М.**

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ И РЕЖИМА НАГРУЖЕНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ  
И ЖЕСТКОСТЬ АРМИРОВАННЫХ УГЛЕПЛАСТИКОВ

52

**Панченко Л.А., Юрьев А.Г.**

МНОГОУРОВНЕВОЕ АРМИРОВАНИЕ КОНГЛОМЕРАТОВ

57

**Фролов Н.В., Смоляго Г.А., Полоз М.А.**

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ АРМОБЕТОННЫХ БАЛОК  
С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ В РАСТЯНУТОЙ ЗОНЕ СТЕРЖНЕЙ  
СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРЫ

60

**Кочерженко В.В., Погорелова И.А.**

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОГРУЖЕНИЯ ОБОЛОЧЕК ОПУСКНЫХ  
КОЛОДЦЕВ НА ИХ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ

65

**Крючков А.А., Жданов А.Е.**

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ДЕФОРМАТИВНОСТИ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ  
ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ИТЕРАЦИОННЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА

73

**Никулин А.И.**

О ДИНАМИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА ПРИ НЕОДНОРОДНОМ  
ИМПУЛЬСНОМ СЖАТИИ

77

**Солодов Н.В.**

ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ПРИ СМЯТИИ В БОЛТОВОМ  
СОЕДИНЕНИИ

82

**Шевченко А.В., Шаповалов С.М.**

РАСЧЕТ СОСТАВНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК НА ОСНОВЕ ВАРИАЦИОННОГО МЕТОДА

88

**Дегтев И. А., Тарасенко В. Н.**

ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ В ЖИЛИЩНОМ  
СТРОИТЕЛЬСТВЕ

92

**Донченко О.М., Перькова М.В.**

ЭФФЕКТИВНЫЕ АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ  
РЕШЕНИЯ МНОГОЭТАЖНЫХ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

96

<b>Черныш Н.Д., Тарасенко В.Н.</b> СОВРЕМЕННЫЕ УСЛОВИЯ СОЗДАНИЯ КОМФОРТНОГО АРХИТЕКТУРНОГО СРЕДОВОГО ПРОСТРАНСТВА	101
<b>Перькова М.В., Большаков А.Г.</b> ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РАССЕЛЕНИЯ	105
<b>Черныш А.С., Черныш Н.Д.</b> ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННОЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ДЕФОРМАЦИЙ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ	112
<b>Волков А.А., Лебедев В.М.</b> ФОРМИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ И ИНТЕЛЛЕКТА ЗДАНИЙ	116
<b>Лебедев В.М., Кряж А.А.</b> СИСТЕМОКВАНТЫ ЛОГИСТИКИ СТРОИТЕЛЬСТВА	120
<b>Дегтярь А.Н., Дегтярь С.А.</b> СРЕДНЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ КАК ПРЕДШЕСТВЕННИК ВЫСШЕГО В СТРОИТЕЛЬНОМ ВУЗЕ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ	123

## ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

<b>Мамаев В.В., Новиков С.А., Петров С.И., Зайцев С.В., Прохоренков Д.С.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИИ GA В КАЧЕСТВЕ СУРФАКТАНТА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СТРУКТУРНОГО СОВЕРШЕНСТВА СЛОЕВ ALN И ALGAN, ВЫРАЩЕННЫХ АММИАЧНОЙ МЛЭ	126
<b>Лопанов А.Н., Фанина Е.А., Томаровщенко О.Н.</b> ВЛИЯНИЕ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА С УГЛЕРОДНОЙ ФАЗОЙ	130
<b>Андронов С.Ю.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ БАЗАЛЬТОВЫМИ ВОЛОКНАМИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ С УЧЁТОМ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА	134
<b>Володченко А.Н., Строкова В.В.</b> ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННО-ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ НЕТРАДИЦИОННОГО СЫРЬЯ	138

## МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

<b>Романович А.А., Воронов В.П., Мещеряков С.А., Апухтина И.В.</b> АГРЕГАТ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ДАВЛЕНИЕМ И ДЕЗАГРЕГАЦИИ СПРЕССОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ	144
<b>Афонин А.Н., Алейников А.Ю., Гладышев А.Р., Попова А.В.</b> РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗВЕНЬЯМИ ЗМЕЕПОДОБНОГО РОБОТА	150
<b>Бойчук И.П., Перелыгин Д.Н.</b> КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГАЗОПЫЛЕВОЙ ПОТОК В ВИХРЕ-АКУСТИЧЕСКОМ ДИСПЕРГАТОРЕ	155
<b>Любимый Н.С., Чепчуров М.С., Аверченкова Е.Э.</b> ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБУЕМОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗДЕЛИЙ ИЗ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРА НАПОЛНЕННОГО АЛЮМИНИЕМ ПРИ ОБРАБОТКЕ ШЛИФОВАНИЕМ	162

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

<b>Кузнецов В.А.</b> ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЕНИЯ И ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ОБЖИГЕ КЕРАМЗИТА ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ	170
--	-----

<b>Соснина О.А., Бирюкова А.О.</b> РАЗРАБОТКА ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ И ЧЕРТЕЖЕЙ ДЛЯ СТАНКА С ЧПУ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ АРХИТЕКТУРНОГО МАКЕТА	175
<b>Брусенцев А.Г., Чернышева К.Ю.</b> ОПТИМИЗАЦИЯ ЕСТЕСТВЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ ПОМЕЩЕНИЙ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ	181
<b>Рыбак Л.А., Гапоненко Е.В., Малышев Д.И.</b> СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ ВЫХОДНОГО ЗВЕНА НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ВИНТОВ И ВИРТУАЛЬНЫХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ	185
<b>ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ</b>	
<b>Карамышев А.Н.</b> ПРИНЦИП МНОГОЦИКЛИЧНОСТИ ОТНЕСЕНИЯ СТОИМОСТИ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ НА СЕБЕСТОИМОСТЬ ТОВАРНОЙ ПРОДУКЦИИ КРУПНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	195
<b>Авилова И.П., Крутилова М.О.</b> МЕХАНИЗМЫ ЭКОНОМИЧЕСКОГО СТИМУЛИРОВАНИЯ ЗЕЛЕННЫХ СТАНДАРТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ	201
<b>Шабанова М.М., Атуева Э.Б., Гасанова Н.М.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ИННОВАЦИОННО-ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКИХ ПРОЕКТОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ	207
<b>Дорошенко Ю.А., Климашевская А.А.</b> АНАЛИЗ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕДПРИЯТИЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В КОНТЕКСТЕ ОЦЕНКИ НЕОБХОДИМОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ В ОТРАСЛИ	214
<b>Прядко С.Н., Винник А.Е.</b> ФОРМИРОВАНИЕ КЛЮЧЕВЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ В УПРАВЛЕНИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	219
<b>Наумов А.Е., Щенятская М.А.</b> ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ДЛЯ ПОЛИТИКРИТЕРИАЛЬНОГО СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ПОРТФЕЛЬНЫХ АЛЬТЕРНАТИВ	223
<b>Герасименко О.А., Авилова Ж.Н.</b> ЗАРУБЕЖНЫЙ И РОССИЙСКИЙ ОПЫТ РАЗВИТИЯ ИНСТИТУТОВ ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОГО ПАРТНЕРСТВА	228
<b>Шамаева О.П., Хорошун Н.А.</b> РЕГУЛИРОВАНИЕ ТРУДОВОГО ПОВЕДЕНИЯ КАК СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ	234
<b>Малыхина И.О., Брежнев А.Н.</b> ПРОЕКТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ РАЗВИТИЯ ИНЖИНИРИНГОВОГО ЦЕНТРА, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ВУЗА	240
<b>Лычева И.М., Молчанова В.А.</b> РАЗВИТИЕ ОТНОШЕНИЙ С КЛИЕНТАМИ В БАНКОВСКОМ РИТЕЙЛЕ	245

## К 45-ЛЕТИЮ КАФЕДРЫ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Кафедра строительства и городского хозяйства является правопреемницей кафедры промышленного и гражданского строительства, которая была образована приказом №22 от 10 января 1972 года Министерства высшего и среднего специального образования СССР.

И сегодня кафедра празднует свое 45-летие!

Кафедра строительства и городского хозяйства является базовой кафедрой направления «Строительство» и осуществляет подготовку бакалавров по профилям: Промышленное и гражданское строительство, Городское строительство и хозяйство, Техническая эксплуатация и реконструкция зданий и сооружений; магистров по образовательным программам: Теория и проектирование зданий и сооружений, Техническая эксплуатация и реконструкция зданий и сооружений, Теория и практика организационно-технологических решений в строительном производстве, Мониторинг, обеспечение безопасности и эксплуатационной надежности жилищно-коммунального комплекса и городской инфраструктуры; специалистов Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений, а также ведет подготовку кадров высшей квалификации через аспирантуру и докторантуру.

В год создания кафедры, в 1972, состоялся первый выпуск инженеров-строителей. Это стало возможным потому, что в контингент специальности ПГС БТИСМа были включены студенты, ранее обучавшиеся в подразделениях других вузов (ВЗПИ и др.) города Белгород. За прошедшие 45 лет кафедра дала путевки в жизнь около 7000 инженерам-строителям.

В разные периоды заведующими кафедры были: канд. техн. наук, проф. Фомица Л.Н., канд. техн. наук, проф. Донченко О.М., д-р техн. наук, проф. Колчунов В.Н., д-р техн. наук, проф. Смоляго Г.А., канд. техн. наук, проф. Солодов Н.В., проф. Калашников Н.В., а в настоящее время кафедрой руководит д-р техн. наук, проф. Сулейманова Л.А.

На кафедре СиГХ обучается более 625 студентов очной, 25 – очно-заочной, 850 студентов заочной с применением дистанционной формы из Российской Федерации и более 25 стран ближнего и дальнего зарубежья, всего 1500 человек.

Кафедра имеет современную учебную и научную материально-техническую базу.

Совершенствование содержания и качества подготовки инженерных кадров потребовало от кафедры СиГХ новых форм и методов работы,

обеспечивающих связь с производством, сотрудничество с работодателями. Одним из них стало создание базовых кафедр на профильных предприятиях и в организациях; другим – организация сетевого взаимодействия на основе договоров о сотрудничестве. Большое внимание кафедра СиГХ уделяет применению инновационных методов и технологий в обучении, в их числе – интерактивное обучение, создание лабораторий удаленного доступа.

Кафедре осуществляет подготовку также на английском языке и по форме сетевого взаимодействия.

Кафедра активно участвует в реализации межвузовских программ по обеспечению академической мобильности студентов и преподавателей с выдачей двойных дипломов. Такие программы имеются не только с отечественными, но и с зарубежными вузами (Китай, Сербия).

Высокий уровень подготовки, престижность выпускников подтверждается тем, что они работают в различных регионах страны.

Коллектив кафедры готовит высококвалифицированных специалистов, имеющих фундаментальные знания в области строительства, инновационной деятельности, компьютерных технологий проектирования. В их числе выпускники – руководители крупных строительных фирм и компаний, проектных организаций, руководители органов административного управления различных уровней, кандидаты и доктора наук, талантливые ученые и опытные производственники.

На кафедре СиГХ работают: 9 докторов наук, профессоров, 17 кандидатов технических наук, доцентов, 5 старших преподавателей, 4 ассистента, среди которых академик РААСН – Бондаренко В.М., Академик Международной инженерной академии по специальности «Строительство и архитектура» – Абсиметов В.Э., член корреспондент РААСН – Меркулов С.И., аттестованный член Британского международного института гражданских инженеров – Донченко О.М.

Профессорско-преподавательским составом издано более тридцати учебных пособий с грифами Минобразования и АСВ, более 80 учебных и методических пособий с грифом ученого совета вуза, более 150 методических указаний. По результатам научных исследований издано свыше 50 монографий, опубликовано свыше тысячи статей.

Ведущие ученые кафедры СиГХ выполняют научно-исследовательские работы по приоритетным направлениям:

- конструктивная безопасность зданий и сооружений, прочность, жесткость и трещиностойкость сборно-монолитных железобетонных конструкций, в том числе с учетом коррозионных повреждений;

- прочность, жесткость и трещиностойкость сжатых и изгибаемых железобетонных элементов, в том числе с применением высокопрочных материалов;

- теория прочности каменных и армокаменных конструкций;

- инновационные организационно-технологические решения по возведению зданий и сооружений;

- действительная работа и совершенствование методов расчета и конструктивных решений элементов стальных каркасов;

- свайное фундаментостроение, в том числе на слабых и просадочных грунтах;

- строительное материаловедение, высококачественные ресурсосберегающие и конкурентоспособные строительные материалы и изделия, технологии их производства.

- мониторинг, обследование, усиление и реконструкция зданий и сооружений.

На кафедре функционируют и позволяют решать актуальные проблемы в строительстве 4 научно-исследовательские лаборатории: «Обследование, усиление, реконструкция и инжиниринг зданий и сооружений», «Конструктивная безопасность зданий и сооружений», «Экспертиза и мониторинг технического состояния зданий и сооружений», «Технический мониторинг строительства и жилищно-коммунального хозяйства».

Создано малое инновационное предприятие «Строй-Академия».

Под руководством преподавателей в научных исследованиях активно участвуют студенты. По результатам таких работ победителями и призерами международных и общероссийских конкурсов неоднократно становились бакалавры и магистры кафедры СиГХ. Ими ежегодно публикуются более ста статей и докладов на международных и российских конференциях.

Традиционно достойно представляют кафедру студенты и выпускники в конкурсах выпускных квалификационных работ, конкурсах по специальности, а предметных олимпиадах, как на региональном, так и на российском уровнях, становились их победителями и призерами.

Для оказания помощи и профориентационной поддержки учащимся общеобразовательных учреждений и молодежи, а также создания условий, способствующих их компетентному профессиональному самоопределению, на базе ка-

федры строительства и городского хозяйства с января 2016 г. начал функционировать профориентационный научно-технический творческий центр «Созидатель». Деятельность новой структуры должна повысить эффективность уже проводимых профориентационных мероприятий.

На кафедре СиГХ создан и активно работает «Студенческий совет строителей», в состав которого вошли наиболее активные, творческие и креативно мыслящие студенты. Студенческий совет строителей организует и координирует все студенческие общественные мероприятия, активизирует студенческую науку, возглавляет волонтерское движение, но самое главное - способствует успешной учебе и профессиональной адаптации и росту.

Благополучие государства напрямую зависит от успехов в развитии рынка идей, изобретений, открытий, от способности государства и общества находить и поощрять талантливых и креативно мыслящих людей, воспитывать молодежь в духе интеллектуальной свободы и гражданской активности.

Кафедра СиГХ ставит перед собой в перспективе решения следующих задач:

- повышение квалификации ППС, организация стажировок и повышение квалификации, в ведущих вузах в т.ч. в зарубежных организациях;

- повышение эффективности работы аспирантов и докторантов кафедры, увеличение объемов научных исследований из всех источников финансирования;

- повышение роли кафедры СиГХ в работе строительного и жилищно-коммунального комплекса Белгородской области в части подготовки кадров и повышения эффективности его функционирования;

- повышение уровня научных публикаций и научных исследований, увеличение количества издаваемых монографий;

- совершенствование материально-технической базы кафедры для научных исследований и учебного процесса;

- расширение сотрудничества с родственными вузами, в т.ч. в рамках сетевого взаимодействия;

- расширение международной деятельности кафедры, увеличение численности иностранных студентов, в т.ч. обучающихся на английском и других языках;

- совершенствование научно-методического обеспечения учебного процесса по всем уровням и формам обучения;

- внедрение практикоориентированных технологий обучения и создание авторских и междисциплинарных курсов;

– совершенствование содержания и форм внеучебной деятельности студентов направленных на формирование лидерских качеств, гражданских позиций, моральных ценностей.

Кафедра строительства и городского хозяйства со славной историей, уникальными профес-

сиональными и академическими традициями прикладывает много усилий для единства коллектива, совершенствования мастерства, достижения научных результатов, создания атмосферы требовательности, принципиальности и преданности науке и образованию.

# СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.12737/22637

Сулейманова Л.А., д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ИЗДЕЛИЯ И КОНСТРУКЦИИ

ludmilasuleimanova@yandex.ru

*Применение в строительстве современных высококачественных, ресурсосберегающих материалов, изделий и конструкций позволит существенно снизить материалоемкость и энергоемкость строительных объектов и значительно повысить эффективность строительной отрасли. Современный уровень развития производства строительных материалов, изделий и конструкций играет одну из ключевых ролей в решении экологических проблем цивилизации.*

**Ключевые слова:** строительные материалы, изделия, конструкции, энергосбережение, ресурсосбережение, долговечность

Промышленность строительных материалов является приоритетной отраслью, определяющей текущее состояние национальной экономики и потенциал ее развития, включая обновление основных фондов, строительство и ремонт объектов промышленности, транспортной и инженерной инфраструктуры, строительство в необходимом объеме комфортного и качественного жилья, занятость населения в средних и малых населенных пунктах, а также размер государственных расходов, связанных с реализацией программ развития.

Деятельность отрасли напрямую зависит от уровня инвестиционной активности – инвестиций в основной капитал, спроса на строительные материалы со стороны индустриальных потребителей, населения. Существенное влияние на отдельные предприятия отрасли оказывают импортные поставки продукции, слабая реализация экспортного потенциала промышленности строительных материалов.

Объемы производства традиционных строительных материалов полностью покрывают внутренний спрос, за исключением строительных материалов, являющихся новыми для российского рынка и (или) характеризующихся небольшим объемом потребления или большей привлекательностью для потребителей по соотношению цены и качества, то есть более конкурентоспособных. В целом мощностей по производству строительных материалов достаточно для обеспечения спроса в прогнозном периоде до 2025 года, а по некоторым позициями до 2030 года (в зависимости от

рассматриваемых сценариев социально-экономического развития) [1].

Одной из основных целей Стратегии развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года [1] является создание в Российской Федерации производства номенклатуры современных высококачественных энергосберегающих и конкурентоспособных строительных материалов, изделий и конструкций, как на внутреннем, так и внешнем рынках с учетом потребностей и имеющейся сырьевой базы.

Строительная отрасль – одна из самых динамично развивающихся областей промышленности, потребляющая огромное количество ресурсоемких материалов – металла, цемента, заполнителей, кирпича, бетона, теплоизоляционных и других материалов.

В настоящее время к современным материалам предъявляются жесткие требования. Материалы должны быть недорогими, безопасными, экологически чистыми, иметь длительный срок эксплуатации, стойкость к возгоранию, удобство в процессе монтажа или укладки.

Существуют разные точки зрения по вопросу о том, что является первичным в строительстве – материал или конструкция? В соответствии с нашей точкой зрения первичным является материал, а конструкция – это материал, которому придана определенная конфигурация с соответствующими размерами, при этом форма, размеры конструкции, ее несущая способность, надежность и экономичность определяются свойствами материала, из которого она изготовлена. Каков материал – такова и конструкция. Горным

породам, дереву, металлу, железобетону соответствуют свои, отличающиеся друг от друга, изделия и конструкции. Вначале приобретается или создается материал, устанавливаются все его характеристики, а потом уже проектируются соответствующие этому строительному материалу изделия, конструкции, здания и сооружения. Только такой подход позволит возводить надежные, энергоэффективные и экономичные строительные объекты.

Поэтому одним из основных направлений повышения эффективности строительства является применение ресурсосберегающих материалов, изделий и конструкций.

Для производства строительных материалов, изделий и конструкций используется различное природное сырье, имеющее разную степень технологической готовности. Энергоемкость всех строительных материалов можно снизить за счет квалифицированного выбора исходного сырья. В первую очередь целесообразно применять такое сырье, которое в большей степени подготовлено самой природой к производству и требующее меньших затрат энергии на его обработку, сырье с дефектностью кристаллических решеток минералов; наличием минералообразующей среды, жидкости, газа; с большей степенью аморфизации минералов и более высокой реакционной способностью. Основные методические положения выбора наименее энергоемкого сырья для производства различных строительных материалов, изделий и конструкций разработаны в Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г. Шухова [2–5].

Если сравнить основные строительные материалы по энергоемкости, то самым энергоемким строительным материалом является сталь, для производства 1 т которой требуется 32290 МДж тепловой энергии, а для производства 1 т портландцемента в 8, кирпича в 12, железобетона в 16, тяжелого бетона в 23, ячеистого бетона в 25 раз меньше. При этом масса 1 м<sup>3</sup> материала самая большая также у стали – 7,8...8 т. Средняя плотность тяжелого железобетона 2,4...2,5 т/м<sup>3</sup>, легкого железобетона – 0,7...2 т/м<sup>3</sup>, ячеистого бетона – 0,3...1,2 т/м<sup>3</sup>, кирпича – 1,7...1,8 т/м<sup>3</sup>. На основе вышеизложенного можно сделать вывод, что наиболее энергоемким после металла является цемент, а наименее энергоемкими и материалоемкими являются бетон и железобетон. Они также дешевле и долговечнее стали. Для их производства имеется сырье, включая отходы различных производств, их

технология сравнительно проста, безотходна, экологически чистая. Возможно широкое регулирование основных свойств бетона (средней плотности, прочности, долговечности). Поэтому эти материалы были основными строительными материалами в XX веке, таковыми они останутся и в XXI веке; альтернативы им нет. В XX веке в России в строительстве было применено более 10 млрд. м<sup>3</sup> бетона и железобетона. Практически все ответственные несущие конструкции изготавливаются из железобетона: длинномерные преднапряженные мостовые конструкции, колонны высотных зданий, балки покрытий, подкрановые балки, крупноразмерные оболочки, трубы различного назначения, шпалы, дорожные и аэродромные покрытия, плотины, гидроэлектростанции, защитные оболочки АЭС, очистные сооружения и многие другие.

Однако, эти материалы должны претерпеть глубокие качественные изменения, связанные со значительным повышением прочности и долговечности, чтобы существенно увеличить срок службы строительных объектов. Наши исследования показывают, что структура бетона, и в частности тяжелого, в большей степени неоднородна, дефектна и это определяет его прочность и долговечность, так как все эти характеристики взаимосвязаны между собой. Долговечность – это обобщенное понятие, включающее атмосферно-, морозо- и коррозионную стойкость, био-, радиационную стойкость и другие аналогичные свойства. Бетон считается и является долговечным, если его прочность сохраняется стабильной во времени в различных условиях эксплуатации, ибо прочность – это интегральная величина энергии внутренних связей в материале с конкретной структурой, обеспечивающая его целостность, тождественность самому себе и способность сопротивляться разрушению от воздействия различных факторов. Чтобы значительно увеличить величину внутренних связей в бетоне, а следовательно и его сопротивляемость необходимо значительно повысить его однородность и снизить дефектность структуры. Структуру бетона можно считать однородной, если все его компоненты имеют одинаковые химический, минералогический составы и геометрические показатели, одинаковое строение, физико-механические свойства, соблюдается однородность состава в каждом микрообъеме и т.д.

Создать такую однородность структуры бетона путем простого подбора исходных компонентов крайне затруднительно, если



вообще возможно. Однако, достичь такой однородности практически всегда можно за счет очень тонкого совместного измельчения всех составляющих формовочной массы. Поскольку все естественные и искусственные неорганические материалы образованы из одних и тех же химических элементов, но в разном сочетании, то совместное тонкое измельчение различных материалов будет приводить к получению массы, состоящей из одних и тех же первичных химических элементов. Например, при тонком помоле сухой бетонной смеси, состоящей из гранитного щебня, природного песка и портландцемента, она в итоге будет состоять в основном из следующих химических элементов: K, Na, Ca, Ba, Mg, Al, Si, O, Fe и S, поскольку химический состав исходных компонентов такой: гранит состоит главным образом из K, Na, Ca, Mg, Al, O, Si; песок - из Si, O, K, Na, Ca, Ba, Al, Fe; портландцемент - из Ca, O, Si, Al, Fe, Mg, Na, K, S. При этом количество отдельных химических элементов в смеси может колебаться в определенных пределах. В этом случае выравниваются химические, физико-механические и геометрические характеристики компонентов бетона, снижается контактная дефектность, в максимальной степени используется поверхностная энергия твердой фазы. В процессе помола смеси повышается ее однородность по составу, меняется форма и состояние поверхности частиц, что в конечном итоге повышает интегральную энергию химических связей между элементарными частицами в единице объема материала. Разрушение материала при помоле - это процесс разрыва в основном химических связей между элементарными частицами твердого тела и разделения его на части. Разрыв связей возникает тогда, когда расстояние между элементарными частицами превышает некоторое критическое значение, после чего силы притяжения между ними перестают действовать. С теоретической точки зрения восстановить эти связи можно только сближая элементарные частицы между собой на такое расстояние, когда между ними снова возникнут силы притяжения, что возможно только при приложении очень больших давлений. Однако, в реальных условиях в местах разрыва химических связей на поверхности твердой фазы возникает огромное количество элементарных частиц, обладающих большим некомпенсированным зарядом. В результате на свежесформованную поверхность за сравнительно короткий срок притягиваются пары воды, пылеватые и другие частицы, и поверхностная энергия твердой фазы быстро

уменьшается. Если осуществляется сухой совместный помол компонентов бетонной смеси, включая вяжущее, то существует большая вероятность того, что на свежесформованную поверхность частиц наполнителя будут притягиваться частицы вяжущего и тончайшим слоем покрывать их поверхность. Следовательно, при тонком совместном измельчении сухой бетонной смеси за счет поверхностных сил будет осуществляться равномерное распределение вяжущего по поверхности наполнителя. Однако слой вяжущего на поверхности частиц наполнителя будет очень тонким, и чтобы соединить в последующем все частицы твердой фазы в единый плотный монолит при весьма низком В/Ц, потребуется создать значительные давления. Тонкоизмельченная масса будет иметь повышенную водопотребность, что крайне нежелательно по известным причинам. Для снижения водопотребности такой смеси необходимо вводить в нее суперпластификаторы и модификаторы бетона, желательно при помоле применять интенсивные способы перемешивания и уплотнения особо жестких смесей с низким В/Ц или же аналогичные способы уплотнения сухих смесей с последующей их пропиткой водой без или под давлением.

Реализован энергетический потенциал композиционных вяжущих с содержанием клинкерной составляющей до 70 % прочностью на сжатие не менее 80 МПа, заключающийся в использовании модификатора вяжущего и наполнителей различного генезиса при полимодальном распределении частиц композиционных вяжущих [6–16].

За счет использования механохимической активации исходного сырья возможно производство наноструктурированных строительных материалов с улучшенными характеристиками.

Технология должна создавать условия для максимального сближения частиц твердой фазы при уплотнении и твердении бетона, что будет способствовать возникновению большего количества более прочных связей между составляющими смеси. Полученный таким способом бетон в наших исследованиях достигал прочности 150 МПа и более. Практика показывает, что увеличение прочности как тяжелого, так и легкого бетонов, например, с 40...50 до 60...80 МПа позволяет не только уменьшить объем бетона и массу конструкций на 20...25 %, расход металла на 10...15 %, снизить трудоемкость изделий, но и существенно повысить их долговечность со

всеми вытекающими отсюда материальными и энергетическими выгодами. При увеличении же прочности бетона до 100...150 МПа и выше можно достичь еще большего эффекта. Высокопрочные бетоны должны использоваться в основном для изготовления облегченных прочных и долговечных железобетонных несущих каркасов и конструкций зданий и сооружений.

На смену морально устаревшим пустотным перекрытиям и покрытиям (тяжелым, металло- и энергоемким с неудовлетворительной тепло- и звукоизоляцией) должны прийти облегченные, металло- и энергосберегающие слоистые перекрытия и покрытия с лучшими звуко-, теплоизоляционными качествами и технико-экономическими показателями из высокопрочного тяжелого и легкого бетона на пористых заполнителях.

Если сравнить по материалоемкости и энергоемкости все виды бетонов, то наиболее эффективным для изготовления стеновых изделий оказывается ячеистый бетон, который довольно широко используется в строительной практике России, Белоруссии, Украины, Швеции, Германии, Польши, Прибалтики и других стран при постоянном увеличении объема его производства.

В основном производятся блоки из автоклавного газобетона и неавтоклавного пенобетона. Характеристики автоклавного ячеистого бетона: средняя плотность 400...700 кг/м<sup>3</sup>, прочность на сжатие 2...7 МПа, морозостойкость F15...F35, теплопроводность 0,1...0,18 Вт/мК. Неавтоклавный пенобетон имеет худшие характеристики. Поэтому задача заключается в том, чтобы получить и использовать менее энергоемкий неавтоклавный ячеистый бетон, не уступающий автоклавному по качеству, в том числе и при изготовлении монолитных стеновых конструкций. Эта задача успешно решается в Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г. Шухова.

Нами разработан общий алгоритм получения новых материалов с требуемыми показателями качества, с использованием которого созданы инновационные технологии ячеистобетонных изделий, а развитые представления о динамике процесса формирования ячеистой структуры газобетонов неавтоклавного твердения, позволили за счет использования разработанных композиционных вяжущих и технологических приемов производства улучшить свойства неавтоклавных газобетонов. Получены теплоизоляционный газобетон неавтоклавного твердения D300, B1,

$\lambda = 0,07$  Вт/(м·°C), F35; конструкционно-теплоизоляционные газобетоны D400, B1,5,  $\lambda = 0,08$  Вт/(м·°C), F50; D500, B2,5,  $\lambda = 0,10$  Вт/(м·°C), F50, которые превышают по характеристикам свойства традиционных ячеистых бетонов неавтоклавного твердения [16–23].

Весьма эффективным и малоэнергоемким стеновым материалом, незаслуженно оттесненным на задний план, является бетон на основе гипса и композиционного гипсового вяжущего. О его эффективности с энергетической точки зрения свидетельствуют следующие факты. Для варки гипса необходима температура 140...170 °C, для обжига цемента – 1400...1500 °C. Гипсобетон твердеет быстро и без дополнительных тепловых затрат. Бетон и железобетон на цементе упрочняются очень медленно. Для ускорения твердения их подвергают тепловой обработке, на что тратится 2,5...5 ГДж/м тепловой энергии. Этот материал отличается хорошим внешним видом, экологической чистотой, сравнительно малой средней плотностью (300...1500 кг/м<sup>3</sup>) и теплопроводностью, несгораемостью, достаточной несущей способностью и долговечностью. Материал легко обрабатывается и быстро твердеет без тепловой обработки. Гипсобетон можно с успехом применять для изготовления внутренних стеновых панелей и блоков, перегородок, отделочных плит, гипсокартонных листов, архитектурных изделий, сухих смесей и других изделий, эксплуатирующихся в сухих условиях. Бетоны на основе композиционного гипсового вяжущего могут использоваться для производства наружных стен, перегородок, легких перекрытий, сантехкабин, вентблоков, полов, гипсоволокнистых плит, для изготовления монолитных изделий в построечных условиях [24].

Применение бетона на гипсовых вяжущих вместо портландцемента позволяет отказаться от тепловой обработки, что экономит 200 кг условного топлива на 1м<sup>3</sup> изделий, снижает металлоемкость производства в 2...2,5 раза, расход электрической энергии – в 2 раза, повышает производительность труда в 1,8...2,5 раза [25]. Не случайно, что в США объем производства и применения гипсобетона примерно в 25 раз больше, чем в России.

Одним из важнейших путей экономии топливно-энергетических ресурсов является сокращение тепловых потерь через ограждающие конструкции зданий, через изоляцию теплопроводов и технологического оборудования. На отопление зданий в России

расходуется ежегодно по разным источникам 200...240 млн. т. условного топлива, при этом до 30 % тепловой энергии теряется в окружающую среду. В связи с этим в РФ для отопления 1 м<sup>2</sup> площади зданий в среднем тратится в 2 раза больше энергии, чем в Германии и в 3,7 раза больше, чем в Швеции и Финляндии. Решать эту проблему необходимо за счет увеличения производства и широкого использования в строительстве эффективных теплоизоляционных материалов, по производству которых Россия отстает, например, от таких стран как США, Швеция, Япония и др. в 5...7 раз. В настоящее время в России на основе различных волокон производится более 70 % теплоизоляционных изделий, примерно 20 % пенопластов, 3 % теплоизоляционных ячеистых бетонов и 0,4...0,6 % изделий из вспученного перлита и вермикулита. Но объем производства всех теплоизоляционных изделий совершенно недостаточный. Расчеты показывают, что 1 м<sup>3</sup> тепловой изоляции экономит в год 1,45 т условного топлива. Для удовлетворения всех потребностей строительства необходимо производить и применять в год 45 млн. м<sup>3</sup> волокнистых теплоизоляционных изделий и 30 млн. м<sup>3</sup> остальных. Многие из производимых на сегодня теплоизоляционных материалов имеют существенные и часто неприемлемые недостатки. С теплотехнической точки зрения наиболее эффективными являются и применяются на практике трехслойные стеновые панели с утеплителем из пенопласта, но они более трудоемкие и менее пожароустойчивые. Альтернативой им по теплотехническим и другим характеристикам могут служить однослойные ограждающие конструкции из ячеистого бетона со средней плотностью 400...500 кг/м<sup>3</sup> и прочностью 3...4 МПа, которые менее трудоемкие и более долговечны. Однослойные самонесущие стены зданий высотой до 4...5 этажей целесообразно строить из мелких ячеистобетонных блоков со средней плотностью 400...500 кг/м<sup>3</sup> и прочностью 2...4 МПа, так как это приведет к существенной экономии дорогостоящего и энергоемкого металла. Для малоэтажного строительства возможно применение также гидрофобизированных ячеистобетонных блоков со средней плотностью 200...300 кг/м<sup>3</sup> и прочностью 1...2 МПа, в том числе с облицовкой из кирпича и других материалов. Для малоэтажного монолитного домостроения предлагается применять неавтоклавный газобетон со средней плотностью D300 и прочностью B1. Стены в этом случае не имеют швов, обладают необходимыми тепло-

техническими и звукоизоляционными качествами, меньшими трудоемкостью и энергоемкостью.

Наряду с вышеуказанными весьма эффективными теплоизоляционными материалами является вспученный перлит и изделия на его основе. В соответствии с работами нашего университета [26–28] на основе перлитового песка можно изготавливать энергосберегающие легкие цементные растворы со средней плотностью, применение которых вместо тяжелых повышает термическое сопротивление стены из ячеистобетонных блоков со средней плотностью 500 кг/м<sup>3</sup> на 25%. Это значит, что на 25% снизятся потери тепловой энергии в окружающую среду или на 25 % сократится расход топлива на отопление зданий. Возможно также утепление стен перлитцементным раствором.

Эффективно применение битумоперлита со средней плотностью 250...450 кг/м<sup>3</sup> и теплопроводностью 0,07...0,1 Вт/мК для тепловой изоляции теплопроводов и кровель.

Пенополистиролперлит (пенопластперлит), получаемый путем введения в пенополистирол перлитового песка, по своим качествам (прочности, термостойкости и долговечности) значительно превосходит используемый в строительстве пенопласт и его целесообразнее использовать для тепловой изоляции ограждающих конструкций.

Основные мировые тенденции в развитии промышленности строительных материалов в последние годы представлены на рис. 1.

В развитых странах практически полностью завершен этап перехода на энергоэффективные способы производства, который был спровоцирован первым энергетическим кризисом 1973 года. Завершается следующий этап – максимизация замещения природного топлива техногенными и бытовыми отходами. Так, например, в Германии доля вторичного топлива при производстве цемента составляет более 60 %, а Белоруссия может достигнуть аналогичного показателя в ближайшие несколько лет.

Неизменный тренд последних десятилетий – ужесточение экологических требований к производствам. Дорожные карты устойчивого развития промышленности до 2050 года основной задачей ставят существенное сокращение выбросов в окружающую среду, снижение использования природных материалов и невозобновляемых источников электроэнергии.

Наиболее комплексным показателем развития современного общества является отношение к отходам. Во многих странах мира,

не только относящихся к категории развитых, уровень утилизации отходов давно превысил 50 %. Основная часть из них используется в строительстве и при производстве строительных материалов. В США и Германии, например,

доля утилизации золошлаковых отходов достигает 80 %. В США ежегодно только на изготовление бетона используется 7 млн. тонн отходов.

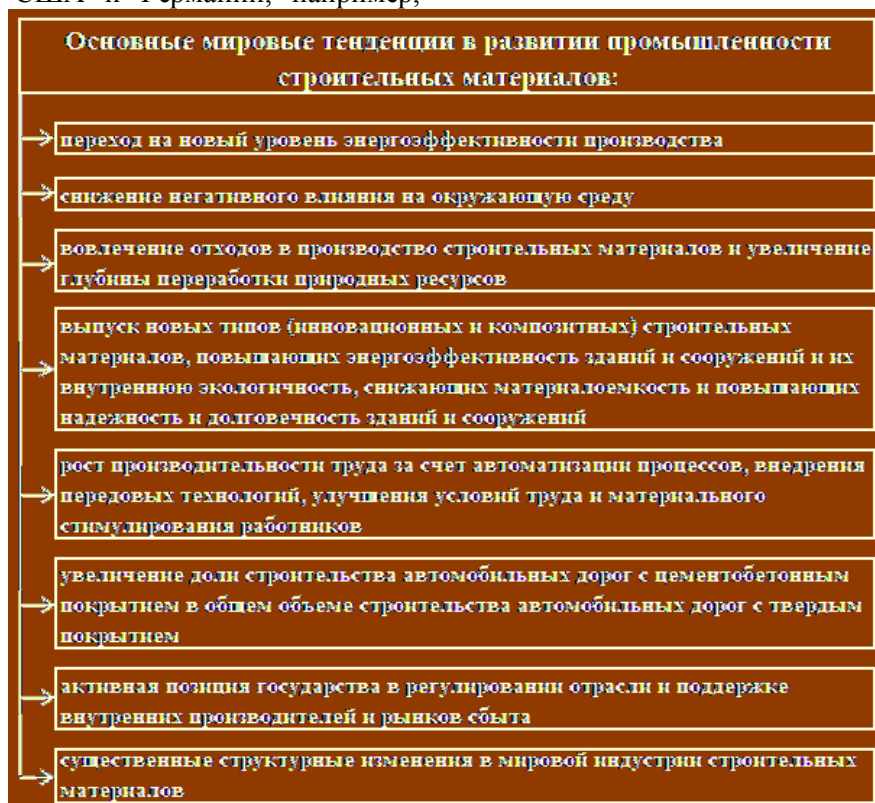


Рис. 1. Основные мировые тенденции в развитии промышленности строительных материалов

Современный уровень развития строительной индустрии предполагает закрепление за производством строительных материалов одной из ключевых ролей в решении экологических проблем цивилизации [1].

Применение в строительстве высококачественных, ресурсосберегающих материалов, изделий и конструкций, таких как: наноцемент и бетоны на его основе с расширенным использованием минеральных и химических добавок при производстве цементов и бетонов; малоклинкерные композиционные вяжущие на базе использования металлургических шлаков, золошлаковых отходов тепловых электростанций, а также безцементные вяжущие и системы с низким водопотреблением; композитные материалы, в том числе керамические композиционные материалы нового поколения на основе модифицированного сырья; современные полимерные материалы; бетон с повышенной прочностью и высокопрочный для ажурного несущего каркаса, ячеистый бетон, гипсобетон, слоистые изделия в комплексе с эффективными теплоизоляционными материалами для ограждающих конструкций; материалы с новыми свойствами и технологии зеленого

строительства позволит существенно снизить материалоемкость и энергоемкость строительных объектов и значительно повысить эффективность строительной отрасли.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стратегия развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 10 мая 2016 г. № 868-р.
2. Лесовик В.С. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса горных пород // В. С. Лесовик. Москва, 2006. –526с.
3. Сулейманова Л.А., Сулейманов А.Г., Ерохина И.А. Общая закономерность получения материалов с высокими качественными показателями // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2006. № 15. С. 155.
4. Сулейманова Л.А. Энергия связи – основа конструктивных и эксплуатационных характеристик бетонов // Известия высших учеб-

ных заведений. Строительство. 2007. № 9. С. 91–99.

5. Сулейманова Л.А. Энергия внутренних связей в материале – основа его прочности, деформативности и сопротивляемости различным факторам // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 6. С. 154–159.

6. Сулейманова Л.А. Композиционное вяжущее с использованием техногенного песка для неавтоклавных газобетонов // Экология: Образование, Наука, Промышленность и Здоровье: сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф. БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. С. 162–165.

7. Сулейманова Л.А., Жерновский И.В., Шамшуров А.В. Специальное композиционное вяжущее для газобетонов неавтоклавного твердения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. № 1. С. 39–45.

8. Лесовик В.С. Состояние и перспективы использования техногенного сырья // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2014. № 7 (959). С. 59–60.

9. Лесовик Р.В., Алфимова Н.И., Ковтун М.Н., Ластовецкий А.Н. О возможности использования техногенных песков в качестве сырья для производства строительных материалов // Региональная архитектура и строительство. 2008. №2. С. 10–15.

10. Лесовик В.С., Хархардин А.Н., Вишневская Я.Ю., Алфимова Н.И., Шейченко М.С., Трунов П.В. Композиционное вяжущее. Патент на изобретение RU 2385301 11.03.2009

11. Алфимова Н.И., Никифорова Н.А. Оптимизация параметров изготовления композиционных вяжущих на основе вулканического сырья // Региональная архитектура и строительство. 2016. № 4 (29). С. 33–39.

12. Агеева М.С., Алфимова Н.И. Эффективные композиционные вяжущие на основе техногенного сырья. Saarbrücken, 2015.

13. Алфимова Н.И., Лесовик В.С., Савин А.В., Шадский Е.Е. Перспективы применения композиционных вяжущих при производстве железобетонных изделий // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. № 5. (88). С. 95–99.

14. Лесовик Р.В. К выбору техногенных песков для получения композиционных вяжущих и мелкозернистых бетонов // Технологии бетонов. 2015. № 1-2. С. 60–63.

15. Лесовик Р.В. Мелкозернистые бетоны на композиционных вяжущих и техногенных песках: дис. ... д-ра техн. наук / Белгородский государственный технологический университет. Белгород, 2009.

16. Сулейманова Л.А., Лесовик В.С. Газобетоны неавтоклавного твердения на компози-

ционных вяжущих Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. 304 с.

17. Сулейманова Л.А., Лесовик В.С., Сулейманов А.Г. Неавтоклавные газобетоны на композиционных вяжущих. Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. 152 с.

18. Сулейманова Л.А. Алгоритм получения энергоэффективного газобетона с улучшенными показателями качества // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 4. С. 59–61.

19. Сулейманова Л.А., Кара К.А. Газобетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства. Белгород: КОНСТАНТА, 2011. 151 с.

20. Лесовик В.С., Сулейманова Л.А., Кара К.А. Энергоэффективные газобетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. № 3. С. 10–20.

21. Suleymanova L.A. Energy-efficient concretes for green construction / L.A. Suleymanova, V.S. Lesovik, K.A. Kara, M.V. Malyukova, K.A. Suleymanov // Research Journal of Applied Sciences. 2014. T. 9. № 12. С. 1087–1090.

22. Suleymanova L.A., Lesovik V.S., Lukutsova N.P., Kondrashev K.R., Suleymanov K.A. Energy efficient technologies of production and use non-autoclaved aerated concrete // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. №5. T.10. С. 12399–12406.

23. Сулейманова Л.А., Коломацкая С.А., Кондрашев К.Р., Шорстов Р.А. Энергоэффективные пористые композиты для зеленого строительства. В сборнике: Наукоемкие технологии и инновации Юбилейная Международная научно-практическая конференция, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова (XXI научные чтения). 2014. С. 354–359.

24. Lesovik V., Fischer H.-B., Tschernyschova N. Гипсовые композиты для оптимизации системы «Человек – материал – среда обитания» (Gips kompositim System «Mensch – Werkstoff – Lebensraum» // 2. Weima Gypsum Conference – Weimar, 26 – 27 März, 2014. P. 33–46.

25. Ферронская А.В. Эксплуатационные свойства бетонов на основе композиционного гипсового вяжущего // Строительные материалы. 1998. № 6. С. 34–36.

26. Сулейманова Л.А., Ищенко К.М. Теплоизоляционные материалы. Формованные теплоизоляционные материалы с использованием вспученного перлитового песка и отходов его производства. Германия: LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co. KG., 2012. 148 с.

27. Сулейманова Л.А., Ширина Н.В., Ищенко К.М., Башлыкова К.А. Теплоизоляционные материалы на перлитовом сырье. В

сборнике: Инновационные материалы и технологии (XX научные чтения) Материалы Международной научно-практической конференции. 2013. С. 238–243.

28. Евтушенко Е.И., Перетоккина Н.А., Дороганов В.А., Сулейманова Л.А., Сыса О.К., Бедина В.И., Миженина О.В.

Теплоизоляционные материалы на основе искусственных керамических вяжущих различного состава // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 6. С. 149–151

---

**Suleymanova L.A.**

**HIGH-QUALITY ENERGY-SAVING AND COMPETITIVE BUILDING MATERIALS, PRODUCTS AND CONSTRUCTIONS**

*The use in the construction of modern high-quality, resource-saving materials, products and constructions will allow to significantly reduce the consumption of materials and power-consuming of building objects and to significantly reduce efficiency of building sector. The present level of development of production of construction materials, products and constructions plays one of the main roles in solving the environmental problems of civilization.*

**Key words:** *building materials, products, constructions, energy-savings, resource-saving, durability.*

---

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

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

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

E-mail: ludmilasuleimanova@yandex.ru

DOI: 10.12737/23587

Глаголев Е.С., канд. техн. наук, заместитель губернатора,  
начальник департамента,  
Департамента строительства и транспорта Белгородской области  
Сулейманова Л.А., д-р техн. наук, проф.,  
Марушко М.В., магистрант  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## РАЗВИТИЕ ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В РОССИИ

[ludmilasuleimanova@yandex.ru](mailto:ludmilasuleimanova@yandex.ru)

*Социально-экономические преобразования, происходящие в Российской Федерации, кардинальным образом изменили подходы к решению жилищной проблемы, экономические и организационные основы жилищного и коммунального обслуживания. Многолетняя работа по формированию правовых и экономических условий перехода к рыночным методам регулирования, а также реализация целевых программ дали определенные результаты в сфере жилищного строительства: увеличение объемов жилых площадей, улучшение условий проживания граждан страны, доступность жилья для малообеспеченных семей.*

**Ключевые слова:** *жилье, жилищное строительство, многоквартирные дома, индивидуальные жилые дома, развитие, целевая программа, обеспечение.*

Во многих субъектах России ситуация с аварийным и ветхим жилым фондом остается важной актуальной проблемой. Аварийные многоквартирные дома (МКД), в связи с ухудшением эксплуатационных характеристик, приводящих к снижению до недопустимого уровня надежности, прочности и устойчивости строительных конструкций и оснований, физический износ которых составляет 75 % и более, несут в себе угрозу не только проживания в них людей, но даже кратковременного пребывания в помещениях таких зданий. Основанием для признания жилых домов непригодными для проживания также может служить изменение параметров микроклимата в помещениях, не позволяющих обеспечить соблюдение санитарно-эпидемиологических требований. Поэтому увеличение объемов жилищного строительства в России является одной из приоритетных задач, требующих скорейшего решения. Обеспеченность граждан комфортным и доступным жильем представляется важным фактором социально-экономического развития государства. Это оказывает непосредственное влияние на уровень и качество жизни населения, отражается на демографической ситуации, а также сказывается на экономической культуре людей, так как приобретению жилой площади предшествует длительный период накопления денежных средств. Развитие массового рынка жилья необходимо как для решения социальных проблем, так и для развития экономики в целом.

По данным Росстата [1–3], в Российской Федерации в 2015 г. введено в эксплуатацию 1169,4 тыс. квартир общей площадью 85,3 млн. кв. м, что соответствует максимальному показателю ввода жилых площадей в новейшей исто-

рии России, при этом объем ветхого и аварийного жилищного фонда в 2015 г. составил 88 млн. кв. м (рис. 1). Приведенные статистические данные указывают на общую отрицательную динамику – количество аварийного и ветхого жилья превышает показатель вводимого на 3,17 % (в 2010 г. – на 70 %). Такое положение связано, в том числе, и с тем, что решить вопрос об увеличении вводимых жилых площадей за короткий период времени не представляется возможным.

Для обеспечения гарантированного конституционного права на жилье требуется целенаправленное и устойчивое развитие жилищной сферы. Большое значение для развития строительного и жилищно-коммунального комплекса имеет принятие и совершенствование законодательной и нормативно-правовой базы, а также начало реализации Национального проекта «Доступное и комфортное жилье – гражданам России» – программы по улучшению жилищных условий граждан, объявленной Президентом РФ Владимиром Путиным 5 сентября 2005 года на его встрече с правительством, парламентом и главами регионов в рамках Программы приоритетных национальных проектов. Развитие рыночной среды в жилищной и коммунальной сферах объективно подтверждается приходом в этот сектор экономики крупного частного бизнеса и существенных внебюджетных инвестиций.

Двумя основными категориями вводимого жилья в России являются индивидуальные жилые дома, построенные населением (за счет собственных и заемных средств), и МКД от застройщиков – юридических лиц. Число построенных квартир в России (табл. 1) в 2005 г. составило 515 тыс., а в 2015 г. – 1195 тыс. единиц – из

них 272 тыс. – индивидуальные дома (в статистике Росстата индивидуальный дом для одной семьи также считается одной квартирой). За де-

сятилетие прирост – более чем в 2 раза, что указывает на положительную тенденцию в жилищной сфере.

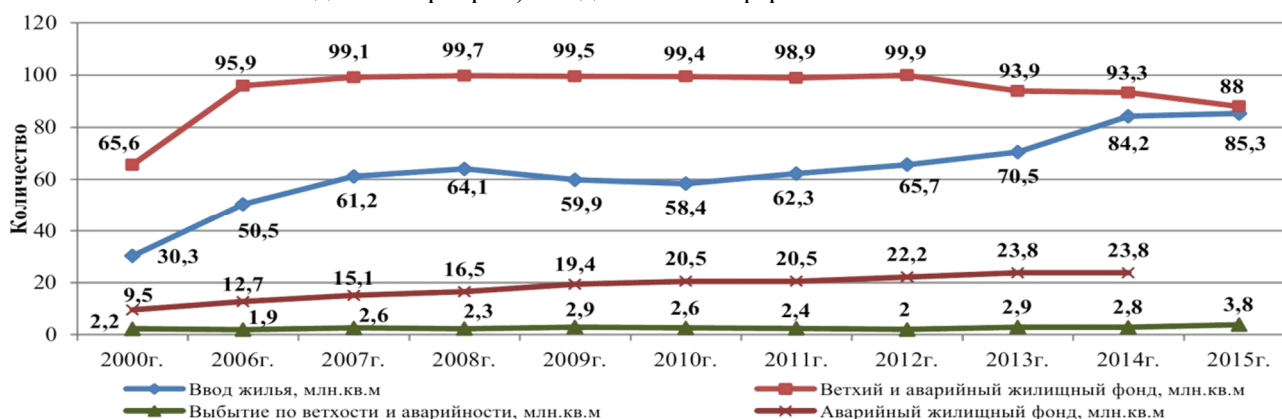


Рис. 1. Динамика общей площади введенного, ветхого и аварийного и выбытия жилищного фонда в Российской Федерации в период 2000–2015 гг.

Таблица 1

**Число построенных квартир в Российской Федерации и их средний размер в период 2000–2015 гг. [1]**

	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Всего</b>												
Число квартир, тыс.	373	515	609	722	768	702	717	786	838	929	1124	1195
Их средний размер, кв. м общей площади	81,1	84,5	83,1	84,7	83,4	85,3	81,5	79,3	78,4	75,8	74,9	71,4
<b>Из них по видам квартир, в процентах от общего ввода:</b>												
однокомнатные	20	28	29	31	33	33	34	36	38	39	41	43
двухкомнатные	29	32	32	32	32	31	32	31	32	31	31	30
трехкомнатные	34	27	25	24	23	23	23	21	20	20	19	18
четырёхкомнатные и более	17	13	14	13	12	13	12	12	10	10	9	9
<b>Жилищно-строительные кооперативы</b>												
Число квартир, тыс.	11	9	8	14	9	6	5	6	4	8	7	11
Их средний размер, кв. м общей площади	67,1	69,3	70,8	66,2	68,9	81,4	69,1	59,5	66,1	59,0	56,3	54,9
<b>Населением за счет собственных и заемных средств</b>												
Число квартир, тыс.	106	127	144	190	200	210	192	201	211	228	268	272
Их средний размер, кв. м общей площади	118,8	138,3	138,7	138,8	136,7	135,9	132,6	132,9	134,4	134,4	135,2	129,6

Развитие жилищного сектора сопровождается растущим социальным расслоением. Возрастает неравенство в размерах индивидуальных домов и квартир в МКД. Средний размер квартир в новых МКД достиг максимума в 81,4 кв. м в 2009 г. и с тех пор на протяжении последних 6 лет снижается, по итогам 2015 года составив лишь 54,9 кв. м. Максимум среднего размера индивидуальных домов оказался почти вдвое больше квартирного (138 кв. м) и был достигнут в 2004–2007 годах, после чего в период экономического кризиса средний размер вводимых домов немного уменьшился, а в 2015 г. стал равным 129,6 кв. м. В связи с этим, средний размер вводимых в России индивидуальных домов уже примерно в 2,4 раза превышает средний размер квартир в МКД [4].

Из введенных в 2015 году 85,3 млн кв. м жилой площади 62 млн. кв. м или 73 % приходится на города и поселки городского типа, и 23,3 млн. кв. м или 27 % – на сельскую местность. Данные показатели практически соответствует соотношению городского и сельского населения в России и поддерживает примерно равную обеспеченность населения жильем в городе и на селе. Жители сельских территорий в основном проживают в частных домовладениях: из введенных индивидуальных домов (35,2 млн. кв. м в 2015 году) больше половины (18,9 млн. кв. м) приходится на сельскую местность. В сельских поселениях индивидуальные дома обеспечивают 81 % вводимой площади, а в городах – только 26 %.



В структуре ввода жилья в России по этажности видны 3 основные группы (рис. 2):

- малоэтажные (1–3 этажа) здания – на них в последние годы стабильно приходится около половины вводимой жилой площади, причем доля трехэтажного жилья растет (с 6,2 % до 11,6% за 6 лет), а одноэтажного – сокращается (с 24% до 16,7 %);

- «классические» МКД (9–10 этажей) – их доля падает (с 17 % до 10,2 % за 6 лет);

- современные МКД (11 этажей и выше) – их доля быстро растет, по итогам 2015 года достигнув 35 %, хотя еще 6 лет назад она составляла лишь 23 %.

На долю зданий прочей этажности приходится лишь 7 % вводимой в стране площади, в это число входят дома от четырех до восьми этажей (6,5 % в 2015 году) [1, 4].

Из рис. 1 видно, что снижение объемов ввода жилищного фонда в 2009–2010 гг. после продолжительного роста вызвано общеэкономическим

кризисом 2008 года. При этом с 2011 г. снова наблюдается ежегодное увеличение количества жилых площадей. В ходе исследования было установлено, что ускорение ввода жилья происходит в начальные периоды экономического кризиса, что хорошо заметно как раз на примере сегодняшних тенденций: темпы ввода возрастали в 2014 году на фоне замедления инвестиционных процессов в экономике, и особенно в начале 2015 года, когда кризис стал явным ввиду обостряющейся политической обстановкой, что привело к падению ВВП, девальвации рубля. В связи с этим, как в период 2009–2010 гг., в январе-сентябре 2016 г., по данным [1], после роста снова наблюдается спад – введено в эксплуатацию 701,7 тыс. квартир общей площадью 49,5 млн. кв. м (см. рис. 3), что составило 94,5 % к соответствующему периоду предыдущего года (в январе-сентябре 2015 г. было введено 52,4 млн. кв. м).

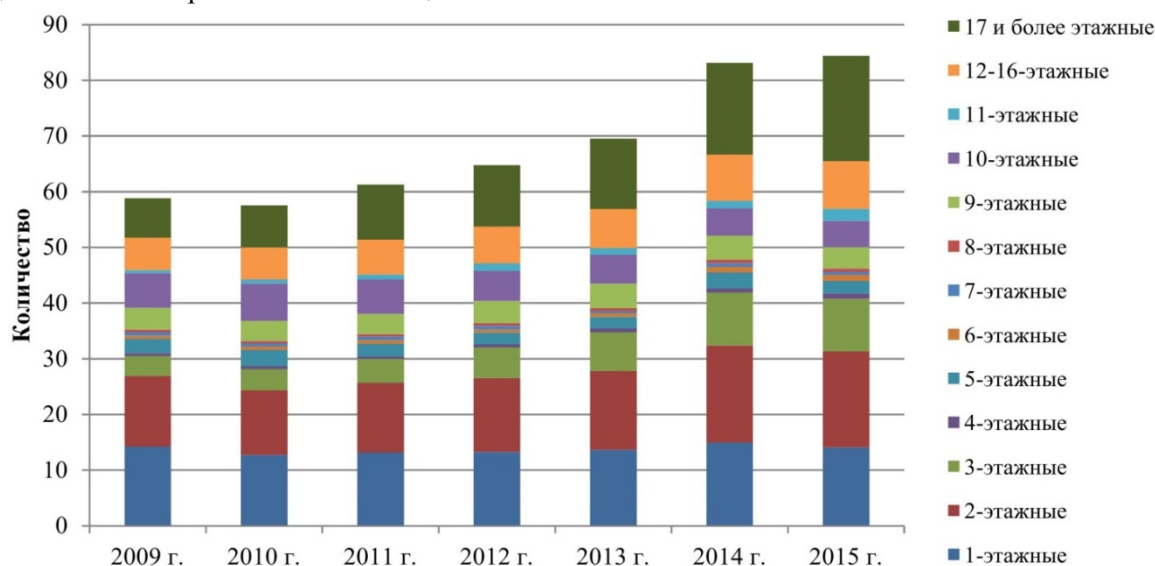


Рис. 2. Ввод общей площади жилых домов по этажности в Российской Федерации в период 2009–2015 гг., млн. кв. м

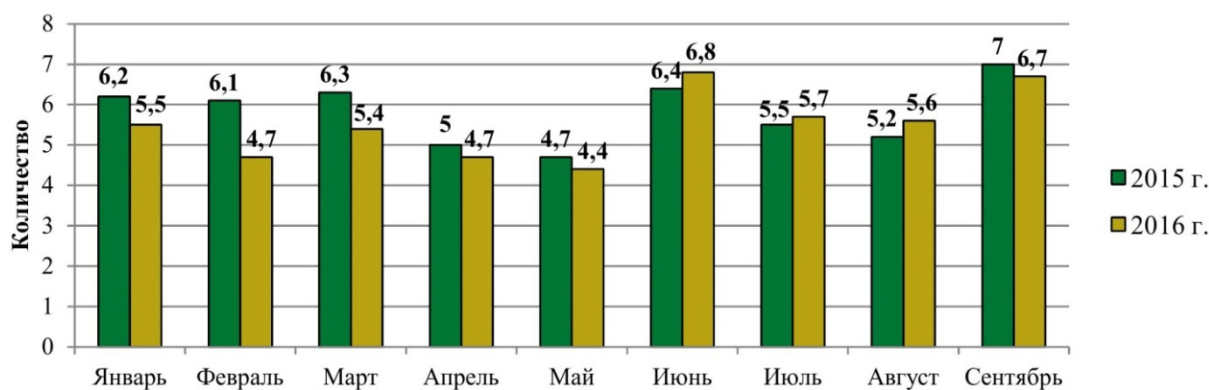


Рис. 3. Помесячная динамика ввода в эксплуатацию жилых домов в Российской Федерации, млн. кв. м общей площади

При исследовании ценовых показателей жилья, проанализирована средняя стоимость

одного кв. м. общей жилой площади отдельно стоящих жилых домов (табл. 2).

Таблица 2

**Основные показатели стоимости строительства и рыночной стоимости 1 кв. м общей площади отдельно стоящих жилых домов в Российской Федерации**

	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Средняя фактическая стоимость строительства 1 кв. м общей площади жилья</b>												
Всего, тыс. руб.	4,8	13,8	16,8	20,7	26,6	30,3	31,9	33,3	34,4	36,4	39,4	39,3
в том числе:												
в городах и поселках городского типа, тыс. руб.	4,8	13,7	16,7	20,6	26,6	30,3	31,8	33,4	34,6	36,6	39,5	39,5
в сельской местности, тыс. руб.	4,0	16,8	20,8	22,7	25,9	30,1	32,4	32,4	31,2	33,8	38,5	36,8
<b>Средние цены на первичном рынке жилья в Российской Федерации без пристроек, надстроек и встроенных помещений</b>												
Все квартиры, тыс. руб. за 1 кв. м общей площади	8,7	25,4	36,2	47,5	52,5	47,7	48,1	43,7	48,2	50,2	51,7	51,5
<b>Индексы цен на первичном рынке жилья в Российской Федерации</b>												
Все квартиры, в % к концу предыдущего периода	113,1	117,5	147,7	123,4	110,3	92,4	100,3	106,7	110,7	104,8	105,7	99,7

В России динамика рынка жилой недвижимости является одним из важных индикаторов состояния экономики. Перед кризисом 2008–2009 гг. наблюдался резкий рост цен на квартиры – только в 2006 году прирост достиг 21,7 %. Причиной стало увеличение спроса населения на объекты жилой недвижимости как на первичном, так и на вторичном рынках. В кризис 2009 г. произошло снижение цен, но к 2010 году рынок начал восстанавливаться. При этом темпы роста цен в 2010–2014 годах были значительно ниже, чем до кризиса 2009 г.: в среднем 5 % в год против 23 % в 2004–2008 годах. Текущий кризис способствовал снижению цен на квартиры в 2015 году в среднем на 0,3 %.

Общие положительные тенденции увеличения количества жилых площадей за последние годы наблюдаются благодаря действию основных принятых нормативных правовых актов:

1) Федеральный закон №161-ФЗ «О содействии развитию жилищного строительства» [5];

2) Федеральный закон №185-ФЗ «О Фонде содействия реформированию ЖКХ» [6];

3) Федеральная целевая программа "Жилище" на 2015 - 2020 годы [7] с подпрограммами:

- Обеспечение жильем молодых семей;
- Выполнение государственных обязательств по обеспечению жильем категорий граждан, установленных федеральным законодательством;
- Стимулирование программ развития жилищного строительства субъектов РФ;
- Обеспечение жильем отдельных категорий граждан;
- Модернизация объектов коммунальной инфраструктуры.

Федеральная целевая программа "Жилище" начала действовать с 2002 г. и охватывает 3 периода: 2002–2010 гг., 2011–2015 гг. и 2015–2020

гг. Согласно паспорта Программы последнего периода действия [7], основными ее целями являются: формирование рынка доступного жилья эконом-класса, отвечающего требованиям энергоэффективности и экологичности; выполнение государственных обязательств по обеспечению жильем категорий граждан, установленных федеральным законодательством.

Для выполнения поставленных целей Программой ставятся основные задачи:

- создание условий для развития массового строительства жилья эконом-класса;
- повышение уровня обеспеченности населения жильем путем увеличения объемов жилищного строительства;
- обеспечение жильем категорий граждан, установленных федеральным законодательством;
- предоставление социальной поддержки на приобретение жилья гражданам, нуждающимся в улучшении жилищных условий, в первую очередь молодым семьям.

Общий объем финансирования Программы в 2015 - 2020 годах составит 691,82 млрд. руб., в том числе за счет средств федерального бюджета – 357,92 млрд. руб.; за счет средств бюджетов субъектов Российской Федерации и местных бюджетов – 105,31 млрд. руб.; за счет средств внебюджетных источников – 228,59 млрд. руб.

Конечные результаты реализации Программы и показатели ее социально-экономической эффективности ожидаются следующие:

- ввод 7,33 млн. кв. м жилья в рамках мероприятий по стимулированию жилищного строительства субъектов РФ;
- улучшение жилищных условий 235,22 тыс. семей в совокупности по всем мероприятиям Программы;

– совершенствование нормативной правовой базы России в целях повышения доступности жилья для населения;

– создание условий для улучшения демографической ситуации в стране, реализации эффективной миграционной политики, снижения социальной напряженности в обществе.

Анализируя региональные особенности жилищного строительства, можно сделать вывод, что доля, например, индивидуального жилищного строительства (ИЖС) высока на юге европейской части России: в Белгородской, Астраханской, Липецкой и Ростовской областях, а также республиках Северного Кавказа и юга Сибири. По среднедушевому показателю введенной площади ИЖД в последние годы (кроме 2014 года) лидирует Белгородская область, где вла-

стями успешно реализуется масштабная программа ИЖС, которая может стать примером для всей страны [4]. В реализации программ Фонда содействия реформированию ЖКХ по переселению граждан из аварийного жилищного фонда и в области предоставления доступного и качественного жилья населению также активно работают власти данной области. Стоит отметить, что приоритетным способом расселения граждан в регионе является возведение новых МКД (рис. 4). Доля такого способа в 2013 году составила 88,8 % (29,4 тыс. кв. м), а в 2015 г. колоссальный показатель – 100 % (17,4 тыс. кв. м) [8]. Реализация названной программы способствует, в том числе, повышению объемов жилищного строительства.

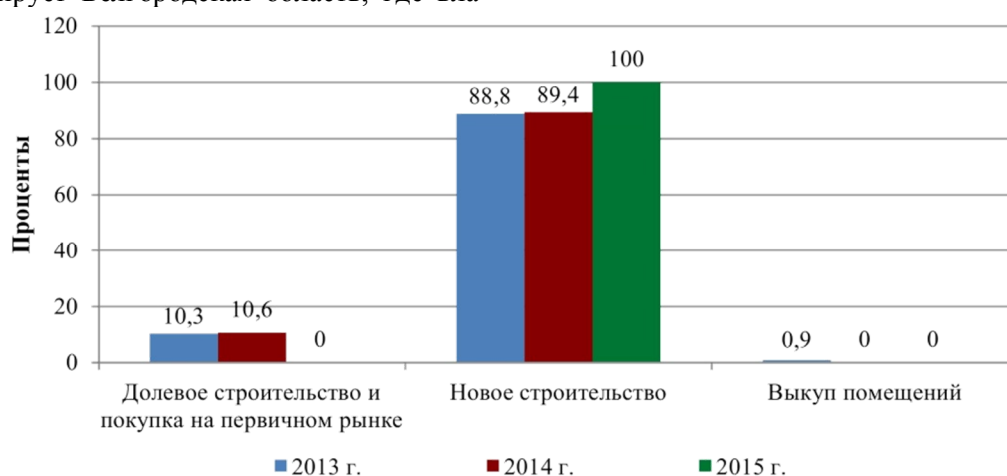


Рис. 4. Способы расселения граждан из аварийного жилищного фонда в Белгородской области в 2013 – 2015 гг., в процентах

Всего в 2015 г. в Белгородской области сдано в эксплуатацию 1,554 млн. кв. м общей площади жилых домов, что, например, больше показателя 2012 г. в 1,3 раза (1,215 млн. кв. м). А всего за период 2012–2015 гг. построено жилых домов общей площадью 5,533 млн. кв. м. Такие показатели говорят не только об увеличении ввода в эксплуатацию новых жилых домов, но и о создании комфортных условий для проживания людей.

На сегодняшний день в Белгородской области с 2014 г. исполняется государственная программа «Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами жителей Белгородской области на 2014–2020 годы» (Программа) [9], цели которой – создание условий для комплексного развития жилищной сферы, повышение доступности жилья и обеспечение качественными жилищно-коммунальными услугами в Белгородской области. Одной из подпрограмм Программы [9] является стимулирование развития жилищного строительства, конечным результатом которой будет увеличе-

ние ввода жилья за 2014–2020 гг. на 11,5 млн. кв. м общей площади и обеспеченности населения жильем – не менее 30 кв. м на 1 жителя.

Для снижения административных барьеров в жилищном строительстве, создания условий для развития конкуренции и расширения доступа застройщиков к кредитным ресурсам, внедрения механизмов привлечения кредитных и инвестиционных средств для обеспечения земельных участков коммунальной инфраструктурой в целях жилищного строительства, необходимо выполнение основных мероприятий, связанных с совершенствованием законодательной и нормативной правовой базы:

1) создание системы государственной экспертизы проектной документации и совершенствование системы государственного строительного надзора;

2) разработка технических регламентов, устанавливающих требования безопасности, соблюдаемые при территориальном планировании, градостроительном зонировании и планировке

территории, при архитектурно-строительном проектировании, строительстве зданий;

3) регулирование деятельности застройщиков по привлечению средств участников долевого строительства МКД;

4) законодательное обеспечение введения местного налога на недвижимость с целью стимулирования деятельности муниципалитетов по развитию жилищного строительства.

Уровень жилищных условий для граждан России ежегодно улучшается. Перечисленные действующие программы требуют постоянных расходов и комплексных расширений. Однако, решение проблем строительства жилищ уже дает свои положительные результаты – увеличение объемов жилых площадей, рост социального благополучия, поддержка малообеспеченных слоев населения, экономическое развитие.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики / Официальная статистика [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.gks.ru>.
2. Российский статистический ежегодник. 2015: Стат.сб./Росстат. М., 2015. 728 с.
3. Российский статистический ежегодник. 2012: Стат.сб./Росстат. М., 2012. 786 с.
4. Официальный сайт Аналитического центра при Правительстве Российской Федерации / Бюллетени о текущих тенденциях российской экономики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ac.gov.ru>.
5. О содействии развитию жилищного строительства: Федеральный закон от 24.07.2008 №161-ФЗ (ред. от 23.06.2016) // Собрание законодательства РФ. 28.07.2008, №30 (ч. 2), ст. 3617.
6. О Фонде содействия реформированию жилищно-коммунального хозяйства: Федеральный закон от 21.07.2007 №185-ФЗ (ред. от 23.06.2016) // Собрание законодательства РФ. 23.07.2007, №30, ст. 3799.
7. О федеральной целевой программе "Жилище" на 2015 - 2020 годы" (с изм. и доп., вступ. в силу с 14.06.2016): Постановление Правительства РФ от 17.12.2010 №1050 (ред. от 26.05.2016) // Официальный интернет-портал правовой информации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pravo.gov.ru>.
8. Официальный сайт Государственной корпорации - Фонд содействия реформированию жилищно-коммунального хозяйства / Реформа ЖКХ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.reformagkh.ru>.
9. Об утверждении государственной программы Белгородской области "Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами жителей Белгородской области на 2014-2020 годы": Постановление Правительства Белгородской области от 28 октября 2013 года №441-пп // Официальный интернет-портал губернатора и правительства Белгородской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://belregion.ru>.

---

**Glagolev E.S., Suleymanova L.A., Marushko M.V.**

### THE DEVELOPMENT OF HOUSING CONSTRUCTION IN RUSSIA

*Social and economic reforms, occurring in Russian Federation, radically changed approaches to solving the housing problem, economic and organizational basis for housing and communal services. Long-term work on the formation of legal and economic conditions of transition to market methods of regulation and also the realization of targeted programs gave certain results housing construction: increase the volume of living spaces, improvement of living conditions of citizens, affordability of housing for low-income families.*

**Key words:** housing, housing construction, apartment houses, individual houses, development, targeted program, provision.

---

**Глаголев Евгений Сергеевич**, кандидат технических наук, заместитель губернатора Белгородской области, начальник департамента строительства и транспорта Белгородской области

Адрес: Россия, 308005, г. Белгород, Соборная площадь, 4.

E-mail: [kafedrasigsh@mail.ru](mailto:kafedrasigsh@mail.ru)

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

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

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

E-mail: [ludmilasuleimanova@yandex.ru](mailto:ludmilasuleimanova@yandex.ru)

**Марушко Михаил Викторович**, магистрант.

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

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

E-mail: [12michailmar@mail.ru](mailto:12michailmar@mail.ru)

Косухин М.М., канд. техн. наук, проф.,  
Косухин А.М., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОДИФИКАТОРОВ МОНОЛИТНЫХ БЕТОНОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РЕКОНСТРУКЦИОННЫХ РАБОТ\*

mkosuhin@mail.ru

Обобщены и систематизированы результаты известных разработок в области химического модифицирования бетонных смесей и бетонов, изложены теоретические положения и методологические рекомендации по созданию высокоэффективных полифункциональных модификаторов. Показано, что ведущая роль в химизации бетонов в настоящее время принадлежит добавкам данного класса, так как их применение придает бетонной смеси и бетону комплекс заданных свойств для эксплуатации в различных условиях. Отмечено, что это направление особенно актуально в монолитном бетонировании, как наиболее широко применяемом при проведении ремонтно-строительных работ и выдвигающему более высокие требования к качеству бетонных смесей и бетонов. Дана классификация и изложены требования к модификаторам с учетом технологичности и функционального назначения. Синтезирован высокоэффективный полифункциональный модификатор для монолитных бетонов, содержащий в своем составе пластифицирующий компонент, ускоритель процессов гидратации и твердения бетона и обладающий фунгицидностью. Изучены коллоидно-химические свойства полученного модификатора и свойства бетонных смесей и бетонов с его применением.

**Ключевые слова:** полифункциональные модификаторы, монолитный бетон, бетонная смесь, коллоидно-химические свойства, эффект синергизма, высокопрочный бетон, долговечность бетона, высокоподвижные и литые бетонные смеси, электролиты, ПАВ, ускорители твердения, пластифицирующая активность, реологические свойства, адсорбция, электрокинетический потенциал, агрегативная устойчивость.

**Введение.** В настоящее время первостепенная роль в строительном и жилищно-коммунальном комплексах принадлежит применению современных отечественных материалов и технологий. Особенно это актуально в сегодняшние дни, в рамках импортозамещения материалов и технологий. Бетон и железобетон традиционно нашли самое широкое применение как в новом строительстве, так и при проведении реконструкционных работ. Среди большого разнообразия строительных материалов они занимали и продолжают занимать ведущую роль в строительной индустрии. Вместе с тем, бетон самый сложный искусственный композиционный материал, обладающий обширным спектром уникальных эксплуатационно-технических свойств. При этом к современному бетону предъявляется и целый комплекс современных требований.

Специфика сферы жилищно-коммунального и строительного комплексов предусматривает широкое использование различных инженерных сооружений, эксплуатируемых в различных температурно-влажностных условиях и эксплуатационных средах различной агрессивности. В процессе эксплуатации в бетоне под воздействием окружающей среды могут развиваться деструктивные процессы.

Наибольшую опасность среди них, согласно данным технического комитета РИЛЕМ по долговечности бетона и бетонных конструкций, представляют три: коррозия арматуры, химическая и биологическая коррозия бетона и влияние попеременного замораживания и оттаивания увлажненных бетонных и железобетонных конструкций [1]. В этой связи, к современному бетону наряду с прочностными свойствами предъявляется ряд требований, обеспечивающих его долговечность и эксплуатационную надежность. Получение высокопрочных и долговечных бетонов в настоящее время обусловлено и тем, что с развитием в последние годы монолитного бетонирования технология бетона из заводских условий перешла на открытые строительные площадки, где она значительно усложняется из-за отсутствия стационарных условий протекания процессов структурообразования и набора прочности.

**Методология.** В работе были проведены исследования коллоидно-химических свойств модифицированных минеральных суспензий, наиболее широко применяемых в строительной индустрии.

Исследование подвижности модифицированных цементных суспензий производили с помощью мини-конуса, в соответствии с мето-

дикой НИИЖБ Госстроя [2], заключающейся в определении диаметра расплыва цементной суспензии под действием силы тяжести.

Исследования реологических свойств цементного теста, растворов, а также подбор состава цементобетона производили в соответствии с методологией, разработанной в НИИЖБ, по применению добавок различного типа в технологии сборного и монолитного бетона [3].

Для исключения фактора нестабильности дисперсной фазы и дисперсионной среды при взаимодействии цемента с водой, для изучения влияния ПФМ на коллоидно-химические свойства в качестве модельной использовали меловую суспензию.  $\text{CaCO}_3$  обладает низкой растворимостью ( $\text{ПР } 1 \cdot 10^{-8}$ ) и содержит катионы, входящие в состав большинства клинкерных минералов цемента. Изучение механизма действия ПФМ проводили по результатам выполнения стандартных исследований коллоидно-химических свойств и модифицированных минеральных суспензий.

Исследования реологических параметров суспензий проводили с помощью ротационного вискозиметра «Реотест-2». Концентрацию ПФМ (См) рассчитывали в мас. % по сухому веществу от количества дисперсной фазы. В ходе исследований определяли зависимость между значениями сдвигающего напряжения и скоростью сдвига. По полученным результатам строили реологические кривые, по которым определяли предельное напряжение сдвига  $\tau_0$  и пластическую вязкость  $\eta_{\text{пл}}$ .

Агрегативную устойчивость меловых суспензий оценивали по наименьшему радиусу частиц, с помощью седиментационного анализа.

Для нахождения электрокинетических свойств поверхности использовали метод потенциала течения с учетом поверхностной проводимости, позволяющей определять  $\xi$ -потенциал в концентрированных суспензиях.

Для установления состава и строения олигомерных молекул применяли газожидкостную и жидкостную хроматографию, ультрафиолетовую и инфракрасную спектроскопию, спектроскопию ядерно-магнитного резонанса, кондукто- и потенциометрию. Молекулярный вес синтезированных олигомеров определяли методом криоскопии.

Для выяснения механизма действия модификаторов были применены физико-химические методы исследования. Изучались водные растворы модификаторов, кинетика твердения цементного теста, изменение фазового состава образцов цементного камня с добавками, разовые превра-

щения в модельных системах и клинкерных минералах при гидратации и твердении.

**Основная часть.** В настоящее время при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений все большее распространение получает монолитный бетон и железобетон. Особенно эти материалы и технологии востребованы при проведении ремонтно-строительных работ существующих объектов ЖKK. К широко распространенной в нашей стране традиционной технологии монолитного бетонирования сегодня предъявляется ряд дополнительных требований к которым относятся: повышение долговечности конструкций из монолитного бетона путем повышения морозо- и коррозионной стойкости; улучшение технологических и реологических свойств бетонных смесей, связанное с применением современных средств механизированной укладки, а также устройством тонкостенных, густоармированных строительных конструкций сложной конфигурации и архитектурной выразительности; повышенные требования эстетичности, комфортности и ряда других строительно-технологических и эксплуатационно-технических свойств.

Кроме того, достижение вышеуказанных целей в последнее время усложняется природно-климатическими изменениями в большинстве регионов страны. Участвовавшие колебания отрицательных и положительных температур с переходом через нулевое значение в зимний период и повышенные летние температуры вызывают необходимость проведения дополнительных мероприятий при монолитном бетонировании как на стадии приготовления бетонных смесей и производства работ по их укладке, так и в период эксплуатации бетона. Отсутствие сезонности проведения монолитного бетонирования, также актуализирует эту проблему.

Решить указанные задачи стало возможным с появлением полифункциональных модификаторов (ПФМ) бетонов. Однако, их применение наталкивается на ряд трудностей. С падением темпов роста экономического развития страны снизился и приоритет научных разработок в области химического модифицирования бетонов. С начала 70-х годов XX столетия в нашей стране активно велись работы по синтезу сначала индивидуальных химических добавок различной функциональности, а затем и комплексных. После «экономических преобразований 1990 годов» интерес к их разработке значительной упал. С этого момента российский рынок заполняется импортными химическими добавками и добавками, произведенными по зарубежным технологиям. Эта тенденция наблюдалась вплоть до настоящего времени. И только сего-

дня, в рамках импортозамещения, начинается реанимирование отечественного производства химических добавок в бетоны.

Ведущая роль химизации бетона в настоящее время отводится ПФМ, применение которых одновременно придает как бетонной смеси, так и затвердевшему бетону целый комплекс различных свойств, позволяет регулировать его характеристики в заданных условиях эксплуатации. Применение обычных химических добавок предусматривает регулирование, как правило, одного свойства бетонной смеси или бетона. На смену индивидуальным химическим добавкам приходят ПФМ «смесового» типа, позволяющие одновременно регулировать несколько свойств бетона. Но ошибки и излишний оптимизм в применении этой серии ПФМ привели к ряду негативных последствий.

Создание ПФМ – огромный стимул к приложению технологического мышления, основанного на понимании возникающих эффектов чисто химического или коллоидно-химического происхождения, к которым относятся:

- аддитивный эффект (правило аддитивности), который при образовании смесей не превышает суммарного вклада каждого компонента, взятого в той же концентрации, что и в смеси, однако при этом сохраняется характер влияния каждого компонента;

- синергетический эффект при использовании смесей намного превышает суммарный и аналогичный вклад каждого компонента, взятого в той же концентрации, что и в смеси [4];

- суперпозиционный эффект – один из возможных, при которых происходит наложение влияний смешивания компонентов;

- антагонистический эффект, достигаемый при использовании смесей, намного уменьшает вклад каждого компонента или вызывает негативные явления.

В классической химической технологии определения «модификатор», «модифицирование» или «модификация» относятся к направленному изменению протекания элементарных и технологических процессов, приводящих к формированию заданных свойств.

Одним из главных признаков технологической эффективности добавок в бетон является их функциональность. Это важнейшее понятие еще не получило в бетоневедении однозначного толкования. Обычно понятия «функция» и «функциональность» технологи относят к назначению добавок [5]. Это вполне оправдано для традиционных подходов к применению добавок прямого назначения – пластификаторов, ускорителей, воздухововлекающих и т.п. В ре-

зультате появился термин «полифункциональные модификаторы». Чаще всего при этом подразумеваются комплексные химические добавки. В принципе, «монофункциональных» добавок нет.

С физико-химической точки зрения понятие «функция» относится к помимо «назначения» еще и к свойствам и явлениям, изменяющимся по мере взаимодействия с другими компонентами в ходе реакций и процессов. Функциональность добавок в бетон предопределяется природой, составом и механизмом влияния на гидратацию в целом и отдельные элементарные стадии. Это, как правило, адсорбция, смачивание, растворение, химическая реакция, зародышеобразование, коллоидация, кристаллизация и т.п. Закономерности функциональных взаимозависимостей компонентов цементосодержащей системы, но, в первую очередь, цемента и добавки, проявляющихся при гидратации, носят кинетический характер. Это сложная, практически не решенная задача современного бетоневедения. Функциональность химических добавок обусловлена явлением кинетической селективности их влияния на элементарные акты гидратационного взаимодействия в системах «вяжущее–раствор–добавки».

Исходя из вышеизложенного, возникла необходимость разработки ПФМ нового поколения, химическое строение и состав которых бы обладали полифункциональностью. Говоря о регулировании свойств бетонов ПФМ необходимо отметить, что переход на монолитное бетонирование выдвигает более высокие требования к качеству бетонных смесей и бетонов. Смесей должны иметь большую подвижность, стабильную в течение определенного времени, высокую однородность. Бетоны из таких смесей должны иметь улучшенные прочностные и деформативные характеристики, обеспечивающие его работу в конструкции. Известно также, что литые бетоны характеризуются меньшими величинами модуля упругости, повышенными значениями коэффициента Пуассона и усадочными деформациями по сравнению со среднепластичными даже при одинаковых В/Ц. Выбор компонентов ПФМ основывается на технологическом эффекте действия.

Наиболее распространенным типом комплексных модификаторов являются, как уже отмечалось выше «смесевые» модификаторы, состоящие из двух и более компонентов. При этом вопросы совместимости индивидуальных компонентов играют большую роль, что приводит даже к сдерживанию работ по их разработке. Из-за отсутствия совместимости их приходится вводить в бетонную смесь отдельно. При смешивании



вании различных компонентов может произойти их химическое взаимодействие с образованием нового продукта, который не способен достигнуть желаемого эффекта или наоборот вызывать отрицательное воздействие. Поэтому, важной задачей является поиск новых ПФМ в виде готового продукта, производимого на специализированных предприятиях, удобного для введения в бетонную смесь, который обладал бы и универсальностью в части одновременного улучшения свойств бетонной смеси и бетона.

На важность вопроса совместимости индивидуальных компонентов указывают исследователи [6]. Авторы работы условно разделяют требования при отборе исходных компонентов на две группы: технико-экономические и технологические. К технико-экономическим относятся:

- не дефицитность (доступность для широкого применения);
- основной положительный эффект от введения индивидуального вещества в цементно-водные системы.

Технологические критерии включают оценки:

- побочных положительных эффектов от введения вещества;
- побочных отрицательных эффектов от введения вещества;
- активности вещества, характеризующегося его количеством, по отношению к массе цемента, дающим максимальный экономический эффект;
- технологической чувствительности вещества, характеризующейся изменением его эффективности в зависимости от изменения характеристик материалов для бетона и его состава;
- чувствительности дозировки вещества – допустимых изменений в его дозировке без существенного изменения эффективности;
- не токсичности;
- соответствия санитарно-экологическим требованиям;
- стабильности при хранении;
- совместимости с возможными компонентами комплекса.

Задача получения ПФМ состоит в разработке его состава, учитывающего требования придания бетону комплекса технически важных свойств, а также особенности конкретной технологии производства работ.

Все ПФМ условно можно разделить на три большие группы: смеси электролитов; смеси поверхностно активных веществ; смеси электролитов и ПАВ.

Основное назначение ПФМ первой группы направлено на регулирование сроков схватывания и скорости твердения бетона и обеспечение защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре.

Отличительной особенностью механизма действия ПФМ первой группы является их способность к конкурентным реакциям с минералами цементного клинкера и продуктами их гидратации. В результате появляется возможность направленного регулирования скорости кристаллизации новообразований и их состава, а также состава жидкой фазы, что, в конечном счете, предопределяет физико-механические свойства твердеющего бетона, его структуру и защитные свойства по отношению к стальной арматуре.

ПФМ второй группы применяются в основном для повышения морозостойкости бетона, приготовляемого из подвижных и высокоподвижных бетонных смесей, и регулирования сроков схватывания бетонных смесей.

ПФМ третьей группы являются наиболее эффективными. Введение в их состав электролитов улучшает структурно-механические свойства бетонов и регулирует скорость их твердения, ПАВ позволяют в широких пределах регулировать подвижность бетонной смеси, ее воздухоудерживающую способность, придают бетонам некоторые специальные свойства (бактерицидность, гидрофобность).

В некоторых случаях электролиты изменяют физико-химические свойства ПАВ в ту или иную сторону и тем самым изменяют их эффективность, что приводит к эффекту синергизма или антагонизма. Это влияние связывается с изменением агрегативной устойчивости ПАВ и изменением формы макромолекул. Оно в свою очередь влияет на характер их адсорбции. Для улучшения важнейшей характеристики бетонной смеси – ее сохраняемости, известен эффективный модификатор, включающий суперпластификатор (СП) и замедлитель схватывания. Большое распространение получили комплексы СП с противоморозными добавками и ускорителем твердения.

Многие исследователи [7], уделяют большое внимание созданию ПФМ на базе высокоэффективных СП. Это можно объяснить тем, что СП сами по себе способны регулировать свойства бетонных смесей и бетонов в очень широких пределах. Использование их в комплексе с другими компонентами еще более расширяет их возможности.

Использование ПФМ способствует также экономии индивидуальных компонентов. Так, например, введение ЛСТ в состав ПФМ позво-



ляет существенно снизить расход СП при сохранении требуемой подвижности бетонной смеси.

Проводя исследования по изучению механизма действия ПФМ, многие авторы [8, 9] приходят к выводу, что совместимость их компонентов сильно зависит от типа и количества ПАВ. Так, например, при изучении реологических свойств цементного теста [9] с добавками СП, введенных совместно с различными ПАВ, установлено, что изменение вязкости и предельного напряжения сдвига цементного теста зависит от типа ПАВ.

Введение в цементное тесто некоторых добавок ПАВ и электролитов в сочетании с СП приводит к резкому уменьшению структурной вязкости за счет специфической адсорбции молекул на поверхности частиц твердой фазы, понижая поверхностное натяжение жидкости на границе раздела фаз, улучшения смачиваемости поверхности, нейтрализации на поверхности разноименных зарядов и пептизации флоккулов цемента. С точки зрения реологии введение в цементное тесто добавок с различным механизмом адсорбции резко уменьшает силы межчастичного взаимодействия, в результате наблюдается существенное уменьшение вязкости и предельного напряжения сдвига цементного теста, что позволяет снизить концентрацию СП.

Раскрывая природу механизма действия и совместимость компонентов ПФМ авторами [10] на 7-ом Международном конгрессе по химии цемента показано, что при совместном введении двух или более однотипных добавок с одинаковым механизмом их действия эффект ниже аддитивного.

При введении ПФМ, содержащих компоненты разной природы, с различным механизмом действия, реализуется синергетический эффект, эффект взаимного усиления пластифицирующего действия каждой добавки.

Авторы работы [11] при исследовании пластифицирующего эффекта комплексных добавок, состоящих из ПАВ разной природы пришли к выводу, что для достижения максимальной растекаемости растворной смеси, необходимо ввести в нее комплексную добавку, состоящую из двух ПАВ разной поверхностной активности.

Авторы [12] на основании многочисленных экспериментальных данных заключают, что механизм действия сочетаний ПАВ связан с независимой, либо конкурентной адсорбцией добавок на границе раздела фаз.

Отличительной особенностью действия ПФМ в бетонных смесях от эффекта действия индивидуальных добавок, вводимых в их состав заключается в том, что имеется возможность су-

щественного улучшения комплекса свойств бетонной смеси: подвижности, сохраняемости, снижения водоотделения и расслаиваемости, повышения степени ее однородности. Эти параметры являются во многом определяющими при формировании структуры и свойств затвердевшего бетона.

Как уже отмечалось выше, многие пластифицирующие добавки не обеспечивают более длительного сохранения высокой подвижности бетонных смесей при их индивидуальном использовании. Продолжительность сохранения высокой подвижности смесей с использованием ПФМ выше, чем у высокоэффективных пластифицирующих добавок. Это играет важную положительную роль при применении бетонов в производственных условиях. Применение ПФМ при производстве густоармированных, тонкостенных и переменного сечения конструкций позволяет получать высокоподвижные и литые бетонные смеси с пониженным водосодержанием, что приводит к повышению прочности, морозостойкости и долговечности бетона.

Автор [6] объясняет более длительное сохранение подвижности смесей с ПФМ наличием в их составе сочетания пластифицирующего и микропенообразующих компонентов, действие которого способствует замедлению структурообразования на ранней стадии, нейтрализуя ускоряющее действие электролитов, которое проявляется на ряде цементов.

При использовании высокоподвижных и литых бетонных смесей важное место занимает их водоотделение и расслаиваемость. Многочисленные исследования ряда авторов дают ряд оценок влияния ПФМ на эти важные технологические свойства бетонной смеси. Компоненты модификаторов, замедляющие схватывание, препятствуют более сильному снижению предельного напряжения сдвига, что приводит к большей седиментационной устойчивости и связности [7]. Наличие в составе ПФМ структурообразующих компонентов наряду с СП, способствуют сохранению необходимого воздухоудержания литых бетонных смесей, создаваемого и разрушаемого наличием пластифицирующего компонента.

Таким образом, использование ПФМ позволяют регулировать такие важные технологические свойства бетонной смеси как сохраняемость, водоотделение и расслаиваемость что позволяет получать бетоны с заданными свойствами прочности, морозостойкости и т.д. Но при приготовлении бетонных смесей с использованием ПФМ необходимо обращать внимание на ряд технологических факторов, которые могут существенно изменять свойства бетонных смесей. К ним относятся время перемешивания, наличие возду-

хововлекающих, пластифицирующих и других компонентов, тип бетоносмесителей и т.д. Наличие в составе ПФМ различных компонентов требует определения оптимального времени перемешивания для достижения требуемого эффекта.

Приготовление бетонных смесей с использованием ПФМ позволяет улучшать важнейшие физико-механические характеристики и свойства бетона. Применение ПФМ, содержащих в своем составе пластифицирующий компонент, позволяет получать бетоны из литых и высокоподвижных бетонных смесей по прочности выше, чем у бетонов без добавок и малоподвижных бетонных смесей. Влияние ПФМ на прирост прочности бетона многие авторы объясняют комбинированным действием эффекта частичного снижения водоцементного отношения за счет пластификации и эффекта ускорения твердения, обусловленного влиянием ускорителей твердения в составе ПФМ.

Применение ПФМ создает дополнительное воздухововлечение без снижения прочности бетона, тогда как в бетонах без добавок дополнительное воздухововлечение на 1 % снижает прочность бетона на 4–5 %.

ПФМ, имеющие в своем составе замедлители схватывания, эффективно регулируют температурный режим твердеющего бетона [13], замедляют скорость его тепловыделения. Это позволяет исключить деструктивные процессы при твердении массивного бетона и в значительной степени повышать его трещиностойкость.

Улучшение структуры твердеющего бетона, его прочностных и деформативных характеристик введением ПФМ, существенно влияет на долговечность бетона. ПФМ, содержащие в своем составе структурирующие компоненты и высокоэффективные пластификаторы, позволяют получать бетоны высокой морозостойкости. Повышение морозостойкости бетонов с ПФМ многие авторы связывают с дополнительным воздухововлечением и степенью смачиваемости внутренней поверхности пор и капилляров цементного камня в бетоне. Наличие в составе ПФМ гидрофобизирующих компонентов соответствует гидрофобизации внутренней поверхности пор, что приводит к уменьшению смачиваемости цементного камня. Это, в свою очередь, существенно повышает морозостойкость бетона. По данным [6], наличие в составе ПФМ гидрофобизирующих кремнийорганических соединений газообразующего действия позволяет получать бетоны, морозостойкость которых в 2–2,5 раза превышает морозостойкость бетонов с индивидуальными воздухововлекающими компо-

нентами (СНВ) при том же объеме условно-замкнутых пор.

Комбинированный эффект от снижения водоцементного отношения и модификации поровой структуры ПФМ приводит к повышению водонепроницаемости бетона.

Применение ПФМ улучшает защитные свойства бетонов за счет уплотнения бетона и модифицирования его поровой структуры. Анализ результатов комплексных испытаний по определению защитных свойств бетонов с ПФМ показывает, что при равных значениях водоцементных отношений введение модификаторов не ухудшает защитных свойств по отношению к стальной арматуре.

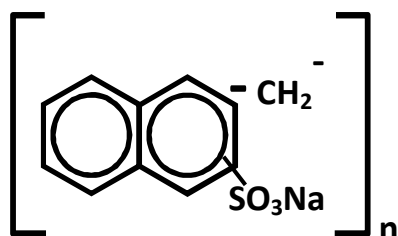
Таким образом, можно отметить, что исследовательские работы и практика применения в строительстве ПФМ позволяет считать это направление в технологии бетона весьма перспективным и многообразным. С применением разработанных модификаторов оказалось возможным решать ряд задач, по созданию заданных свойств бетонной смеси и бетона, в том числе, получение бетонов с пределом прочности при сжатии 400...500 МПа, маркой по морозостойкости F600 и выше из смесей литой консистенции.

Число ПФМ, содержащих различное количество индивидуальных компонентов, растет. Намечившаяся и закрепившаяся тенденция научного подхода при выборе сочетающихся ингредиентов ПФМ хорошо зарекомендовала себя в условиях производства. Объемы применения ПФМ, несмотря на значительные технологические трудности (хранение, транспортировка, дозирование и т.д.) возрастают с каждым годом. Поэтому дальнейшая систематизация экспериментальных данных, поиск научных решений в повышении эффективности, многофункциональности действия добавок определенного класса, в частности СП, составление композиций на их основе являются весьма перспективными.

Исходя из поставленных задач была выдвинута рабочая гипотеза синтеза отечественных высокоэффективных и дешевых ПФМ для бетонов, содержащих в своем составе химические вещества и соединения олигомерного ряда, которые могут являться в качестве активных компонентов ПФМ. В БГТУ им. В.Г. Шухова, начиная с 80-х годов прошлого века авторским коллективом ведутся работы по синтезу химических добавок в бетоны. Запатентован ряд химических добавок серии СБ на основе отходов химических производств: резорцина, пирокатехина, производства углеводородов пиролизным способом и других [14,15,16,17].

Так как бетоны, эксплуатируемые в жилищно-коммунальной структуре в большей степени подвергаются действию биологически-агрессивных сред, то предпосылкой выбора исходного сырья для синтеза ПФМ явилось то, чтобы оно обладало фунгицидностью. Резорцин и пирокатехин по химической природе являются типичными фунгицидами.

В ходе проведения испытаний был синтезирован ПФМ СБ-7 на основе отходов химического производства – легкой пиролизной смолы. Так как в нашей стране наиболее широко применяется СП С-3, то все испытания проводили в сравнении с ним. СП С-3 представляет собой продукт конденсации  $\beta$ -нафталинсульфокислоты с формальдегидом. Его строение можно описать следующей формулой:



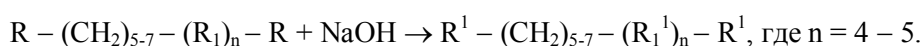
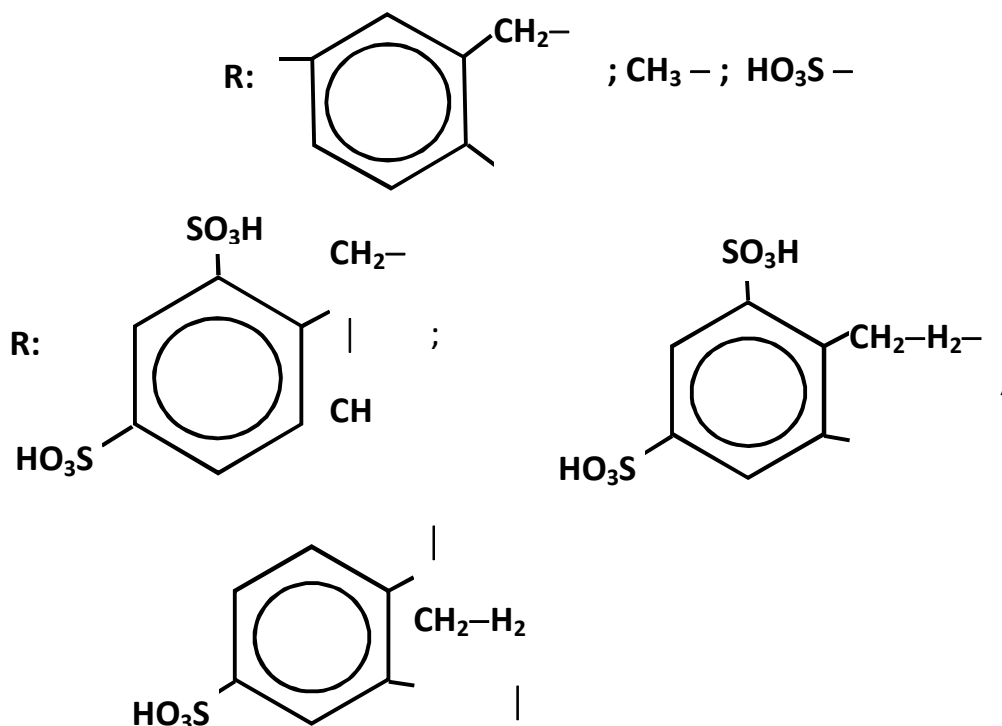
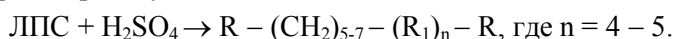
Для его получения сульфатируют нафталин концентрированной серной кислотой при температуре 120–130 °С и пониженном давлении, затем проводят поликонденсацию с формальдегидом и полученный раствор нейтрализуют щело-

чью. Такой процесс достаточно сложен и его можно проводить только в условиях химического производства. В то же время к недостаткам С-3 можно отнести его относительно высокую стоимость и большой расход, что снижает эффективность его применения.

При пиролизе углеводородов образуется отход производства – легкая пиролизная смола. Она имеет сложный состав и содержит следующие органические соединения:

- непредельные соединения – 20–25 %;
- алкилбензолы – 45–75 %;
- $\alpha$ -метил-стирол – 2–4 %;
- индены – 1–3 %;
- нафталин – 3–6 %;
- тяжелые смолы – 3–5 %.

В связи с этим была поставлена задача – разработать способ получения эффективного ПФМ для бетона на основе легкой пиролизной смолы. Анализ литературы показал, что в данной смеси возможно образование олигомерных соединений за счет полимеризационных процессов с кислотным катализатором. В связи с этим ПФМ СБ-7 получали при сульфировании легкой пиролизной смолы, что обеспечило введение гидрофильных групп и образование олигомерных соединений. В качестве сульфатирующего агента использовали концентрированную серную кислоту.



Сульфирование представляет собой обратимый процесс. Кроме того, скорость сульфирования уменьшается в результате разбавления серной кислоты водой, образующейся в ходе реакции. Чтобы сместить равновесие реакции путем удаления воды из зоны реакции, а также для удаления непрореагировавших исходных ароматических соединений, использовали вакуумирование реакционной массы. Остаточное давление поддерживали в пределах 0,3–0,4 атм. Увеличение остаточного давления не позволяет достаточно полно удалить из реакционной массы непрореагировавшие ароматические соединения. Это не влияет на функциональные свойства, но ухудшает потребительские качества ПФМ вследствие появления резкого запаха в готовом продукте.

Сульфирование и полимеризацию проводили при температуре 120–130 °С в течение одного часа. Окончание процесса сульфирования

контролировалось по растворимости пробы сульфомассы в воде, взятой не менее, чем через пол часа после начала сульфирования и далее через каждые 15 мин.

В ходе эксперимента минимальное количество серной кислоты, используемой на стадии сульфирования, определялось полнотой сульфирования и отсутствием водонерастворимых включений, максимальное – началом уменьшения активности ПФМ.

Пластифицирующую активность ПФМ СБ-7 определяли с помощью мини-конуса по стандартной методике НИИЖБ Госстроя [1], заключающийся в определении диаметра расплыва цементной суспензии под действием силы тяжести.

Влияние массового соотношения  $H_2SO_4$ : смола на пластифицирующую способность СБ-7 показано на рис. 1.

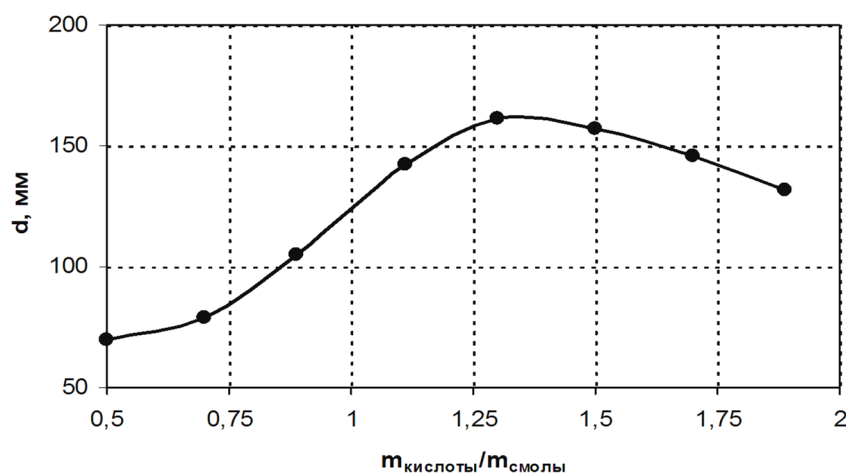


Рис. 1. Влияние массового соотношения  $H_2SO_4$ : смола на пластифицирующую способность ПФМ ( $C=0,6 \%$ )

Максимальная пластифицирующая способность наблюдается при массовом соотношении  $H_2SO_4$ : смола около 1,3. При дальнейшем увеличении соотношения исходных реагентов пластифицирующая способность уменьшается, что связано с возрастанием доли свободной серной кислоты.

Полученную на стадии сульфирования сульфомассу растворяли водой и нейтрализовали раствором гидроксида натрия до pH 8,5–9. На основании исследования состава и строения ПФМ СБ-7 было показано, что он состоит из активной части (60–70 %) и сульфата натрия (30–40 %). При этом активная часть СБ-7 представляет собой сульфированные соединения олигомерного типа со средней молекулярной массой 1900. Олигомерные сульфированные соединения должны обеспечивать пластифициру-

ющее действие СБ-7, а сульфат натрия – ускорять процессы твердения цемента в бетонах.

**Выводы.** Таким образом, в ходе проведенных исследований был получен высокоэффективный ПФМ бетонных смесей и бетонов, удовлетворяющий вышеизложенным требованиям. Наличие в его составе пластифицирующего компонента и ускорителя твердения позволяет широко использовать его в монолитном бетонировании при производстве строительных и реконструкционных работ. Полученный модификатор обладает тем оптимумом свойств, который как раз необходим для таких бетонов.

Изучение коллоидно-химических свойств СБ-7 показало, что по своей эффективности и функциональному назначению он не уступает передовым зарубежным аналогам, прост в производстве и имеет низкую стоимость. Изучены физико-механические и эксплуатационно-

технологические свойства бетонных смесей и бетонов, модифицированных СБ-7, показано, что его применение позволяет получать литые бетонные смеси без снижения прочности бетона и сохраняющие длительное время высокую подвижность. Бетоны, модифицированные СБ-7 обладают повышенной прочностью, высокой морозостойкостью и фунгицидностью. Все это позволяет широко и успешно применять его в ремонтно-строительных монолитных бетонах при реконструкции объектов ЖКК.

*\*Статья подготовлена в рамках базовой части государственного задания №1478 Минобрнауки России в сфере научной деятельности «Пептизация и регулирование реологических свойств концентрированных минеральных суспензий с модификаторами дисперсных частиц».*

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Валента О. Долговечность бетона // Первый международный конгресс по химии цемента. М.: Стройиздат, 1973. С. 288–296.
2. Рекомендации по физико-химическому контролю состава и качества суперпластификатора С-3. М.: НИИЖБ. 1984.
3. Методические рекомендации по оценке эффективности добавок. М.: НИИЖБ, 1979. 24 с.
4. Косухин М.М. Регулирование свойств бетонных смесей и бетонов комплексными добавками с разными гидрофильными группами: дисс.... канд. техн. наук. Воронеж. 1995. 173 с.
5. Ушеров-Маршак А.В. Химические и минеральные добавки в бетон. Харьков, Колорит. 2005. 280 с.
6. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. М.: Стройиздат, 1990. 400 с.
7. Рамачандран В.С., Фельдман Р.Ф., Коллепарди М. и др. Добавки в бетон: справоч. пособие / Под. ред. В.С. Рамачандрана: Пер. с англ. Г.И. Розенберг, С.А. Болдырева: Под. ред. С.А.Болдырева, В.Б. Ратинова. М.: Стройиздат, 1988. 575 с.
8. Довнар Н.И., Колесников Н.А. Оптимизация реологических свойств литых бетонных смесей с добавками суперпластификаторов / Реология бетонных смесей и ее технологические задачи: тез. докл. VI –Всесоюз.симпоз. // Рига, 1989. С. 124–125.
9. Изотов В.С. Реология цементного теста с комплексными добавками / Реология бетонных смесей и ее технологические задачи: тез. докл. VI Всесоюз. симпоз. // Рига, 1989. С. 122–123.
10. Исследование механизма действия комплексных добавок / Ю.М. Баженов, В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг и др. // VII Междунар. конгр. по химии цемента. М.: Стройиздат, 1986.
11. Зависимость консистенции растворов смесей от добавок ПАВ / Н.Н. Круглицкий, В.Н. Бойко, А. С. Загайчук и др. // Строительные материалы и конструкции. Киев. 1981. №3. С. 34–35.
12. Добролюбов Г., Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Прогнозирование долговечности бетона с добавками. М.: «Стройиздат», 1983. 213 с.
13. Дворкин Л.И., Кизима В.П. Эффективные литые бетоны. Львов: Высшая школа, 1986. 144 с.
14. Полуэктова В.А., Косухин М.М., Малиновкер В.М., Шаповалов Н.А. Полифункциональный суперпластификатор для бетонов на основе отходов производства пирокатехина // Фундаментальные исследования. 2013. № 1. Ч. 3. С. 718–722.
15. Косухин М.М., Шаповалов Н.А., Косухин А.М., Бабин А.А. Суперпластификатор для бетонов на основе легкой пиролизной смолы // Строительные материалы. 2008. № 7. С. 44.
16. Косухин, М.М., Косухин А.М., Шаповалов Н.А. Композиционное вяжущее для высокоморозостойких дорожных бетонов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2010. №1. С. 51–53.
17. Poluektova V.A., Shapovalov N.A., Kosukhin M.M., Slusar A.A. Plasticizing Additives For Water Mineral Dispersions On The Basis Of Oxyphenol Oligomers // Advances in Natural and Applied Sciences, 8(5) May 2014, Pages: 373–379.

**Kosukhin M.M., Kosukhin A.M.**

### THEORETICAL AND METHODOLOGICAL BASIS OF CREATING POLYFUNCTIONAL MODIFIERS OF MASS CONCRETES FOR RECONSTRUCTION WORKS

*The findings of the known research in the sphere of concretes and concrete mixes chemical modification have been generalized and systematized; the theoretical statements and methodological recommendations in creating high-performance polyfunctional modifiers have been presented. It was demonstrated that the leading role in concrete modification is played nowadays by this class of additives, as their application provides concretes and concrete mixes with a set of prescribed properties for their operation in various conditions. It was pointed out that this sector is especially relevant in mass concreting, as the most widely used in conducting building and repair works and more demanding to the quality of concretes and concrete mixes. The modifiers were classified and the requirements to modifiers with account of their workability and functional use were listed. A*

*high-performance fungicidal polyfunctional modifier for mass concretes, containing a plasticizing agent and hydration and hardening accelerator has been synthesized. The colloid-chemical properties of the obtained modifier and the properties of concretes and concrete mixes with this modifier have been researched.*

**Key words:** *polyfunctional modifiers, mass concrete, concrete mix, colloid-chemical properties, synergism effect, high-strength concrete, longevity of concrete, high-slump and flow concrete mixes, electrolytes, surface-active substance, hardening accelerators, plasticizing activity, rheological properties, adsorption, electrokinetic potential, aggregative stability.*

---

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

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

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

E-mail: mkosuhin@mail.ru

**Косухин Андрей Михайлович**, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства.

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

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

E-mail: andrey.shik@mail.ru

Курбатов В.Л., д-р экон. наук, проф.,  
 Комарова Н.Д., канд. техн. наук, доц.  
 Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова  
 (Северо-Кавказский филиал)

## ДИСПЕРСНЫЕ СЫРЬЕВЫЕ СМЕСИ, ИХ ОСОБЕННОСТИ КАПИЛЯРНОГО СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ

natalia.komarova.2014@mail.ru

В пространстве и во времени структура любого материала непрерывно претерпевает изменения, этому, в частности, способствуют постоянное движение элементарных частиц, атомов, молекул, взаимодействие материала с окружающей средой. К примеру, почти все строительные материалы и их сырьевые смеси, по крайней мере, на микроуровне, представляют собой микрогетерогенные дисперсные системы, состоящие нескольких фаз, к числу которых относится жидкая составляющая. Характер структуры таких систем во многом определяется характером и величиной связей или сил сцепления между структурными элементами (микрочастицами, зёрнами и т.д.). В зависимости от характера этих связей в дисперсных системах выделяют прочные фазовые контакты в конденсационных или кристаллизационных структурах дисперсных материалов, непосредственные атомные контакты в сухих порошках и сравнительно слабые силы молекулярного взаимодействия, действующие между частицами через прослойки жидкой фазы, в коагуляционных структурах. Помимо рассмотренных выше видов взаимодействий и соответствующих структур необходимо выделить такие важные взаимодействия, как капиллярные, проявляющиеся в трехфазных (твёрдое – жидкость – газ) дисперсных системах, к которым относится, к примеру, большинство сырьевых (бетонных, растворных, силикатных и т.п.) смесей для изготовления строительных композиционных материалов.

**Ключевые слова:** дисперсные системы, структурообразование, межчастичное взаимодействие, влажность, зона контакта.

При длительном нахождении дисперсной системы во влажном воздухе или введении в нее жидкости в достаточном количестве, после образования адсорбционных слоев максимальной толщины жидкость накапливается в зазорах между частицами и удерживается там силами поверхностного натяжения, образуя жидкостную «манжету», ограниченную мениском двоя-

кой кривизны. Появление менисков в зонах контакта между частицами порождает в дисперсной системе в дополнение к перечисленным силам межчастичного взаимодействия еще одну систему сил, обусловленных поверхностным натяжением жидкости и капиллярным давлением (рис. 1).

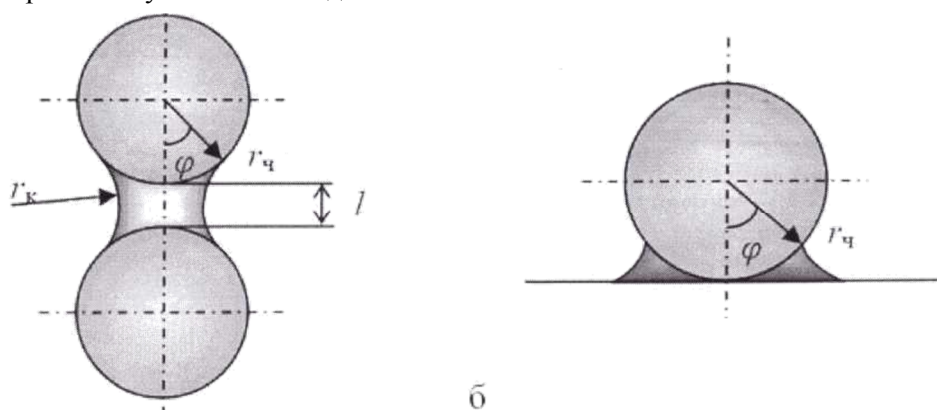


Рис. 1. Образование капиллярного мениска: между двумя сферическими частицами (а); между сферической частицей и плоскостью (б)

Структурообразование в дисперсных системах есть результат проявления и баланса сил межчастичного взаимодействия: межмолекулярных, электрических, капиллярных. Хотя исследованию слипания частиц (аутогезии) в дисперсных системах посвящено большое количе-

ство работ, вопросы, относящиеся к типу структурных элементов и структур в результате доминирующей роли сил капиллярного сцепления в структурообразовании, изучены неполномерно.



Многочисленные исследования увлажненных дисперсных систем, например, песчаных грунтов [1], показывают, что в широком диапазоне изменения влажности от нуля до перехода системы в текучее, близкое к двухфазному

«твердое – жидкость», состояние наблюдается сложный, похожий на синусоидальный характер зависимости основных физико-механических свойств от влажности (рис. 2).

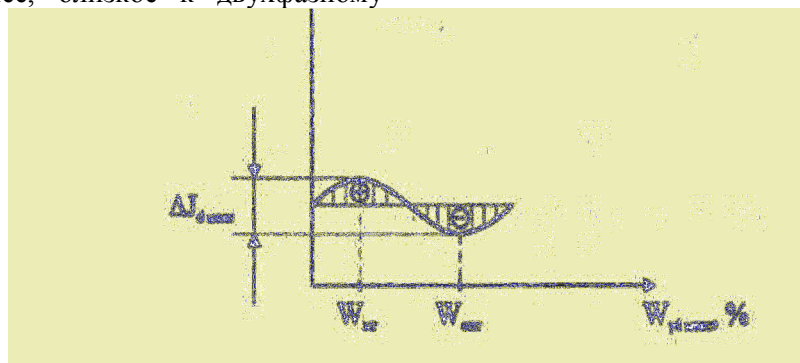


Рис. 2. Обобщенный характер зависимости физико-механических свойств дисперсных систем от влажности ( $J_d$  – коэффициент относительной плотности дисперсного грунта)

При этом «плюсовой» или «минусовой» экстремумы на этих графиках зависят от определяемого свойства: насыпная плотность или насыпной объем, плотность после определенного уплотнения, различные прочностные характеристики и т.д. Положение первого экстремума по данным разных авторов в грунтоведении связывается, в зависимости от применявшихся методик, либо с влажностью максимальной гигроскопичности, либо с влажностью максимальной молекулярной влагоемкости. При этом для аналогичной зависимости плотности уплотненных и свободноуложенных дисперсий на основе молотого кварцевого песка наличие первого экстремума объясняется расклинивающим действием пленок воды, находящихся на частицах системы, а роль капиллярных сил проявляется в самоуплотнении системы при дальнейшем увеличении влажности.

Данные по измерению разрывной прочности модельных систем из кварцевого песка различной дисперсности, при влажности, близкой к влажности максимальной гигроскопичности, либо максимальной молекулярной влагоемкости, и соответствующей среднестатистическому моменту завершения образования адсорбционных слоев и скачкообразному переходу жидкости от пленочного к объемному состоянию капиллярное сцепление в дисперсной системе имеет наибольшую величину и при этом более чем на два порядка превышает суммарный вклад других сил межчастичного взаимодействия [2]. Разрыхление и уменьшение насыпной плотности дисперсных систем после увлажнения с последующим перемешиванием происходит в результате образования агрегатов из частиц, соединенных силами капиллярного сцепления. Минимальная насыпная плотность дисперсных систем

в пересчете на сухое вещество достигается при влажности соответствующей максимальному капиллярному структурообразованию, что, в свою очередь, может служить признаком наибольшего развития этого практически важного процесса.

Второй экстремум, который для грунтоведов важен с точки зрения достижения максимальной плотности грунта при его уплотнении, обеспечивает обводнение системы и перевод ее в двухфазное состояние, и, соответственно, резкое снижение величины структурообразующих, прежде всего капиллярных, сил при минимальной пористости.

В работах по изучению влияния влажности сырьевых смесей на свойства строительных прессованных композитов [4], показано, что в полидисперсных системах, состоящих из грубодисперсного заполнителя и тонкодисперсного вяжущего при влажности, соответствующей максимуму насыпного объема или минимуму насыпной плотности смеси, после соответствующего уплотнения достигается максимальная прочность свежеформованных и готовых изделий. Данный факт объясняется оптимальной структурой смеси, характеризующейся максимальным сосредоточением частиц вяжущего на поверхности зерен заполнителя под действием сил капиллярного сцепления. Эта первоначальная структура затем в основных чертах наследуется строительным композитом, проходя через стадию (по Ю.М. Баженову) последующего «укрепления» структуры в результате твердения материала.

Выявленный характер капиллярного структурообразования в сырьевых смесях строительных композитов объясняется тем, что появление капиллярных менисков и возникновение сил



капиллярного сцепления между тонкодисперсными и грубодисперсными частицами, значительно превышающих по своей величине капиллярные силы между частицами одинакового размера (сила капиллярного сцепления между шаром и плоскостью, в качестве которой можно представить поверхность грубодисперсной частицы, по расчетам примерно в два раза больше силы капиллярного сцепления между двумя шарообразными частицами одинакового диаметра, причем это соотношение возрастает по мере заполнения жидкостью контактной зоны), приводит к наиболее важному процессу капиллярного структурообразования – преимущественному прилипанию тонкодисперсных частиц к грубодисперсным с образованием агрегатов-глобул. К примеру, в сырьевых смесях для производства строительных композиционных материалов, в результате процессов капиллярного структурообразования и наиболее важного из них – глобулирования, концентрация вяжущего вещества у поверхности заполнителей и в контактных зонах между ними выше средней концентрации в смеси. В этом одна из причин увеличения прочности и плотности материалов в указанных зонах. Более полное использование гидратационной и

связующей активности вяжущего в прессованных строительных композитах (силикатный и бетонный кирпич полусухого прессования и т.п.) достигается на стадии приготовления сырьевых смесей при влажности, соответствующей их максимальному глобулированию. В этом случае жидкая фаза играет роль усиливающего компонента, упрочняя материал за счет перевода матричного цементирующего вещества из объемного состояния в пленочное с более высокими прочностью и структурированностью [3]. Если для дисперсных систем и материалов определяющими являются контактные взаимодействия, характер и величина которых обуславливают соответствующий тип структуры (эффект поверхностей), то для грубозернистых систем наибольшее значение имеют закономерности укладки в зависимости от размеров и формы зерен (эффект масс) [1].

На рисунке 3 приведен макроснимок увлажненного кварцевого песка. Влажность системы составляет порядка 5–6 % по массе. На снимке видно капиллярное взаимодействие мелких частиц песка с крупными. «Прилипшие» частички образуют агрегаты-глобулы, которые в свою очередь строят «арочные» структуры.

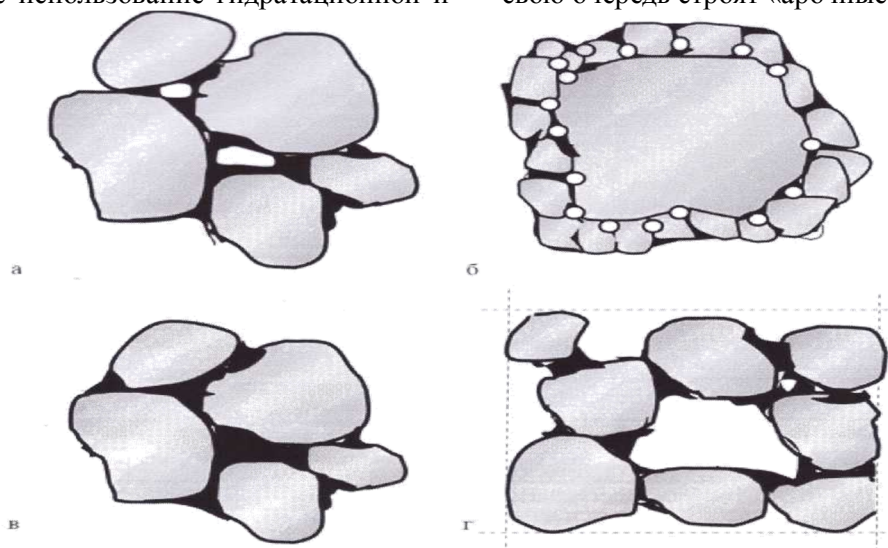


Рис. 3. Капиллярные структуры в дисперсных системах:

а – трехфазная гранула; б – трехфазная глобула; в – двухфазная гранула; г – ячеисто-глобулярная структура

Установление механизма действия капиллярного сцепления позволит оптимизировать и прогнозировать влияние влажности на плотность, связность, реологические и формовочные свойства порошкообразных строительных смесей. Это открывает возможность управления технологическими свойствами сырьевых композиций в производстве бетонных, силикатных, керамических и других строительных материалов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Потапов А.Д., Платов Н.А., Лебедева М.Д. Песчаные грунты: Научное издание. М.: Издательство АСВ, 2009. 256 с.
2. Белов В.В. Капиллярное структурообразование в дисперсных системах, применяемых для производства строительных материалов // Известия Вузов. Строительство. 2002. №9. С. 46–51
3. Kurbatov V.L., Komarova N.D. Analytical modification of seismic effect on the building //

Modern Applied Science. 2015. Т. 9. № 3. С. 10–16.

4. Кафтаева М.В., Рахимбаев Ш.М., Комарова Н.Д., Курбатов В.Л. Термодинамический

анализ реакции образования ксонотлита из известково-кремнеземистого вяжущего при автоклавном твердении // Ползуновский вестник. 2016. № 1. С. 77–81.

---

**Kurbatov V.L., Komarova N.D.**

**DISPERSE RAW MIXES, THEIR FEATURES OF CAPILLARY STRUCTURIZATION**

*In space and in time the structure of any material continuously undergoes changes, to it, in particular, the constant movement of elementary particles, atoms, molecules, interaction of material with the environment promote. For example, almost all construction materials and their raw mixes, at least, at the microlevel, represent the microheterogeneous disperse systems consisting several phases to which number the liquid component belongs. The nature of structure of such systems in many respects is defined by character and size of communications or forces of adhesion between structural elements (microparticles, grains, etc.). Depending on the nature of these communications in disperse systems allocate strong phase contacts in condensation or crystallizational structures of disperse materials, direct atomic contacts in dry powders and rather weak forces of molecular interaction operating between particles through layers of a liquid phase in coagulative structures. Besides the types of interactions and the relevant structures considered above it is necessary to allocate such important interactions as capillary, shown in three-phase (firm - liquid - gas) disperse systems to which the majority raw (concrete, the rastvornykh, silicate, etc.) mixes for production of construction composite materials belongs, for example.*

**Key words:** *disperse systems, structurization, interpartial interaction, humidity, contact zone.*

---

**Курбатов Владимир Леонидович**, доктор экономических наук, профессор.

Северо-Кавказский филиал Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова  
Адрес: Россия, 357202, Ставропольский край, Минеральные Воды, ул. Железноводская, д. 24

**Комарова Наталья Дементьевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры проектирование зданий, городское строительство и хозяйство

Адрес: Россия, 357202, Минеральные Воды, ул. Железноводская, д. 24  
E-mail: natalia.komarova.2014@mail.ru

Константиновская Л.В., ст. препод.,  
Косухин М.М., канд. техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## К ВОПРОСУ О ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СОВМЕСТИМОСТИ РЕМОНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В БЕЗНАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ ПРИ БЕСТРАНШЕЙНОЙ РЕНОВАЦИИ

mkosuhin@mail.ru

Проведены экспериментальные исследования по определению гидравлической совместимости ремонтных материалов при бестраншейной реновации безнапорных водоотводящих трубопроводов, разработана и внедрена в производство экспериментальная установка по исследованию режимов течения жидкости при безнапорном движении для определения гидравлических элементов потока. Показано, что результаты экспериментальных исследований позволяют получать расчетные значения коэффициентов относительной шероховатости для трех видов полимерных труб, которые могут быть использованы в качестве ремонтных материалов для протягивания в старых трубопроводах. Отмечено, что при реновации трубопроводов данным способом необходима забутовка межтрубного пространства, исключающая возникновение волнистости полимерных трубопроводов из-за температурных перепадов и исключающая негативные последствия гидравлики и прочности конструкции.

**Ключевые слова:** безнапорные трубопроводы, бестраншейная реновация, полимерные трубопроводы, межтрубное пространство, шероховатость поверхности трубопровода, зона дестабилизации скоростей в трубопроводе, равнозамедленное движение жидкости, гидравлическая совместимость, скорость течения жидкости в трубопроводе.

**Введение.** Основная причина нынешнего состояния жилищно-коммунального комплекса заключается в том, что с начала экономических реформ в России 1990-х годов инвестиции в основные фонды отрасли были резко сокращены. Это привело к резкому сокращению ремонтов, что в свою очередь увеличило нарастание объемов ветхости и аварийности объектов жизнеобеспечения. По официальным данным около 50 % объектов и инженерных сетей требуют замены, не менее 15 % находятся в аварийном состоянии [1]. Эта тенденция продолжает наблюдаться и в настоящее время. Дефицит инвестиций на проведение ремонтов не покрывает при этом рост аварийности. Кроме того, реконструкция инженерных сетей влечет за собой увеличение объемов работ и соответственно финансирование, связанных с проведением сопутствующих работ по комплексному инженерному благоустройству территорий.

Высокая степень изношенности действующих подземных трубопроводов различного назначения, включая безнапорные водоотводящие сети, является одним из главных источников угроз для социального и экономического развития городов и населенных мест. В этой связи, реновация трубопроводных систем является весьма актуальной.

**Основная часть.** Согласно Федеральному Закону РФ «О водоснабжении и водоотведении» (ФЗ №416) в основе усовершенствования трубопроводных систем должны лежать высокоэффек-

тивные технологии строительства трубопроводов, новые ремонтные материалы, своевременная реновация и модернизация, соответствующие повышенным требованиям к качеству и сохранению количества транспортируемых сред при создании условий, не нарушающих сложившуюся экологическую обстановку.

Неудовлетворительное состояние труб (прежде всего нарушение герметичности) ведет к утечкам в системе канализации, что отрицательно сказывается на здоровье людей, периодически вызывая желудочные отравления из-за проникновения микроорганизмов из сточных вод в подземные горизонты, через которые патогенные микроорганизмы поступают внутрь системы водоснабжения города.

Значительное количество применяемых в городском хозяйстве методов восстановления водоотводящих коллекторов и их многочисленных вариаций также призывает осмыслить наиболее подходящие из них в плане использования на конкретном объекте реновации. В частности, это касается интенсификации процессов эксплуатации трубопроводов, автоматизации выбора метода восстановления для конкретных объектов на основе разносторонней и комплексной сравнительной оценки разнообразных параметров, обнаружение диапазона технических параметров новых ремонтных материалов для наиболее эффективного применения.

Решение стоящих проблем актуально не только при организации реставрации трубопро-

водов, но и их прокладки (нового строительства) в условиях высокой плотности застройки, развитой подземной инженерной инфраструктурой и, тем самым, стесненных условиях производства работ, а также и других «преград» технического, социального и экономического характера. На сегодняшний день существует два основных способа реализации проектов прокладки инженерных коммуникаций – бестраншейный и открытый.

Открытый способ представляет собой достаточно затратный и трудоемкий процесс. Он включает в себя расчистку и подготовку площадки для разработки траншеи, непосредственно само рытье траншеи на необходимую глубину, подготовительные работы для прокладки инженерных коммуникаций (выравнивание дна траншеи, создание песчаной подушки), прокладка труб или кабеля, засыпка траншеи и восстановление дорожного полотна дороги или ландшафтного дизайна. Выше описанная технология работы неэффективна для городских условий, особенно в крупных городах, т.к. оказывает негативное влияние на привычный уклад жителей района, в котором ведутся работы.

На данный момент наиболее перспективным и динамично развивающимся является бестраншейный метод. Он во многом удобнее и эффективнее открытого. Технология бестраншейной прокладки инженерных коммуникаций позволяет сохранять окружающую среду, минимизировать воздействие на ритм жизни горожан, существенно сократить финансовые расходы и уменьшить сроки работ.

Впервые этот инновационный метод появился в США в середине прошлого столетия, но в то время таким способом решались только локальные вопросы – пересечь шоссе, железнодорожную линию и т.д., чтобы протянуть под ними трубопровод длиной несколько десятков метров, т.к. установки были недостаточно управляемыми и не могли преодолевать большие расстояния с необходимой точностью.

В 1964 году строитель М. Черрингтон изготавливает свою первую буровую установку и открывает строительную фирму, специализирующуюся на бестраншейных технологиях. Удачный эксперимент 1972 года на реке Фетер рядом с г. Сакраменто по прокладке трубы новым методом наклонного бурения или бурения по заданной криволинейной траектории, повысил интерес к бестраншейным технологиям и стал активно внедряться в строительство. В конце 70-х – начале 80-х годов США и Европа активно использовали новый метод прокладки инженерных коммуникаций.

В России данный способ начал применяться в 1985 году, началась разработка программы по созданию аналогичного оборудования. В 1987 на заводе «Уралмаш» впервые была разработана и создана установка ГНБ (горизонтально-направленное бурение), но ошибки и излишний оптимизм не позволили наладить их серийное производство.

В настоящее время в связи с объявлением санкций против экономики страны и реализации программы импортозамещения отечественные машиностроители активно соперничают и сотрудничают с зарубежными производителями.

Все это позволяет к повсеместному переходу на бестраншейную реновацию безнапорных водоотводящих трубопроводов. Тем не менее, при производстве работ таким способом необходимо проведение комплекса мероприятий, обеспечивающих бесперебойную работу отремонтированных участков. Особенно это важно на стыках «новых» и «старых» участков.

При проектировании ремонтно-восстановительных работ бестраншейными методами протягивания в старый трубопровод новых, необходимо стремиться к достижению условий гидравлической совместимости участков сети. Для безнапорных сетей эта задача напрямую связана с транспортирующей способностью потока сточной жидкости в водоотводящих трубопроводах, которая в первую очередь определяется расчетной скоростью течения воды, при которой обеспечивается самоочищение труб и коллекторов, а также их наполнением.

Результаты исследований показывают, что чем больше в воде нерастворенных примесей и чем они крупнее, тем большее сопротивление движению будет испытываться потоком [2]. В результате встречаемых потоком сопротивлений твердые частицы переходят из слоя в слой по направлению к лотку. В лотках при недостаточной скорости, вызываемой нарастающей массой взвешенных частиц, могут образовываться донные отложения, уплотняющиеся с течением времени. Необходимо отметить тот факт, что полученные исследователями в разные годы эмпирические формулы для определения незаиливающей скорости характерны в основном для условий транспортирования песка [3].

Попадая с ремонтного (нового) участка, имеющего, как правило, меньшую шероховатость на старый (невосстановленный) с большей шероховатостью, вода начинает терять скорость, т.е. движение жидкости становится равнозамедленным на определенном расстоянии по длине участка пока скорость не достигнет значений, характерных для трубы соответствующей шероховатости. На этом расстоянии (в зоне дестаби-

лизации скоростей) в результате своеобразного торможения (равнозамедленного движения жидкости) может образовываться подпор и осаждаться взвесь с образованием гряд наносов. С течением времени наносы могут перейти в стадию плотных несмываемых отложений. В этом и проявляется дисбаланс работы сети [4].

Если со стороны проектировщиков не предусматриваются соответствующие контрмеры в отношении потенциального гидравлического дисбаланса, то резко возрастет ответственность организаций, занимающихся эксплуатацией водоотводящей сети. В их задачи войдут ликвидация возможных последствий, что, прежде всего, выразится в дополнительных (профилактических) прочистках участков, следующих за восстановленными для своевременного удаления скапливающихся в их донной части плотных несмываемых наносов.

Учитывая эти обстоятельства при разработке проектов ремонтных работ необходимо уделять особое внимание гидравлической совместимости материалов при выборе труб.

Под гидравлической совместимостью при выборе труб для перекладки или реновации старых (изношенных) участков безнапорных труб по условиям проектирования понимается равенство или увеличение скоростей течения жидкости от участка к участку независимо от места расположения ремонтного участка по трассе, что гарантирует исключение подтопления в любой точке трубопроводной сети [5]. Отсюда исследование гидравлических характеристик труб, планируемых к перекладке на ремонтных участках или их восстановлению бестраншейными методами, является составной частью тактики реновации. Проектировщики не имеют данных по гидравлическим характеристикам новых материалов защитных покрытий и вынуждены руководствоваться методиками гидравлических расчетов, прочностными и гидравлическими показателями, представленными производителями труб, что не может являться объективным аргументом в пользу выбора материала трубопровода. В связи с этим возрастает роль экспериментальных гидравлических исследований. Для оценки ситуации необходимо наличие сведений о гидравлических характеристиках труб и ремонтных материалов (например, полимерных защитных покрытий, новых типов полимерных труб и т.д.).

Очевидно, что выбор того или иного материала нового трубопровода должен сопровождаться подбором соответствующей технологии бестраншейного ремонта, к которым, в первую очередь, должны быть отнесены протягивание в старый трубопровод новых труб меньшего диа-

метра [6].

Можно сделать вывод, что в некоторых случаях использование защитных покрытий с большей шероховатостью более экономично и целесообразно.

Нельзя исключать и того факта, что ликвидация гидравлического дисбаланса в областях, близких к стыкам труб из разного материала может достигаться искусственным увеличением длины ремонтного участка, а именно, до места сопряжения с водоотводящим трубопроводом равного или большего диаметра или продления ремонтного участка до ближайшего перепадного колодца.

Все эти условия должны проверяться на этапе проектирования расчетным или экспериментальным путем.

С этой целью для проведения натурных гидравлических экспериментов ГУП «Белводоканал» разработал опытную установку (стенд) по исследованию режимов течения жидкости при безнапорном движении и определению гидравлических элементов потока, выполненную по проекту кафедры строительства и городского хозяйства БГТУ им. В.Г. Шухова (при непосредственном участии автора) и находящуюся по адресу ул. 3-го Интернационала, 40 в г. Белгороде.

Стенд состоит из двух емкостей, расположенных на расстоянии 10 м друг от друга, эстакаду с жестко закрепляемыми на ней тремя параллельными трубопроводами. Эстакада выполнена с возможностью изменения уклона трубопроводов за счет механического домкрата со стопором, обеспечивая диапазон уклонов  $i = 0,001 - 0,035$ .

Емкости оборудованы необходимыми элементами для контроля уровня наполнения, мерным боковым карманом, подающими и переливными трубопроводами, успокоительными перегородками, обеспечивающими стабильность зеркала воды при входе в безнапорные трубопроводы в период проведения экспериментов.

Между двумя точками отбора давлений образован опытный участок длиной 7 м. Для подачи воды из накопительной в промежуточную емкость установлен центробежный насос. Для измерения расхода воды, поступающей из трубопроводов в накопительную емкость, используется ультразвуковой расходомер, в состав которого входят электронный измерительный блок, ультразвуковой преобразователь расхода, представляющий собой участок трубопровода с условным диаметром 65 мм с установленными на нем пьезоэлектрическими преобразователями. Работа на стенде производится по замкнутой (рециркуляционной) системе с забором воды из

накопительной емкости, перекачкой ее насосами в промежуточную и возвратом по трубопроводам в накопительную.

В результате проведения гидравлических экспериментов на прямолинейных участках трубопроводов получают зависимости коэффициента Шези «С» от гидравлического радиуса и расчётные значения коэффициентов относительной шероховатости для трёх видов полимерных труб, которые могут быть использованы в качестве ремонтных материалов для протягивания в старые трубопроводы.

**Выводы.** Таким образом, результаты экспериментальных исследований гидравлической совместимости материалов трубопроводов позволили изучить режимы течения жидкости при безнапорном движении для определения гидравлических элементов потока, которые позволяют получать расчётные значения коэффициентов относительной шероховатости для трех видов полимерных труб, которые могут быть использованы в качестве ремонтных материалов для протягивания в старых трубопроводах. Установлено, что при проведении реновации безнапорных водоотводящих трубопроводов бестраншейным способом необходима забутовка межтрубного пространства, которая позволяет исключить возникновение волнистости полимерных трубопроводов из-за темпера-

турных перепадов и тем самым исключить в них негативные явления с точки зрения гидравлики и прочности отремонтированных конструкций.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Концепция развития теплоснабжения в России, включая коммунальную энергетику, на среднесрочную перспективу – РосТепло. RU [http://www.rosteplo.ru/Npb\\_files/npb\\_shablon.php?id=27](http://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablon.php?id=27)
2. Яковлев С.В., Карелин Я.А. Канализация. М. Стройиздат. 1982. 715 с.
3. Альтшуль А.Д., Калицун В.И., Майра-новский Ф.Г., Пальгунов П.П. Примеры расчетов по гидравлике. М. Альянс С. 2013. 255 с.
4. Храменков С.В., Орлов В.А., Харькин В.А. Оптимизация восстановления водоотводящих сетей. М. Стройиздат. 2002. 185 с.
5. Орлов В.А. Системный анализ состояния и тактика реновации водопроводных и водоотводящих сетей. Автореферат диссертации на соискание ученой степени докт. техн. наук. М.: МГСУ. 2009. 34 с.
6. Орлов В.А., Харькин В.А. Стратегия и методы восстановления подземных трубопроводов. М. Стройиздат. 2001. 95 с.

---

**Konstantinevskaya L.V., Kosuhin M.M.**

## TO THE QUESTION OF HYDRAULIC COMPATIBILITY OF REPAIR MATERIALS IN FREE-FLOW PIPES IN TRENCHLESS RENOVATION

*Experimental studies were conducted in order to determine hydraulic compatibility of repair materials in trenchless renovation of free-flow water outlet pipelines, experimental unit for liquid flow regime investigation during free-flow motion for definition of flow hydraulic element were developed and introduced. It was shown that results of experimental studies allows to receive calculated values of coefficients of relative roughness for three types of polymeric pipes, which can be used as repair materials for pulling in old pipelines. It was observed that during pipelines renewal in such way, it is necessary backfilling of tube space, eliminating formation of polymeric pipelines waviness because of temperature drops and exclusive negative consequences of hydraulics and structural strength.*

**Key words:** free-flow pipes, trenchless renovation, polymeric pipelines, tube space, surface roughness of pipeline, area of velocity destabilization in pipeline, uniformly retarded motion of liquid, hydraulic compatibility, liquid flow velocity in pipeline.

---

**Константиновская Лилия Викторовна**, старший преподаватель кафедры строительства и городского хозяйства.

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

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

E-mail: apalkovaliliya@gmail.com

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

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

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

E-mail: mkosuhin@mail.ru

Абсиметов В.Э., д-р техн. наук, проф.,  
Востров В.К., д-р техн. наук, проф.,  
Абсиметов М.В., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## НЕКОТОРЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КАСПИЙСКОГО ШЕЛЬФА И АВТОКОЛЕБАНИЯ МОРСКИХ СТАЦИОНАРНЫХ НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

kafedrasigsh@mail.ru

Приведен динамический анализ взаимодействия ледовых полей с морскими и шельфовыми нефтегазопромысловыми сооружениями, основой которого являются условия возникновения и развития автоколебаний с использованием одномерных математических моделей колебаний сооружений. Определяются динамические ледовые нагрузки на сооружения и анализируются условия установления автоколебаний наряду с определением их параметров. Предлагаются рекомендации по совершенствованию международного стандарта ISO 19906 и СНиП РК 3.04-40-2006.

**Ключевые слова:** колебания, автоколебания, устойчивость, ледовые нагрузки, ледостойкие сооружения, контактные воздействия льда.

Значительное расширение работ на шельфе Каспийского моря, связанных с поиском, разведкой и освоением морских нефтяных и газовых месторождений, приводит к острой необходимости разработки современных международных, межгосударственных и национальных нормативно-технических документов регламентирующих проектирование, строительство, эксплуатацию и ликвидацию морских стационарных нефтегазопромысловых сооружений (МСНС), где определяющими при расчете нефтегазопромысловых сооружений, являются нагрузки, вызванные воздействием льда.

Существо проблемы ледовых нагрузок определяется тем, что и сами нагрузки, и движение сооружения являются результатом контактного взаимодействия льда, сооружения и механизма разрушения ледовых образований [1, 2]. Незатухающие колебания в механических системах формируются обычно возмущающими воздействиями периодического характера. Однако, в ряде случаев незатухающие колебания могут поддерживаться за счет источников энергии, не обладающих колебательными свойствами. Подобные случаи возникают, например, при рассмотрении явлений флаттера конструкции в потоке воздуха, автоколебания квазилинейных систем с сухим трением и др. [3–5]. Аналогично обстоит дело при воздействии ледовых образований и, в частности, полей ровного движущегося льда на нефтегазопромысловые сооружения с вертикальной передней гранью в зоне контакта. Развивающиеся при воздействии льда контактные силы, так же, как и при флаттере носят периодический характер, но эта периодичность не задана наперед, а возникает в результате колебаний платформ (верхних строений нефтега-

зопромысловых сооружений), где источник энергии колебаний – ледяное поле (образование) имеет постоянную скорость.

### Ледовые нагрузки и условия возникновения автоколебаний

Возможность возникновения автоколебаний платформ тесно связана со свойствами ледовых нагрузок, т.е. с характеристиками зависимости ледовой нагрузки  $G$  от скорости  $V$  ледяного поля, надвигающегося на неподвижное сооружение. Эта зависимость должна иметь как участок роста нагрузки  $G$  с ростом скорости  $V$ , где  $G'(V) > 0$  при  $0 \leq V < V_*$ , так и участки постоянства и падения нагрузки при  $V > V_*$ , т.е.  $G'(V) = 0$  и  $G'(V) < 0$ . Убедимся в том, что причину автоколебаний платформ нужно связывать с существованием ниспадающего участка зависимости  $G(V)$  и некоторых характерных точек этой зависимости.

В состоянии покоя на массу  $m$  платформы действуют две силы: контактная сила  $G=G(V)$  соответствующая скорости  $V$  ледяного поля и восстанавливающая сила –  $c y$  со стороны опорного блока платформы, где  $c$  – коэффициент жесткости опорного блока,  $y$  – статическое смещение массы  $m$  платформы. В общем случае восстанавливающая сила нелинейная и записывается в виде  $c(y)$ , где  $c(0)=0$ .

Если состояние покоя платформы каким-либо образом нарушено, то последующее движение будет описываться дифференциальным уравнением

$$G(V - \dot{y}) - \gamma \dot{y} - c(y) = m\ddot{y}, m = W/g, \quad (1)$$

где  $\gamma$  – коэффициент вязкости (демпфирования), учитывающий силу сопротивления при колебаниях опорного блока платформы в воде,  $W$  – вес

верхнего строения,  $y$  – отклонение центра тяжести платформы от положения равновесия  $y = 0$ .

$$G(V - \dot{y}) \approx G(V) - G'(V)\dot{y} + G''(V)\dot{y}^2/2 - G'''(V)\dot{y}^3/6 \quad (2)$$

и уравнение движения (1) переписывается в виде нелинейного уравнения, описывающего колеба-

Для малой скорости  $\dot{y}$  платформы можно принять

ния платформы вблизи положения равновесия с учетом различного числа членов разложения (2):

$$\ddot{x} + f(\dot{x}) + f_v(x) = 0 \quad (3)$$

где

$$F(\dot{x}) = 2n\dot{x} - q_2\dot{x}^2 + q_3\dot{x}^3, f_v(x) = (c(x + y_{\text{ст}}) - G(V))/m \quad (4)$$

$$x = y - y_{\text{ст}}, 2n = (\gamma + q)/m, \rho^2 = c'(y_{\text{ст}})/m$$

$$q_2 = G''(V)/(2m), q_3 = G'''(V)/6m, q = G'(V)$$

Значение  $y_{\text{ст}}$  статического положения равновесия является корнем уравнения  $c(y) = G(V)$  если  $c(y)$  возрастающая функция положения платформы  $y$  и  $c'(0) < G'(0)$ . Для линейной восстанавливающей силы  $f_v(x) = \rho^2 x$ ,  $\rho^2 = c/m$ ,  $y_{\text{ст}} = G(V)/c$ .

На восходящих и нисходящих участках зависимости  $G(V)$  ледовой нагрузки  $q \neq 0$  и в уравнении (3) можно пренебречь квадратичным и кубичным слагаемыми и (3) превращается для линейной восстанавливающей силы в классическое линейное однородное уравнение.

$$\ddot{x} + 2n\dot{x} + \rho^2 x = 0, \quad (5)$$

описывающее колебания сооружения с демпфированием вблизи положения равновесия  $y_{\text{ст}}$ .

Решение уравнения (5) описывает периодические затухающие колебания около положения равновесия  $y = y_{\text{ст}}$  с частотой  $\rho_1/2\pi$  (периодом  $T = 2\pi/\rho_1$ ), где  $\rho_1^2 = \rho^2 - n^2$ , если  $n < \rho$  и затухающие аperiodические движения к положению равновесия, если  $n \geq \rho$ .

Противоположное явление – возрастание амплитуд колебаний или аperiodического движения может происходить, если скорость  $V$  ледяного поля расположена на ниспадающем участке зависимости  $G(V)$ . Здесь производная  $G'(V)$  отрицательна и параметр  $q < 0$ , т.е. в системе появляется отрицательное затухание и колебания при  $q < -\gamma < 0$  будут происходить с увеличением амплитуд или платформа будет удаляться от положения равновесия при аperiodическом движении.

Таким образом, при  $V < V_*$  (восходящий и постоянный участки характеристики  $G(V)$ ) колебания платформы оказываются затухающими, а при  $V > V_*$  (падающий участок характеристики) колебания и аperiodические движения платформы оказываются возрастающими. Здесь  $V_*$  – абсцисса точки начала ниспадающего участка характеристики  $G(V)$ . Это значение ско-

рости можно назвать предельной скоростью ледяного поля.

Аналогично задаче о флаттере [4] для устойчивости колебаний платформы необходима скорость ледяного поля меньшая предельной, т.е.  $V < V_*$ .

Проведенный анализ устойчивости движения платформы под действием ледовых нагрузок весьма неполон. Неполнота исследования, сведенная к одномерным колебаниям, заключается в том, что вследствие линеаризации, как и в задаче о флаттере, установлены лишь условия, при выполнении которых могут возникнуть автоколебания. Однако ответа на вопрос о параметрах установления и установившегося автоколебательного процесса не получено.

В точке максимума  $V = V_*$  ледовой нагрузки  $G(V)$  параметр  $q = 0$ , а параметр  $q_2 < 0$ . При  $V > V_*$  коэффициент  $n$  может обратиться в нуль, и уравнение (3) для малых колебаний приводится при  $q_3 = 0$  к линейному уравнению относительно квадрата скорости, исследованному в [3, 5, 6]. Но, тем не менее, для исследования качественного поведения решений нелинейных уравнений (1), (3) воспользуемся теоремой Пуанкаре-Бендиксона [6].

#### Анализ колебаний ледостойких сооружений с вертикальной передней гранью на основе теоремы Пуанкаре-Бендиксона

Фазовую плоскость автоколебательных системы всегда можно разделить на области возрастающих и убывающих колебаний, разграниченных предельными циклами. Поэтому периодические движения автоколебательных систем возможно только при совершенно определенных значениях амплитуд.

Таким образом, для определения возможности возбуждения автоколебания, описываемых уравнениями (1), (3) и их устойчивости (неустойчивости) необходимо для ледовой нагрузки  $G(V)$  выяснить условия существования предельных циклов. Ответ на этот вопрос дается с



помощью теоремы Пуанкаре-Бендиксона [6]. Существование единственного предельного цикла для уравнения (3) связано с двумя ограничениями, накладываемыми на ледовую нагрузку  $G(V)$  и коэффициент  $\gamma$  демпфирования колебаний в воде.

Для существования единственного предельного цикла уравнения (1) требуется [6], чтобы производная по переменной  $\dot{x}$  функции

$$F(\dot{x}) = \frac{\gamma}{m} \dot{x} - \frac{1}{m} [G(V - \dot{x}) - G(V)] \quad (6)$$

была четной и непрерывной вместе со своей производной. Кроме того, требуется существование такого положительного числа  $B > 0$ , что при  $0 < \dot{x} < B$  функция  $F(\dot{x})$  была отрицательной, а при  $\dot{x} > B$  была положительной и монотонно возрастающей. В этих условиях, накладываемых на  $F(\dot{x})$  и ее производную, начало координат  $x = \dot{x} = 0$  (положение равновесия,  $y = y_{ст}$ ,  $\dot{y} = 0$ ) представляет собой неустойчивое положение равновесия, и существует единственный предельный цикл  $\Gamma$ . Всякая фазовая траектория, начинающаяся внутри кривой  $\Gamma$ , стремится к предельному циклу изнутри. Для начальных условий, расположенных вне кривой  $\Gamma$ , фазовая траектория также стремится к предельному циклу при  $t \rightarrow \infty$ . То есть независимо от начальных условий система стремится к единственному режиму периодических незатухающих колебаний, представляющих собой режим автоколебаний.

Для нелинейного уравнения (3), с учетом разложения в ряд Тейлора функции  $F(\dot{x})$  и удерживания первых трех членов разложения, получается приближенное представление в виде кубической параболы (4). Условия существования единственного устойчивого в большом предельного цикла (режима автоколебаний) сводятся к требованию четности производной от функции  $F(\dot{x})$ , т.е.  $q_2 = 0$  и тому, что параметр  $B$  определяется положительным корнем кубического уравнения

$$x(2n + 3q_3x^2) = 0 \quad (7)$$

Это уравнение имеет три корня – один нулевой и два – действительных кратных  $x_k^2 = -2n/(3q_3)$ , если  $2n/(q_3) < 0$ . Следовательно, параметр  $B > 0$  существует и равен

$$B = -2n/(3q_3), \text{ если } 2n/(q_3) < 0 \quad (8)$$

Если существует такая скорость  $V_2$  ледового поля, что одновременно

$$2n(V_2) = q_3(V_2) = 0, \quad \lim_{V \rightarrow V_2} 2n/q_3 = D_q$$

и коэффициент  $D_q < 0$ , то параметр  $B$  также существует и равен  $B = |D_q|$ .

Таким образом, для существования ненулевого предельного цикла-автоколебаний с ненулевой амплитудой достаточно выполнению двух условий.

$$G''(V) = 0, \quad (\gamma + G'(V))/q_3 < 0 \quad (9)$$

первое из которых определяют точку перегиба  $V = V_p$  на ниспадающей ветви ледовой нагрузки, где  $V_p > V_*$ .

Таким образом, уравнение (3) с кубической зависимостью (4) обладает единственным предельным циклом при выполнении условий (9). Движение, описываемое этим уравнением, стремится к некоторому периодическому колебанию (автоколебаниям), но амплитуда предельных колебаний остается неизвестной и подлежит дополнительному определению, например, методом гармонического баланса или методом Вандер-Поля [3–5].

#### Анализ международных и национальных норм по определению статических и динамических ледовых нагрузок на ледостойкие сооружения

Ввиду того, что возникновение автоколебаний ледостойких сооружений экспериментально и натурно установленный факт, проведем краткий анализ того, как действующие и вводимые международные и национальные стандарты определяют статические и динамические ледовые нагрузки на морские и шельфовые нефтегазопромысловые сооружения, а также отклик этих сооружений на ледовые нагрузки.

В СНиП 2.06.04-82\* [8] и СНиП РК 3.04-40-2006 [9] определяются статические ледовые нагрузки на неподвижные сооружения, и они либо не зависят от скорости ледового поля, либо ей пропорциональны. Это означает, что ниспадающая ветвь зависимости  $G(V)$  отсутствует и определить автоколебания нефтегазопромысловых сооружений под действием ледовых нагрузок в соответствии с указанными нормами не представляется возможным.

Международный стандарт ISO 19906:2010(E) [7] и окончательная редакция проекта идентичного ему стандарта РФ ГОСТ Р ИСО 19906 [10] содержат разделы, определяющие общие, перпендикулярные плоскости контакта нагрузки при дроблении равного или наложенного льда в зоне контакта (ватерлинии) жестких конструкций с вертикальными стенами.

В приложении А приводится формула для одноосной прочности льда в зависимости от скорости нагружения  $\dot{\epsilon}$  и общей доли  $V_T$  свободного объема (рассол и воздух)

$$\sigma_c = A_s \dot{\epsilon}^{0,22} \quad (10)$$

в которой коэффициент  $A_s$  различен для направлений нагружения столбчатого и гранулированного льда.

Диапазон скоростей деформации, на который распространяется данная формула, изменяется от  $\dot{\epsilon} = 10^{-7}$  до  $\dot{\epsilon} = 10^{-3}$  1/сек. Учитывая, что скорость деформации  $\dot{\epsilon} = 10^{-3}$  соответствует максимальной прочности льда на сжатие, получаем, что зависимость ледовой нагрузки от скорости ледового поля  $V$ , построенная по формуле (10), содержит только восходящую ветвь с максимальным значением и не содержит ни участка постоянства, ни ниспадающей ветви. А это, как показано выше, означает, что определить колебания (автоколебания) нефтегазопромысловых сооружений под действием ледовых нагрузок в соответствии со стандартами [7, 10] возможно только с использованием предположений о поведении зависимости (10) при  $\dot{\epsilon} > 10^{-3}$ .

В приложении А стандартов [7, 10] кроме статических ледовых нагрузок приведен раздел по динамическим ледовым воздействиям, в том числе на вертикальные конструкции. Руководящие указания этого раздела основаны большей частью на данных измерений полномасштабной модели узких конструкций и включают периодическое дробление льда, вибрации с захватом частоты (резонансные автоколебания) и случайные вибрации при непрерывном дроблении льда. При этом основной целью динамического анализа ледовых нагрузок и отклика на них сооружения считается уход от захвата частоты конструкции (резонансных автоколебаний).

Наряду с описанием эффектов взаимодействия льда с сооружениями на рис. А.8.22 [7, 10] показана идеализированная диаграмма динамики ледовых нагрузок, вызванных периодическим дроблением льда. На рис. А.8.23 показана предполагаемая динамика ледовой нагрузки в условиях захвата частоты конструкцией (резонансных автоколебаний) для определения реакции конструкции при вибрациях. Идеализированные графики ледовой нагрузки в условиях захвата частоты (резонансных автоколебаний) имеют пилообразный характер с линейной нагрузкой и почти вертикальной разгрузкой в течение одного периода  $T$ .

В Российских актуализированных нормах СП 38.13330.2012 [11] определяется нагрузка от воздействия движущихся ледовых полей на сооружения с вертикальной передней гранью по формулам (50)–(53) раздела 7. При этом, в отличие от международного стандарта [7] и идентичного ему окончательного проекта Российского национального стандарта ГОСТ Р ИСО

19906:2014 [10] статические нагрузки зависят от скорости  $V$  ледового поля и имеют как возрастающую ветвь нагрузки, так и ее ниспадающий участок.

В формулы свода правил [11] входит коэффициент  $k_V$ , зависящий от размерного параметра  $\dot{\epsilon}_e$  – эффективной скорости деформации льда в зоне его взаимодействия с опорой, где  $\dot{\epsilon}_e = V/(bk_e)$ ,  $b$  – ширина опоры по фронту на уровне действия льда,  $k_e$  – безразмерный коэффициент, зависящий от параметра  $\lambda$ , значения которого так же, как и коэффициента  $k_V$  приведены в таблице 19, причем  $2 \leq k_e(\lambda) \leq 4$ . Здесь важно отметить, что коэффициент  $k_V(\dot{\epsilon})$  сначала возрастает при  $\dot{\epsilon} \geq 10^{-7}$  от значения  $k_V = 0,1$  до 1 при  $\dot{\epsilon} \geq 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-4}$ , затем монотонно убывает до значения  $k_V = 0,3$  при  $\dot{\epsilon} \geq 10^{-2}$ , т.е. содержит точку перегиба в ниспадающей зоне.

#### Выводы:

Ввиду того, что скорости ледовых полей в районах расположения шельфовых и морских нефтегазопромысловых сооружений Каспийского моря не регулируются и могут превышать предельные скорости, вызывающие автоколебания, необходимо проведение динамического анализа взаимодействия льда с проектируемой конструкцией. Динамический анализ, проводимый на основе нелинейных моделей колебания сооружений, требуется не для исключения возможности возникновения автоколебания, как предусмотрено международном стандарте в [7], а для учета их в качестве аварийной расчетной ситуации при проектировании строительных конструкций.

1. Причиной возникновения самовозбуждающихся колебаний (автоколебаний) морских и шельфовых ледостойких нефтегазопромысловых сооружений с вертикальной передней гранью в зоне контакта со льдом является нелинейная зависимость ледовой нагрузки  $G$  от скорости ледового поля  $V$ , надвигающегося на сооружение, имеющая участки роста и участки падения нагрузки с ростом  $V$ . Одномерное уравнение, описывающее горизонтальные колебания сооружения под действием ледовой нагрузки, будет нелинейным, и режим автоколебаний возникает при скорости ледового поля большей предельной, соответствующей ниспадающему участку зависимости  $G \sim V$ .

2. В СНиП 2.06.04-82\*, СНиП РК 3.04-40-2006 определяются ледовые нагрузки на неподвижные сооружения, и они либо не зависят от скорости ледового поля, либо ей пропорциональны. Это значит, что ниспадающий участок зависимости  $G(V)$  отсутствует и определить автоколебания нефтегазопромысловых сооружений при воздействии ледовых нагрузок в соот-

ветствии с указанными нормами невозможно. В международном стандарте ISO 19906:2010(E) [7] содержится только возрастающая ветвь нагрузки  $G(V)$  и указывается максимальное значение этой нагрузки, но ниспадающая ветвь отсутствует.

3. В Российских актуализированных нормах СП 38.13330.2012 определяется нагрузка от воздействия движущихся ледовых полей на сооружения с вертикальной передней гранью. При этом, в отличие от стандартов [7, 10] статические нагрузки зависят от скорости ледового поля и имеют как возрастающую ветвь нагрузки, так и постоянный и ниспадающий участки. Следовательно, в соответствии с нормами [11] возможно определение автоколебаний нефтегазопромысловых сооружений и их параметров, а также динамических ледовых нагрузок.

4. Для пересмотра норм СНиП РК 3.05-27-2004 по проектированию, строительству и эксплуатации морских стационарных нефтегазопромысловых сооружений (МСНС) в северной части Каспийского моря и внутренних водоемах Республики Казахстан необходимо пересмотреть (актуализировать) СНиП РК 3.04-40-2006 на основе гармонизации с СП 38.13330.2012 путем введения возрастающей и ниспадающей ветвей зависимости  $G \sim V$ , а также для удовлетворения норм по оценке воздействия общей вибрации на обслуживающий персонал и оборудование [12].

5. Для применения международного стандарта ISO 19906:2010(E) для проектирования, строительства и эксплуатации МСНС в Каспийском море и внутренних водоемах Республики Казахстан необходим его пересмотр с учетом введения требования по учету аварийной ситуации – возникновения автоколебаний, а также введения ниспадающей ветви зависимости «ледовая нагрузка – скорость надвигающегося на сооружение ледового поля». Кроме того, вместо предположений о характере динамических ледовых нагрузок вызывающих вибрации конструкций, принятых в [7] необходимо теоретическое решение задачи о возникновении автоколебаний, и как следствие, определение динамиче-

ских ледовых нагрузок, вызывающих автоколебания.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Востров В.К., Береснев А.В. Актуализация СНиП 2.06.04-82\* и некоторые строительные проблемы освоения Российского шельфа // Промышленное и гражданское строительство. 2011. №9. С. 60-64.
2. Салганик Е.А., Шхинек К.Н. Использование преобразований Фурье для анализа колебаний морских сооружений под действием льда // Материалы международной научно-практической конференции. ч.1– СПб: изд-во политехн. Ун-та, 2011, С. 25–26.
3. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. М.: Наука, 1981, 568 с.
4. Пановко Я.Г., Губанова И.И. Устойчивость и колебания упругих систем. М.: Наука, 1967, 418 с.
5. Магнус К. Колебания. Введение в исследование колебательных систем. М.: Мир, 1982, 304с.
6. Парс Л.А. Аналитическая динамика. М.:Наука,1971,635 с.
7. ISO 19906:2010 (E). Промышленность нефтяная и газовая. Арктические морские сооружения.
8. СНиП 2.06.04-82\* Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов).
9. СНиП РК 3.04-40-2006. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов).
10. ГОСТ Р ИСО 19906:2014. Промышленность нефтяная и газовая. Арктические морские сооружения.
11. СП 38.13330.2012. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Актуализированная редакция СНиП 2.06.04-82\*.
12. ISO 6897-1984. Руководство по оценке воздействия низкочастотного горизонтального движения (от 0,063 до 1 Гц) на лиц, находящихся в стационарных конструкциях, в частности в зданиях и прибрежных сооружениях.

Absemetov V.E., Vostrov V.K., Absemetov M.V.

## SOME CONSTRUCTION PROBLEMS OF THE CASPIAN SHELF AND OSCILLATIONS OF FIXED OFFSHORE OIL AND GAS STRUCTURES

*An analysis of the dynamic interaction between ice floes with the marine and offshore oil and gas field facilities, which are the basis of the conditions of occurrence and development of self-oscillation using a one-dimensional mathematical model of oscillations facilities. Determined by dynamic ice loads on structures and analyzed the conditions for establishing self-oscillations along with the definition of their parameters. Offers recommendations for improving the international standard ISO 19906 and SNIP RK 3.04-40-2006.*

**Key words:** vibrations, oscillations, stability, ice loads, ice-resistant structures, contact the effects of ice.

**Абсиметов Владимир Эскендерович**, доктор технических наук, профессор кафедры строительства и городского хозяйства

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

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

E-mail: kafedrasigsh@mail.ru

**Востров Владимир Кузьмич**, доктор технических наук, профессор, зав. лабораторией.

ЗАО «ЦНИИПСК им. Мельникова»

Адрес: Россия, Москва, ул. Архитектора Власова, 49.

**Абсиметов Максим Владимирович**, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

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

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

DOI: 10.12737/23295

Смоляго Г.А., д-р техн. наук, проф.,  
Дрокин С.В., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
Белоусов А.П., заместитель директора по техническим вопросам,  
Пушкин С.А., начальник отдела обследования зданий и сооружений  
ООО «Строительная экспертиза»

## ОБСЛЕДОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО РЕЗЕРВУАРА ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ЧИСТОЙ ВОДЫ

drokin\_sergey@mail.ru

*В процессе ввода в эксплуатацию возникла необходимость в обследования резервуара для хранения чистой воды на предмет соответствия требованиям действующих нормативных документов и рабочего проекта. Были выявлены многочисленные дефекты, в том числе косослой бетона, многочисленные рабочие слои бетона, выполненные без предварительной подготовки поверхности затвердевшего (схватившегося) предыдущего слоя бетона. Был выполнен расчет резервуара без учета дефектов (согласно проекта) и с учетом рабочих швов бетонирования. Произведен анализ результатов расчетов. Выполнен анализ влияния дефектов на прочностные и эксплуатационные характеристики конструкций резервуара.*

**Ключевые слова:** обследование конструкций, рабочие швы бетонирования, долговечность, прочность, дефекты железобетонных конструкций.

На завершающем этапе строительства (в процессе ввода в эксплуатацию) возникла необходимость в установлении соответствия возведенных конструкций и выполненных работ требованиям проекта и действующих нормативных документов, определения и выявления возникших дефектов и повреждений конструкций в процессе их возведения и их влияние на несущую способность отдельных конструкций резервуара, на его долговечность и пригодность к эксплуатации.

В этой связи была проведена комплексная экспертиза монолитных железобетонных конструкций резервуара с контролем наличия и влияния имеющихся дефектов и повреждений, строительных недоделок, отступлений от требований проекта и действующих норм на эксплуатационные качества конструкций и сооружения в целом.

Резервуар объемом 500 м<sup>3</sup>, предназначенный для приема регенерационного раствора и промывочной воды фильтров станции очистки карьерных вод, имеет прямоугольную форму с размерами в плане 12,0×12,0 м и высотой 3,6 м, частично заглубленный, с обсыпкой грунтом, обеспечивающей необходимый уровень теплоизоляции.

Все конструкции резервуара выполнены монолитными железобетонными. Бетон конструкций (согласно проекту) класса по прочности на сжатие В25; марками по морозостойкости F100 и водонепроницаемости W4. Толщина днища - 400 мм, с предусмотренной подготовкой из бетона класса В7,5. Уклон по днищу создается цементно-песчаным раствором марки

M100. Стены резервуара выполнены толщиной 300 мм, сечение колонн – 400×400 мм. Перекрытием резервуара служит монолитная железобетонная ребристая плита с шагом балок 3,0 м. Ширина поперечного сечения балок перекрытия – 400 мм, высота – 500 мм. Толщина плиты перекрытия – 250 мм.

В результате инструментального обследования монолитных железобетонных стен резервуара было установлено, что среднее значение прочности бетона в испытываемых зонах железобетонных конструкций в большинстве случаев соответствуют проектным значениям.

В процессе проведения обследования были выявлены дефекты и повреждения как с наружной стороны, так и с внутренней стороны монолитных стен резервуара, а также отступления от проекта. К числу имеющихся повреждений относятся:

- шероховатые участки и участки, имеющие «рваную» бетонную поверхность;
- наплывы бетона;
- многочисленные участки с неоднородной пористой структурой бетона, пустоты, поры, раковины, отмечены также такие дефекты структуры, как пустоты и полости под зернами крупного заполнителя и стержнями арматуры;
- непровибрированные участки с образованием каверн;
- щербистость поверхности бетона;
- отклонение геометрических размеров конструкций резервуара из-за смещения (прогиба) опалубки;

— отклонения от проектных величин прочности бетона на отдельных участках конструкций;

— непроектная (сниженная) величина защитного слоя бетона;

— шаг и диаметр арматуры, определенные неразрушающим методом контроля, а также при выборочном вскрытии локальных зон (местах наибольших дефектов бетонирования) не соответствуют требованиям проекта.

Характерные дефекты стен железобетонного резервуара представлены на рис. 1.



Рис. 1. Характерные дефекты стен железобетонного резервуара

При проведении обследования колонн резервуара было отмечено устройство рабочих швов по их высоте (не в уровне перекрытия), причем поверхность рабочих швов, устроенных при укладке бетонной смеси с перерывами, не перпендикулярна оси бетонируемых колонн.

Стены резервуара имеют многочисленные косослой бетона, дефектные холодные швы бетонирования, образующиеся при укладывании без предварительной подготовки поверхности на затвердевший (схватившийся) предыдущий слой бетона последующего слоя бетонной смеси. Необходимо отметить, что зона шва становится предварительно напряженной вследствие того, что холодные швы являются границей, на которой происходит превращение усадочных напряжений сжатия в напряжения растяжения. Релаксация напряжений растяжения, реализующихся в виде микротрещин, приводит к тому, что зона стыка имеет меньшую плотность и прочность, по сравнению с монолитным бетоном, что приводит к снижению прочности в зоне рабочего шва по сравнению с исходной прочностью бетона [3, 4, 5]. Это способствует снижению морозостойкости, водонепроницаемости и ухудшению внешнего вида конструкций.

Согласно действующим нормативным документам [1], расчетные схемы строительных объектов должны отражать действительные условия их работы, включая возможные геометрические и физические несовершенства, а также в монолитных железобетонных конструкциях должна быть обеспечена прочность конструкции с учетом рабочих швов бетонирования [2].

На стадии проектирования при статическом расчете резервуара жесткость всех конструкций резервуара принималась постоянной, рабочие швы бетонирования не учитывались. Они фактически являются пластическими шарнирами, снижающими общую статическую неопределимость, жесткость резервуара, значительно влияющими на усилия в конструкциях и изменение их при эксплуатации.

Расчет резервуара производился для двух случаев: без учета дефектов (согласно проекту) и с учетом дефектов (с учетом рабочих швов бетонирования) в ПК Лира.

Общий вид расчетной схемы без учета рабочих швов бетонирования представлен на рис. 2, с рабочими швами бетонирования – на рис. 3. Мозаика расчетного армирования стен при расчете без учета и с учетом швов бетонирования приведены на рис. 4, 5.

- горизонтальные швы бетонирования в стенах приводят к уменьшению изгибающих моментов относительно местной оси  $X$  в середине высоты стен и к увеличению изгибающих моментов вверху и внизу стен, а также растягивающей продольной силы по местной оси  $X$  (практически вдоль швов бетонирования) в стенах;

- горизонтальные швы бетонирования в стенах приводят к увеличению продольной растягивающей силы в фундаментной плите, балках и плите перекрытия;

- при наличии швов бетонирования прочность стен обеспечена;

- при наличии швов бетонирования прочность фундаментной плиты не обеспечена, перенапряжение составляет 8%;



- при наличии швов бетонирования прочность перекрытия обеспечена;

- осадка резервуара не превышает предельного значения, разность осадок для данного сооружения не регламентируется.

Собственный вес

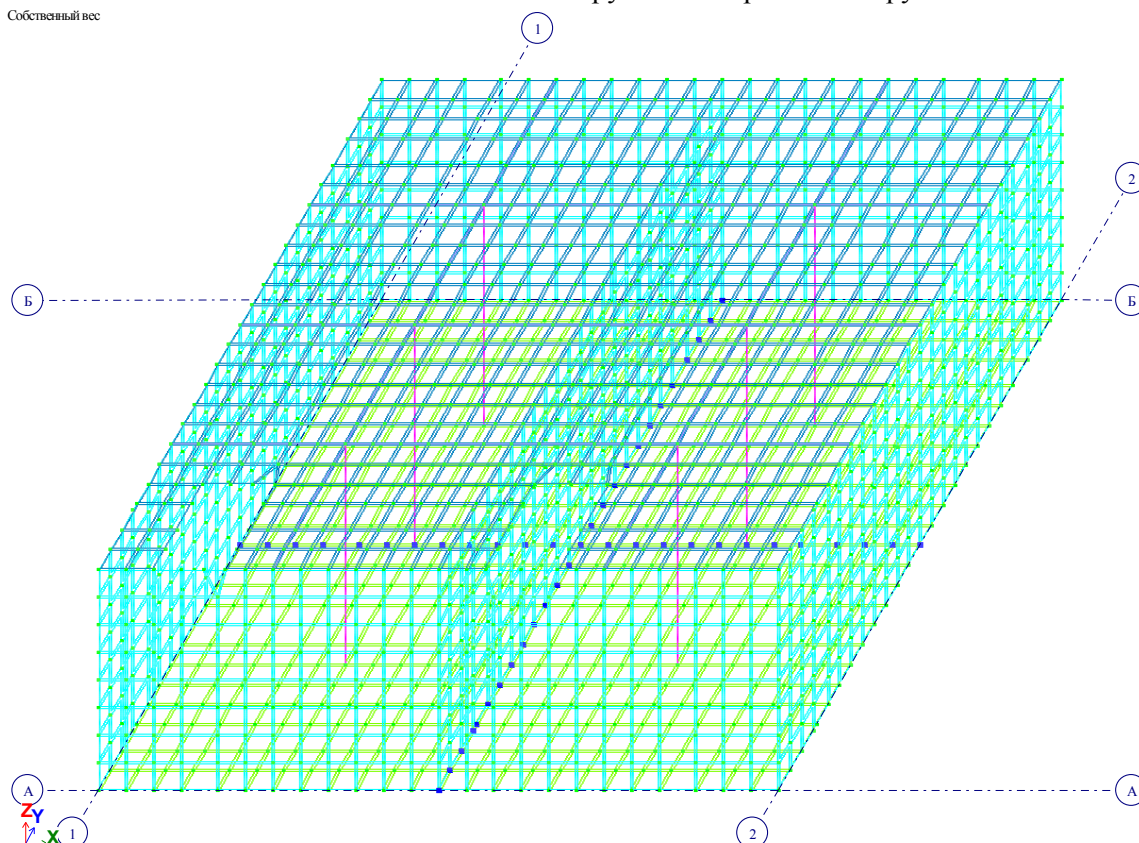


Рис. 2. Общий вид расчетной схемы без учета рабочих швов бетонирования

Собственный вес

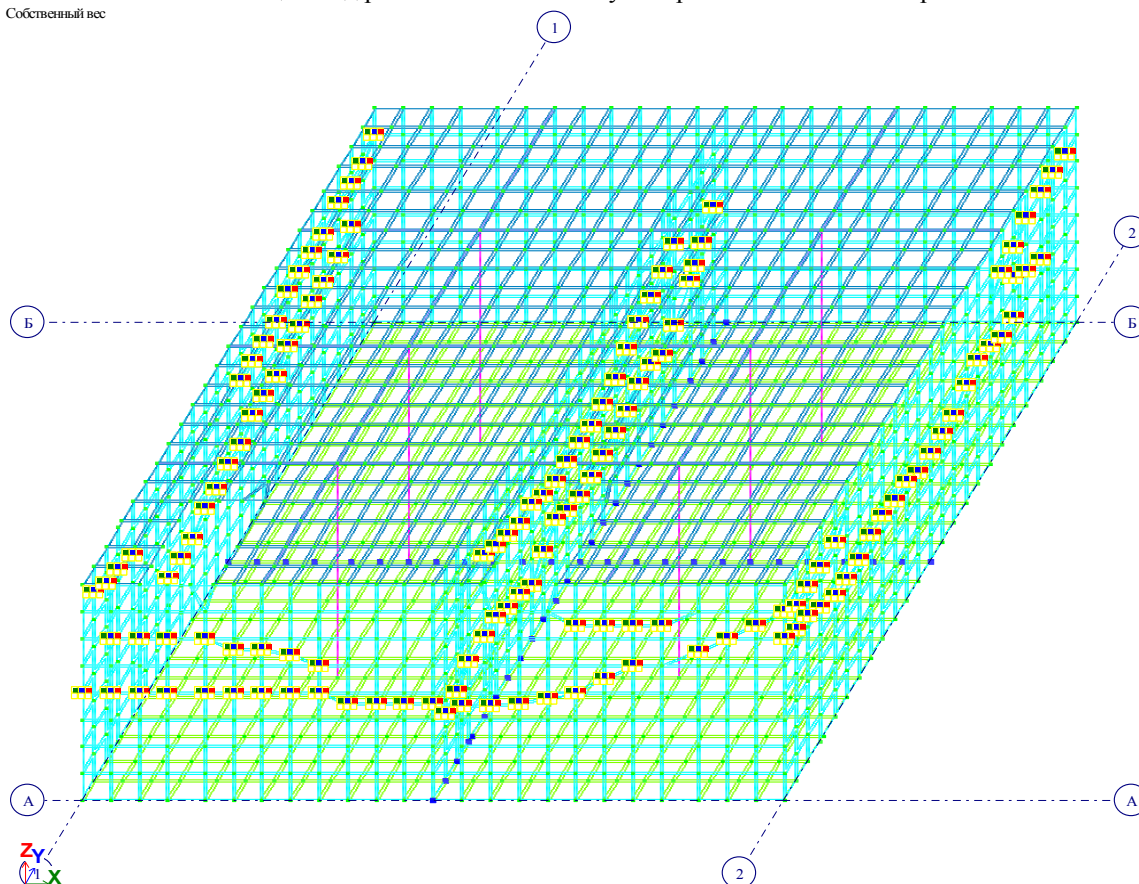


Рис. 3. Общий вид расчетной схемы с учетом рабочих швов бетонирования

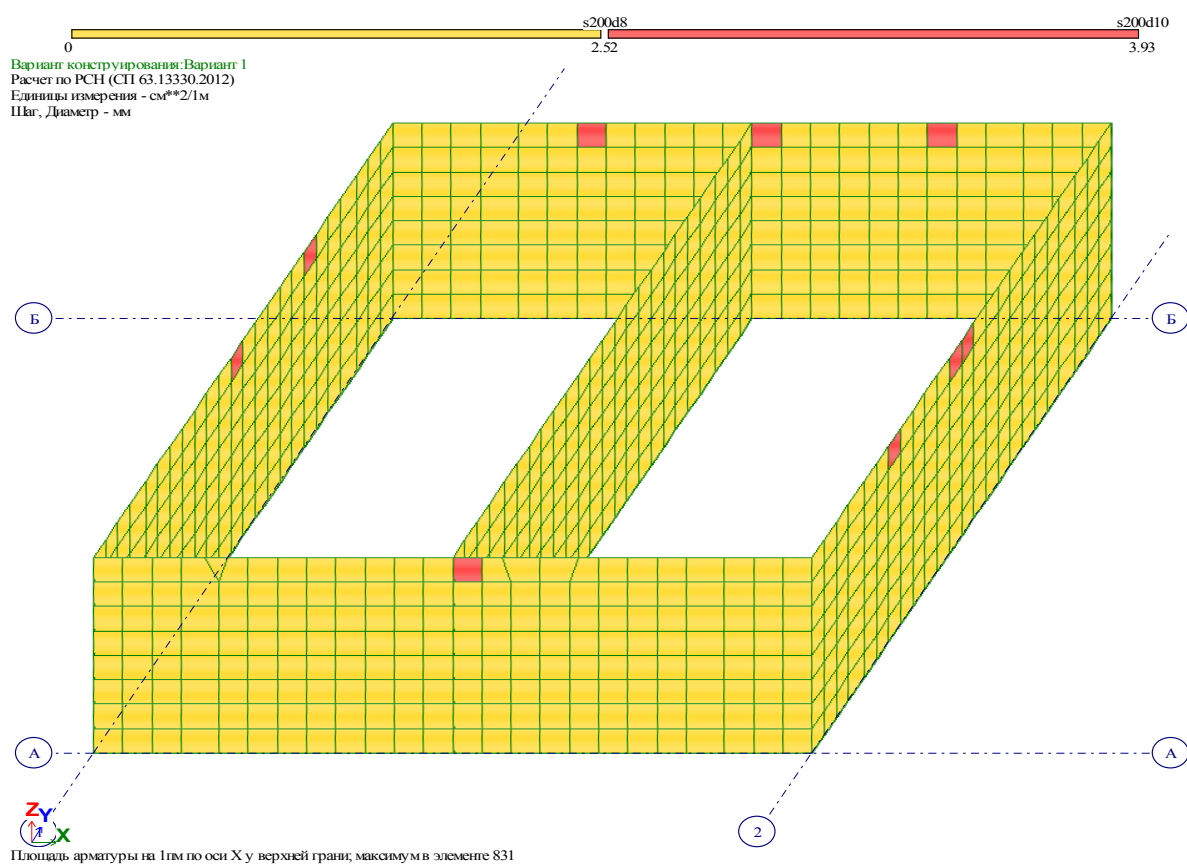


Рис. 4. Площадь армирования по внешней грани стен по оси X (рабочие швы бетонирования отсутствуют)

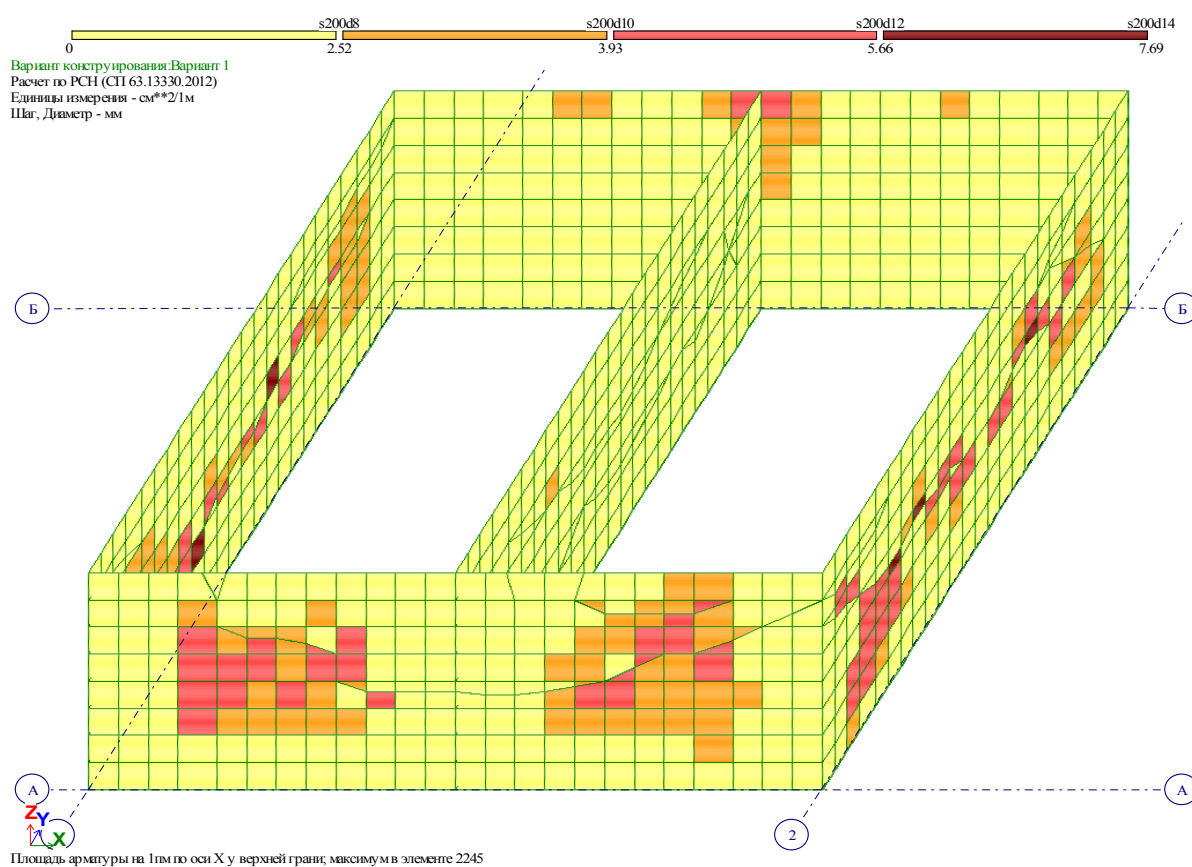


Рис. 5. Площадь армирования по внешней грани стен по оси X (при наличии рабочих швов бетонирования)



На основании приведенных результатов расчетов можно сделать следующие выводы:

- при возведении резервуара без рабочих швов бетонирования прочность конструкций резервуара обеспечена с существенным запасом;

На момент проведения обследования строительно-монтажные работы по возведению конструкций сооружения резервуара выполнены с нарушениями требований проекта, с неудовлетворительным качеством и с нарушением требований действующих нормативных документов. Техническое состояние на момент проведения обследования конструкций сооружения оценивается от ограниченно-работоспособного до недопустимого.

Обнаруженные дефекты и отступления от требований рабочего проекта в процессе эксплуатации резервуара могут привести к фильтрации воды через тело бетона конструкций стен и днища, что в свою очередь приведет к усилению процесса коррозии арматуры, а, следовательно, и к снижению ее площади поперечного сечения и, как следствие, к ухудшению их прочностных и эксплуатационных характеристик, влияющих как на несущую способность, так и на долговечность сооружения [6].

Для обеспечения дальнейшей нормальной безопасной эксплуатации и восприятия, действующих на конструкции сооружения нагрузок, необходимо произвести комплекс мероприятий по восстановлению конструкций, находя-

щихся в недопустимом и ограниченно-работоспособном состоянии с учетом полученных результатов обследования, а также рабочих чертежей и технологии производства работ по усилению и восстановлению монолитных железобетонных конструкций, разработанных в соответствии с требованиями рабочего проекта.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований.
2. СП 63 13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.
3. Высоцкий С.А. Диагностика зон сопряжений железобетонных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2009. №2. С. 17–19.
4. Высоцкий С.А., Потапов Н.И., Мартынов С.В. Оценка качества рабочих швов в железобетонных конструкциях // Транспортное строительство. 2007. №5. С. 18–20.
5. Иванов С.И., Тухтаев Б.Х. Дефектоскопия рабочих швов бетонирования // Бетон и железобетон. 2010. №3. С. 21–24.
6. Меркулов С.И. Оценка резерва несущей способности эксплуатируемых железобетонных конструкций // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. №6. С. 66–69.

---

### Smolyago G.A., Drokin S.V., Belousov A.P., Pushkin S.A. INSPECTION OF RC PURE WATER RESERVOIR

*During the period of putting the reservoir into operation it's revealed that the reservoir was needed to be assessed for requirements of normative documents and contractor design. Numerous defects, such as curls in concrete, construction joints, carried out without preparation of the previous layer surface, were found. Calculations of the reservoir in two variants: with and without defects were carried out. Analysis of the calculation results was carried out. Analysis of the influence of defects on strength and operational properties of reservoir structures was carried out.*

**Key words:** *assessment of structures, construction joints, durability, strength, defects of RC structures.*

---

**Смоляго Геннадий Алексеевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительства и городского хозяйства

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

**Дрокин Сергей Васильевич**, 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: drokin\_serгей@mail.ru

**Белоусов Александр Петрович**, заместитель директора по техническим вопросам

ООО «Строительная экспертиза»

Адрес: Россия, 308009, г Белгород, Свято-Троицкий бульвар, д.11, оф. 3.

**Пушкин Сергей Александрович**, начальник отдела обследования зданий и сооружений

ООО «Строительная экспертиза»

Адрес: Россия, 308009, г Белгород, Свято-Троицкий бульвар, д.11, оф. 3.

Меркулов С.И., д-р техн. наук, проф.,  
Есипов С.М., асс., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ И РЕЖИМА НАГРУЖЕНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ АРМИРОВАННЫХ УГЛЕПЛАСТИКОВ

sk31.sm@gmail.com

В данной статье представлен метод оценки влияния параметров нагружения на прочность анизотропного однонаправленного углеволоконного композитного материала при растяжении в плоскости ориентации волокон. Экспериментально изучены механизмы деформирования и разрушения образцов, приведены зависимости механических свойств армированных углепластиков. Задачей исследования является определение применимости углепластиков для усиления методом внешнего армирования потерявших прочность растянутых зон железобетонных элементов, а также анализ степени влияния параметров нагружения конструкций на их прочность после усиления.

**Ключевые слова:** композиционные материалы, армированный пластик, углеродное волокно, внешнее армирование.

В современной строительной отрасли высокое распространение при подборе материалов для усиления изгибаемых и сжатых железобетонных строительных конструкций получили композитные материалы – армированные пластики. Их основными задачами являются: а) разгрузка рабочей арматуры растянутой зоны железобетонного элемента, совместно с повышением трещиностойкости; б) создание эффекта обоймы для перехода плоского напряженно-деформированного состояния в объемное. Среди многообразия прекурсоров композитных материалов своей изученностью и доступностью отличаются композиты на основе углеродных волокон [4]. Они обладают высокой прочностью на растяжение и высоким модулем упругости. Исходя из перечисленных задач композитов для усиления жбк, можно сделать вывод, что применимость и эффективность армированных пластиков зависит от их механических свойств при работе на растяжение. Для определения данных свойств и механизмов деформирования необходимо использовать экспериментальные методы, т.к. аналитические методы описания напряженно-деформированного состояния композитного материала сложны и оперируют большим количеством независимых параметров [3].

Испытания на растяжение и сжатие образцов армированных угле-, стекло- и бороволокном имеют особенности и отличаются механизмами деформирования и разрушения при идентичных условиях испытаний образцов из конструкционных сталей. Высокая степень анизотропии фибры и связующего, отсутствие пластических деформаций фибры, влияние масштабных коэффициентов и концентраторов напряжений создают трудности при обработке экспериментальных данных и получении объек-

тивных характеристик даже при случаях одноосных НДС [3, 4]. В работе, описанной в [6] было экспериментально показано, что уменьшение площади поперечного сечения изгибаемого элемента из композитного материала на 10% приводит к падению несущей способности минимум на 30 %. Для случаев растяжения эта зависимость также справедлива. В экспериментах [2] было установлено, что предел прочности для армирующих элементов композитных материалов не является постоянной величиной (рис. 1), а является функцией распределения дефектов в теле фибры. Похожая ситуация наблюдается и для конструкционных сталей, близких по свойствам к изотропным материалам. Но в случае сталей, удельное изменение механических параметров не столь велико, как для стекло- и углеволокон.

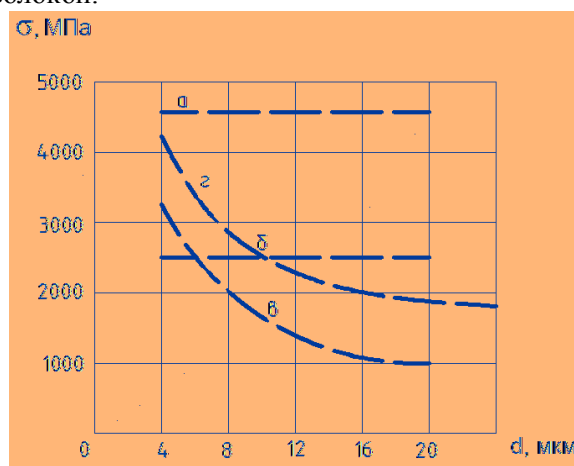


Рис. 1. Зависимость предела прочности армирующего волокна от его диаметра:

а – теоретическая для Е-стекла, б – теоретическая для S-стекла, в – экспериментальная для Е-стекла, г – экспериментальная для углеволокон.

Научное сообщество объясняет различие в теоретических и практических результатах (рис.1) наличием микродефектов фибры - повреждений, вызванных внешними факторами. Чем больше диаметр волокна, тем больше дефектов наблюдаются и тем больше они влияют на прочность. Экспериментальные исследования подробно описаны в [8].

Похожим образом ситуация обстоит и с зависимостью прочности от скорости нагружения. Однако, конкретные зависимости между скоростью статического нагружения и пределом прочности могут определяться лишь экспериментами, теоретического анализа недостаточно. Установление влияния скорости и режима нагружения (длительного или кратковременного) на механические свойства армированных пластиков и составляют проблематику статьи, т.к. после монтажа внешнего армирования, усиленный ж/б элемент и композит начинают работать совместно. Из этого следует, что нам необходимо понимать, как влияет характер нагрузки, приложенной на усиленный элемент (величина разгрузки до усиления, величина временных кратковременных и длительных нагрузок, доля постоянных нагрузок, предварительное напряжение) на несущую способность после усиления.

Дополнительно стоит отметить, что композиты при деформировании ведут себя как вязкоупругие материалы [7], т.е. среди характеристик материала также представляют интерес деформации ползучести и предел ползучести. На рис. 2. показана общая диаграмма ползучести композитного материала. Пунктирная кривая построена по точкам, которые являются пересечением нормали с оси  $\sigma$  и точки перехода из 1ой фазы ползучести во 2ую, под углом, с каким наклонен участок графика, соответствующий 2ой фазе для каждого из  $\sigma_1 \dots \sigma_4$ . Величины  $\sigma_1 \dots \sigma_4$  значат некоторые уровни напряжений, при которых построены графики. При этом заметно изменение характера ползучести при увеличении напряжений – появление 3ей фазы ползучести и ускорение темпов роста во 2ой фазе. Однако, при понимании вопроса ползучести существует 2 проблемных фактора:

1. Для определения искомых величин требуется применение уравнения Холпина и зависимости Файндли между полной деформацией и деформацией ползучести [7], которые содержат в себе множество постоянных материала. Для получения постоянных требуется проведение масштабных испытаний.

2. Проблема выбора точки, соответствующей пределу ползучести. С точки зрения практического использования считают [6, 7], что

пределом ползучести является напряжение, которое возникает при деформации ползучести 0.1 % за  $10^4$  часов. Реальное время испытаний, описанных в статье составило  $10^{2.5}$  часов. Такой предел длительности был установлен, исходя из условий работы лаборатории.

Исходя из данных факторов, в рамках настоящего исследования не представляется возможным корректно определить искомые величины, подпадающие под общепринятые определения. Для регистрации явления ползучести углекомпозита была проведена дополнительная серия длительных статических испытаний.

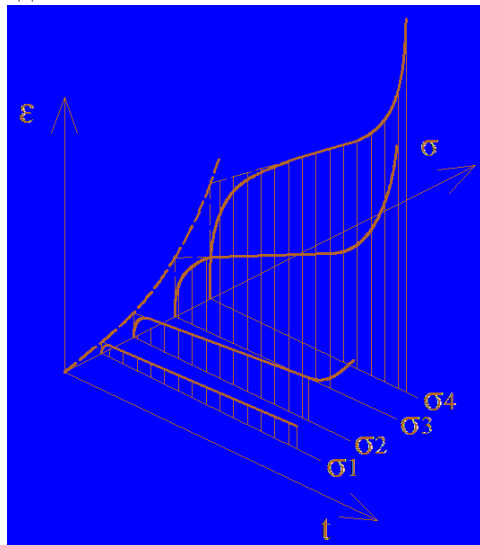


Рис. 2. Общий вид схемы ползучести композитов

Для получения практических данных были проведены 6 серий статических испытаний углекомпозита на растяжение. Испытания на сжатие не проводились, т.к. в рамках задач по усилению углекомпозитом железобетонных конструкций, элементы внешнего армирования не испытывают усилия сжатия [3]. Статические испытания характеризовались малой величиной ускорений движущихся частей испытательной машины, т.ч. возникающими силами инерции можно было пренебречь. В сериях №1-№5 было испытано 3 образца, в серии №6 - 3 образца. В качестве основного критерия разделения серий была выбрана скорость нагружения: для серии №1 - 0.05 кН/с, для серии №2 - 0.1 кН/с, для серии №3 - 0.15 кН/с, для серии №4 - 0.2 кН/с, для серии №5 - 0.25 кН/с. Испытания серии №6 проводились в течение  $10^{2.5}$  часов при постоянной величине нагрузки с интервалом регистрации деформаций 10 часов.

Для определения механических характеристик использовался полосовой однослойный углеволоконный композит шириной 75 мм длиной 600 мм. Размеры образца были приняты, исходя из условия создания поля однородных деформаций, т.к. принцип Сен-Венана обуславливает

увеличение зон действия краевого эффекта. Ориентация углеволокон параллельна продольной оси образца. Диаметр волокна – 0.131 мм. Толщина пропитанного связующим композита – 1 мм. Для анкеровки в клиновых захватах испытательной машины WEW-600D образцы снабжаются накладками из стеклотекстолита шириной 75 мм и длиной 100 мм [3], из чего следует, что длина рабочей части образца составила 400 мм. В качестве тензометрического оборудования применены наклеиваемые фольговые датчики с базой 20 мм, цифровой измеритель деформаций Терем-4.1, экстензометр ИДН-10-50.

$\sigma$ , МПа

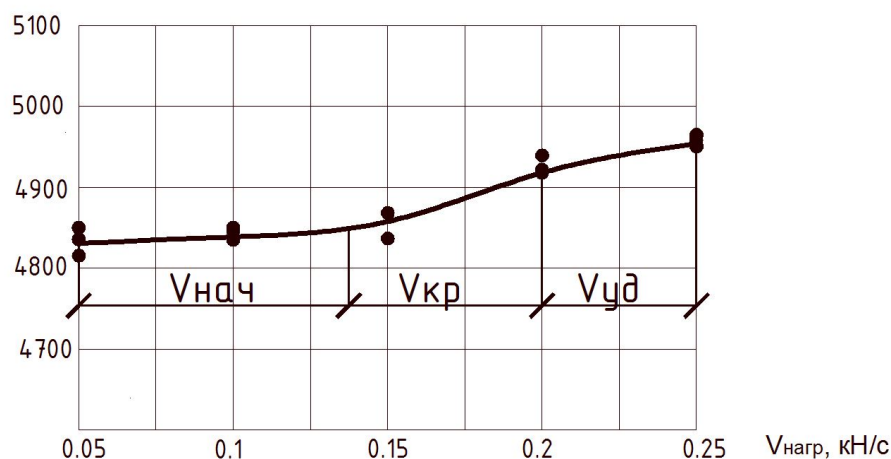


Рис. 3. Зависимость прочности композита от скорости изменения нагрузки

2. Скорость нагружения оказывает влияние на величину модуля упругости 1-го рода (рис. 4). Точка искривления диаграммы находится в аналогичном интервале значений скорости нагружения, что и на рис. 3. В области ударных нагрузок величина модуля упругости начинает расти с характером, близким к гиперболическому. Это происходит в силу одновременности двух факторов: а) имеется рост прочности материала (на 2.5–3 %), б) снижается его удельное удлинение (на 21 %). Сопоставляя эти данные с

$E$ , ГПа

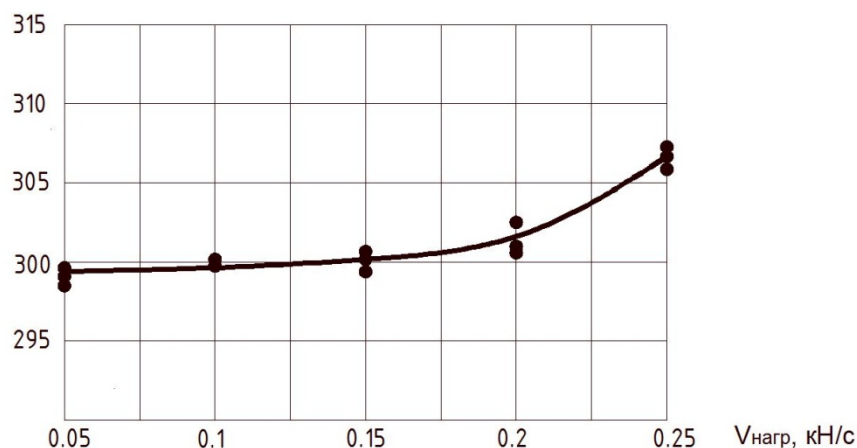


Рис. 4. Зависимость модуля упругости 1-го рода от скорости изменения нагрузки

Результаты экспериментальных исследований показали следующее:

1. Скорость нагружения оказывает влияние на величину предела прочности материала (рис. 3). В определенном интервале начальных значений скорости нагружения ( $V_{нач}$ ) приращения параметров не наблюдается. При некотором значении  $V_{кр}$  диаграмма начинает искривляться, появляется излом. Постепенно, переходя в область ударных нагрузок ( $V_{уд}$ ), диаграмма стремится к выпрямлению.

другими исследованиями параметров нагружения [6], можно сделать вывод, что скорость деформации имеет сильное влияние на модуль упругости 1-го рода и практически не влияет на модуль упругости 2-го рода. Это наводит на следующие предположения: а) работа граничных слоев, разделяющих волокно и матрицу при различных скоростях нагружения оказывается различным, б) ударная вязкость композита превышает ударную вязкость его компонентов [1, 6].

3. Армированные пластики на основе углерода ведут себя как вязкоупругие материалы. Имеет место рост деформаций при статической нагрузке (рис. 5). В рамках эксперимента были исключены из результатов деформации первоначального обжатия образцов и случайные проскальзывания. С увеличением начального

напряжения в образце, рост деформаций ползучести ускоряется. В целом, рост деформаций линейен до определенного предела времени (примерно 100 ч), после которого заметно ускорение нарастания ползучести. Явление ползучести происходит, вероятно, при релаксации напряжений в армирующем волокне.

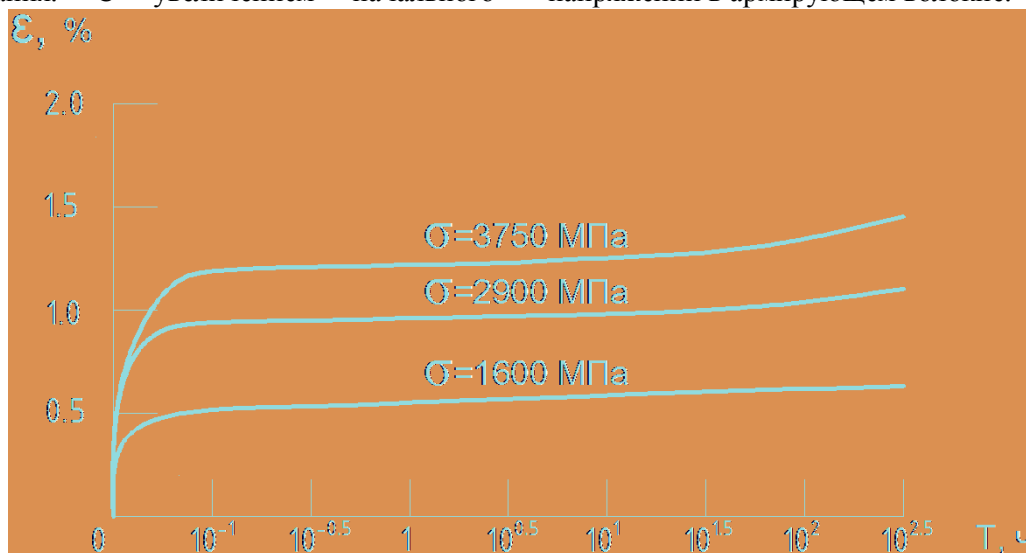


Рис. 5. Ползучесть углекомпазитов при температуре 20 °C

**Выводы.** При проектировании усиления железобетонных конструкций внешним армированием из армированных углепластиков, а также при применении полимеркомпозитной арматуры особое внимание следует уделять расчетным значениям прочностных и деформативных характеристик композитных материалов. В рамках длительных нагружений конструкции недопустимо применение величин прочности композита, полученных на основании кратковременных испытаний, т.к. они завышают реальную прочность. Также необходимо учитывать возможный рост деформаций и прогибов конструкций, вызванных ползучестью неметаллической арматуры.

На основании изложенного можно определить задачи, в результате решения которых возможно усовершенствовать отдельные положения нормативных методик проектирования усиления железобетонных конструкций внешним армированием композитными материалами:

1. Разработать методику определения поправочных коэффициентов, учитывающих долю длительности работы усиленной или проектируемой конструкции под нагрузкой.

2. Вводить в расчет усиления возможность вязкоупругого деформирования армированных пластиков и нарастание деформаций ползучести.

3. Учитывать в расчете потери величины предварительного напряжения конструкций с композитной арматурой вследствие ползучести композитных материалов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Меркулов С.И. Методы оценки возможного прогрессирующего разрушения зданий и сооружений // В сборнике: Современные проблемы расчета железобетонных конструкций, зданий и сооружений на аварийные воздействия. Под редакцией А.Г. Тамразяна, Д.Г. Копаницы. 2016. С. 251–254.
2. Римшин В.И., Меркулов С.И. Элементы теории развития бетонных конструкций с неметаллической композитной арматурой // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 5. С. 38–42.
3. Дронов А.В., Дрокин С.В., Фролов Н.В. Экспериментальное исследование сцепления стеклопластиковой арматуры с бетоном // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 11. С. 80–83.
4. Есипов С.М. Композитные материалы для усиления строительных конструкций // В сборнике: Образование, наука, производство. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2015. С. 2475–2479.
5. Фролов Н.В., Полоз М.А., Колесникова Е.Г. К вопросу об испытании стержневой полимеркомпозитной арматуры на осевое растяжение // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 11. С. 74–78.

6. Фудзии Т., Дзако М. Механика разрушения композиционных материалов. М.: Мир, 1982. 232 с.

7. Тарнопольский Ю.М., Кинцис Т.Я. Методы статических испытаний армированных пла-

стиков. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1981. 272 с.

8. Бартенев Г.М. Сверхпрочные и высокопрочные неорганические стёкла. Стройиздат, М., 1974. 240 с.

---

**Esipov S.M., Merkulov S.I.**

**EFFECT OF RATE AND MODE OF LOADING ON STRENGTH**

**AND STIFFNESS REINFORCED WITH CARBON FIBER REINFORCED PLASTICS**

*This paper presents a method for evaluating the effect of loading parameters on the strength of anisotropic unidirectional carbon-fiber composite material under tension in the plane of orientation of the fibers. Experimentally studied mechanisms of deformation and fracture of the samples shows the dependence of the mechanical properties of reinforced carbon fiber reinforced plastics. The objective of the study is to determine the applicability of CFRP for strengthening by external reinforcement has lost the strength of the stretched zones of concrete elements, as well as analysis of the degree of influence of parameters of loading of the structures on their strength after amplification.*

**Key words:** *composite materials, fiber-reinforced plastic, carbon fibre external reinforcement.*

---

**Меркулов Сергей Иванович**, доктор технических наук, профессор.

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

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

E-mail: sk31.sm@gmail.com

**Есипов Станислав Максимович**, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства.

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

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

E-mail: sk31.sm@gmail.com



Панченко Л.А., канд. техн. наук, доц.,  
Юрьев А.Г., д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## МНОГОУРОВНЕВОЕ АРМИРОВАНИЕ КОНГЛОМЕРАТОВ

Panchenko.bstu@mail.ru

*Строительные конгломераты представлены как многоуровневые дисперсные системы, состоящие из компонентов, каждый из которых детерминированно-стохастически размещен в достаточно непрерывной матрице, которая по своим механическим и другого рода свойствам отличается от включений. Для четырехуровневого конгломерата (крупнозернистого бетона) рассмотрено эффективное армирование на каждом уровне. Формирование многоуровневой дисперсной системы может быть составной частью синтеза конфигурации несущей конструкции.*

**Ключевые слова:** армирование конгломератов, матрица, микротрещины, синтеза конфигурации конструкции.

Строительные конгломераты – сложные многоуровневые дисперсные системы, состоящие из компонентов, каждый из которых детерминированно-стохастически размещен в достаточно непрерывной матрице, которая по своим механическим и другого рода свойствам отличается от включений.

Типичными представителями конгломератов являются бетон и железобетон. И если бетон появился еще в античные времена, то начало эпохи железобетона относят к середине XIX века, когда возникла практическая возможность включения металлических стержней и сеток в бетонные тела с целью повышения несущей способности и противостояния трещинообразованию.

С развитием теории бетона было установлено, что такого рода армирование останавливает развитие трещин только на одном структурном уровне материала. Влияние на прочность на других структурных уровнях оставалось в пределах повышения прочности цементного камня. Справедливости ради, следует сказать, что при надлежащем сцеплении цементного камня с заполнителями его прочность на растяжение сама по себе несколько возрастает.

Развитие индустрии в XX веке способствовало появлению новых идей армирования конгломератов. Обратили внимание на минеральные, органические и искусственные волокна и композиты на их основе. При их введении потенциал сопротивления разрушению дополняется слагаемыми, связанными с такими явлениями, как деформирование волокна, нарушение контакта с матрицей, выдергивание волокна из матрицы или его разрыв.

Рассмотрим теоретические предпосылки многоуровневого армирования конгломератов. Прежде всего, должно быть соответствие материалов матрицы и включения по химическим свойствам, что выражается в отсутствии нарушения естественной целостности структур.

Например, волокна не должны разрушаться в щелочесодержащей среде цементной матрицы. Должны также соблюдаться соразмерность армирующих элементов и компонентов среды того или иного уровня, обеспечение надлежащей анкеровки волокон, для чего их длина должна в 3–5 раз превосходить размер трещин. Наконец, объемная доля армирующих элементов ставится в соответствие показателю концентрации трещин определенного уровня конгломерата.

В результате прежний конгломерат, подвергавшийся под действием внешних сил хрупкому разрушению, становится материалом, в значительной мере сопротивляющимся растягивающим напряжением в теле. Процесс его разрушения тормозится присутствием армирующих элементов на всех уровнях структуры. Многоуровневое армирование создает противостояние росту и развитию дефектов, начиная от субмикротрещин [1–6].

Рассмотрим четырехуровневый конгломерат и предпосылки его армирования. Начнем с нижнего уровня – цементирующего вещества. В качестве его матрицы рассматривают морфологические разности новообразований скрытокристаллического и кристаллического характера. Основные новообразования цементного камня имеют частицы размером 0,04 ... 0,2 мкм и микропоры размером около 0,08 мкм. Субмикротрещины перекрываются относительно протяженными кристаллогидратами новообразований длиной до 3–5 мкм. Такого рода самоармирование является достаточно эффективным противостоянием трещинам в ранние сроки твердения (14–28 суток).

Следующим является уровень цементного микробетона, матрицей которого является цементирующее вещество. С учетом присущих микробетону микротрещин размером 10...80 мкм у материаловедов появилась идея армирования волокнами длиной 1–5 мм и диаметром

10–50 мкм. Наряду с волокнами природного происхождения это могут быть и стекловолокна.

Следует сказать, что эта идея, практически осуществимая в рамках микробетона как такового, наталкивается на определенные технологические трудности при наличии в конгломерате крупного заполнителя. Возможное комкование волокон лишает их в большинстве нужного адресата.

Цементный микробетон является матрицей следующего уровня конгломерата – мелкозернистого бетона. Ему присущи трещины размером 0,1...0,9 мм. Им могут противостоять армирующие элементы длиной 1...5 см и диаметром 0,1...0,8 мм. Это могут быть, например, металлические, минеральные, углеродные волокна.

Самым высоким является уровень крупнозернистого бетона, матрицей для которого служит мелкозернистый бетон. В качестве элементов, блокирующих макротрещины используется стержневая металлическая или стеклопластиковая арматура, размещаемая в соответствии с характером деформирования несущего элемента.

Представленная схема армирования на четырех уровнях имеет, как отмечено выше, определенные технологические сложности на уровне цементного микробетона. В то же время она может быть трансформирована в три уровня, то есть для мелкозернистого бетона как такового.

С учетом синергетических эффектов взаимодействия различных элементов армирования вязкость разрушения мелкозернистого бетона возрастает до трех раз. Вытекающее отсюда трехкратное повышение трещиностойкости в значительной мере компенсирует расходы (160 %) на многоуровневое армирование, так что мелкозернистый бетон с многоуровневым армированием оказывается примерно в 1,5 раза эффективнее обычного конгломерата [1–6].

Отметим, что наряду с упомянутыми выше минеральными и углеродными волокнами в последнее время эффективно используются полимеры, армированные стекловолокном [7]. Стеклофибробетон сочетает в себе положительные свойства компонентов – высокую прочность бетона на сжатие и стекловолокна на растяжение. В совокупности два компонента обеспечивают прочность на растяжение в 3–4 раза большую, чем у бетона. По сравнению с бетоном прочность на растяжение при изгибе больше в 4–5 раз, а ударная вязкость – в 15–20 раз.

Стекловолокна могут иметь различную длину, диаметр и процентное содержание в бетоне. Эти параметры влияют на прочностные и деформационные характеристики стеклофибробетона. Поэтому в зависимости от напряженно-деформированного состояния областей конструкции можно использовать различные клас-

сы стеклофибробетона. Происходит своего рода управление расположением материалов в конструкции.

Механизм и содержание процесса формирования напряженно-деформированного состояния в системе «конгломерат – конструкция – среда» непосредственно связаны с проблемой оптимизации конструкций.

Законы структурообразования, вытекающие из принципа стационарного действия и прослеживающиеся в организации природы, должны проявляться и в доведенных до совершенства инженерных конструкциях [8].

В то же время процесс эволюционной оптимизации организмов существенно отличается от способов оптимизации в технике. Свободу инженера сдерживает сложность учета большого числа переменных проектирования. Для природы этот фактор не имеет существенного значения, что позволяет получить лучшие результаты.

К тому же идентификация организмов и инженерных конструкций возможна до определенного предела, обусловленного правомочностью ввода тех или иных феноменологических характеристик материалов (модулей упругости, вязкости и др.). Последние не укладываются в рамки подхода, основанного на принципах молекулярной организации. В структуре живой ткани приспособление конструкции к выполняемой функции берет начало на клеточном уровне, что трудно идентифицируется с моделируемым поведением материала в технике.

Аналогичные проблемы возникают в процессе идентификации и формализации структурно-неоднородных конгломератов на этапе анализа или синтеза строительной конструкции. Предположения об однородности структуры могут привести к занижению осредненных напряжений и введений соответствующего коэффициента.

Если о конструировании бетона мы говорим в несколько утонченном смысле, то для железобетона это слово применимо в полной мере. Размеры и расположение арматурных стержней (или других элементов) соответствуют законам механики деформированного твердого тела, приложенным к конкретному типу конструкции. Они не обладают степенями свободы, присущим зернам мелкого и крупного заполнителя при производстве бетона.

Формирование конгломерата и его армирование рассматривается от низшего к высшему масштабному уровню структуры, а синтез конфигурации конструкции ведется от высшей категории к низшей. Сначала предполагается множество возможных вариантов проектируемой системы, на следующих двух уровнях об-



суждаются варианты топологии и геометрии. Наконец, на самом низком уровне определяется окончательно сформированная конструкция с размерами элементов и выбранными материалами. Формирование многоуровневых дисперсных систем может явиться составной частью синтеза несущих конструкций.

Успехи инженеров-конструкторов и материаловедов оцениваются по исходному критерию, приложенному к нескольким вариантам конструкции и материалов. Большое число переменных проектирования и существенное различие в их представлении затрудняет на сегодняшний день использование известных методов оптимизации решения.

Поуровневая оптимизация, строго говоря, противоречит принципу стационарного действия, отнесенному к цельной системе (включая материал). Но в первом приближении к истинному решению она может дать полезные результаты [9, 10].

В заключение остается выразить надежду на дальнейшее сближение позиций инженеров-конструкторов и материаловедов-технологов в деле создания оптимальных сооружений.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чернышов Е.М., Дьяченко Е.И., Макеев А.И. Неоднородность структуры и сопротивление разрушению конгломератных строительных композитов: вопросы материаловедческого обобщения и развития теории. Воронеж: ВГА-СУ. 2012. 97 с.
2. Чернышов Е.М., Макеев А.И. Синтез и конструирование структур бетонов нового поколения с позиций управления однородностью – неоднородностью их строения // Современное состояние и перспектива развития строительного материаловедения: Восьмые академические чтения отделения строительных наук РААСН/Изд-во Самарского госуд. Арх.-строит. ун-та. Самара, 2004. С. 561–565.
3. Чернышов Е.М., Макеев А.И. Разрушение конгломератных строительных материалов: основные концепции, механизмы процессов, принципы и закономерности управления // Строительные материалы. №9. 2007. С. 63–65.
4. Макеев А.И. Масштабные эффекты в работе конгломератных строительных композитов // Вестник Гражданских Инженеров. №3(20). 2009. С. 139–143.
5. Мэттьюз Ф., Ролингс Р. Композитные материалы. Механика и технология / Пер. с англ. С.Л. Баженова. М.: Техносфера, 2004. 408 с.
6. Рабинович Ф.Н. Об уровнях дисперсности армирования бетонов // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1981. №11. С. 30–36.
7. Панченко Л.А. Строительные конструкции с волокнистыми композитами. Белгород: БГТУ. 2013. 184 с.
8. Юрьев А.Г. Естественный фактор оптимизации конструкций. Белгород: БГТУ. 2003. 110 с.
9. Юрьев А.Г., Панченко Л.А., Серых И.Р., Мостафа Осман, Ата Эль-Карим Шосиб, Павленко В.И. Эффект усиления круглых железобетонных колонн волокнистыми композитами // Вестник БГТУ им В.Г. Шухова. 2014. №4. С. 20–22.
10. Зинькова В.А. Оптимизация топологии металлических ферм // Вестник БГТУ им В.Г. Шухова. 2014. №2. С. 37–40.

---

**Panchenko L.A., Yuriev A.G.**

#### **MULTI-LEVEL REINFORCEMENT CONGLOMERATES**

*Construction conglomerates are presented as a multilevel disperse systems consisting of components, each of which deterministically-stochastically placed in a relatively continuous matrix, which by its mechanical and other properties different from inclusions. For a four-level conglomerate (coarse-grained concrete) is considered an effective reinforcement on every level. The formation of multilevel disperse systems can be an integral part of the synthesis configuration of the supporting structure.*

**Key words:** reinforcement conglomerates, matrix, microfractures, synthesis of the design configuration.

---

**Панченко Лариса Александровна**, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

E-mail: Panchenko.bstu@mail.ru

**Юрьев Александр Гаврилович**, доктор технических наук, доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

DOI: 10.12737/23298

Фролов Н.В., ассистент,  
Смоляго Г.А., д-р техн. наук, проф.,  
Полоз М.А., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ АРМОБЕТОННЫХ БАЛОК С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ В РАСТЯНУТОЙ ЗОНЕ СТЕРЖНЕЙ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРЫ

frolov\_pgs@mail.ru

В статье приводятся обобщенные результаты контрольных испытаний на статический изгиб образцов армобетонных балок с различным содержанием (100 % и 50 %) в растянутой зоне стержней стеклопластиковой арматуры. Определены зависимости изменения параметров напряженно-деформированного состояния таких изгибаемых элементов от количества растянутой стеклопластиковой арматуры. Истощение несущей способности всех образцов произошло по наклонному сечению, чему в работе дается ряд объяснений. Рассмотренные в эксперименте виды армирования признаны неэффективными, по сравнению с традиционным стальным армированием железобетонных конструкций. Для дальнейших исследований предложено понизить количество в сечении растянутой стеклопластиковой арматуры до 30 % от общего содержания.

**Ключевые слова:** стеклопластиковая и стальная арматура, стержень, армобетонная балка, образец, разрушающая нагрузка, наклонная трещина.

**Введение.** При длительной эксплуатации в условиях агрессивной среды у изгибаемых железобетонных элементов значительно уменьшается площадь поперечного сечения растянутой стальной арматуры вследствие ее коррозии. В результате этого снижается прочность, трещиностойкость и жесткость конструкций. Возникает необходимость проведения различных дорогостоящих ремонтов несущих конструкций или даже их замены, что не всегда возможно без прекращения функционирования здания. Как отмечено в работе [1], коррозионные повреждения арматурной стали являются одной из главных причин снижения долговечности железобетона.

Повышение долговечности как вновь изготавливаемых, так и эксплуатируемых армобетонных конструктивных элементов некоторые ученые связывают с применением неметаллической полимеркомпозитной арматуры [2, 3], которая обладает высокой стойкостью к коррозионным воздействиям и хорошо воспринимает другие средовые и силовые факторы.

На сегодняшний день для внутреннего полимеркомпозитного армирования бетонных конструкций наиболее рационально использовать стержневую стеклопластиковую или базальтопластиковую арматуру. Хотя есть и другие виды полимеркомпозитной арматуры (арамидопластиковая и углепластиковая). Остановимся более подробно на стеклопластиковой арматуре.

Промышленностью выпускается широкая номенклатура стержневой стеклопластиковой арматуры. В работах [4, 5] указано, что при це-

лостности полимерной матрицы она обладает стойкостью к щелочной среде бетона и стойкостью к агрессивному воздействию сульфатов и хлоридов, имеет высокую прочность при растяжении, неэлектропроводна, диамагнетик, нетеплопроводна и не теряет свои прочностные свойства при сверхнизких температурах. В тоже время имеются следующие недостатки: низкий модуль упругости при растяжении, относительно малая огнестойкость, нецелесообразность применения в сжатой зоне бетона, сложность выполнения соединений стержней и несовершенство технологии устройства анкерочного слоя на силовом теле стержня.

Возможности применения стержневой стеклопластиковой арматуры в качестве рабочей для ненапряженных изгибаемых армобетонных конструкций изучены достаточно подробно. В исследованиях [6–8] экспериментально установлено, что армобетонные балки, содержащие в растянутой зоне только стеклопластиковую арматуру (100 % содержание) обладают намного меньшей несущей способностью, жесткостью и трещиностойкостью, чем эталонные железобетонные балки (0 % содержание). Прямая замена стальной арматуры на стеклопластиковую аналогичной площади оказывается абсолютно не эффективной.

Авторами были проведены дополнительные поисковые [9, 10], а затем и экспериментальные исследования [11] образцов армобетонных балок, имеющих в растянутой зоне двухрядное расположение стержней стальной и стеклопластиковой арматуры с соотношением площадей

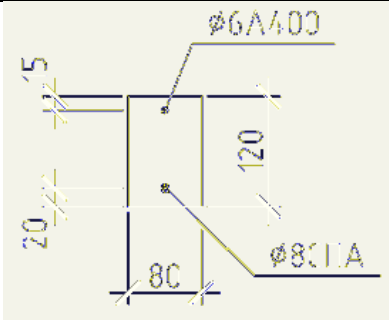
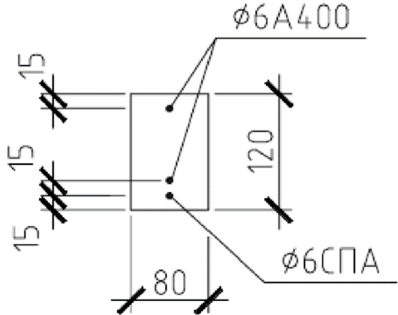
сечений 50/50 (50 % содержание). В настоящей работе ставится цель – оценить зависимости изменения параметров напряженно-деформируемого состояния таких балок от уменьшения количества содержания в сечении стеклопластиковой арматуры со 100 % до 50 %.

**Методология.** Контрольные испытания образцов армобетонных балок на статический изгиб проводились в соответствии с основными положениями ГОСТ 8829 на электромеханической универсальной разрывной машине марки Р-5. Деформации балок в пролете и на опорах фиксировались при помощи индикаторов часового типа ИЧ-10.

**Основная часть.** В контрольных испытаниях на статический изгиб [6, 11] опытными образцами выступали однопролетные армобетонные балки с размерами поперечного сечения 80×120 мм и длиной 1200 мм, в растянутой зоне армированные стержнями стальной арматуры класса по прочности на растяжение А400 (ГОСТ 5781) и стержнями стеклопластиковой арматуры с песчаным покрытием ROCKBAR (ООО «Гален»). Данные о маркировке и принятом продольном сжатом и растянутом армировании сечений образцов балок указаны в таблице 1. Поперечное армирование всех балок выполнено стержнями стальной арматуры класса А400 диаметром 6 мм с шагом 80 и 100 мм (рис. 1).

Таблица 1

Маркировка образцов балок и характеристики продольного армирования

Маркировка образцов	Схема продольного армирования сечений	Армирование, см <sup>2</sup>		Примечание
		Растянут. зона	Сжат. зона	
		$A_{st} / A_{ft}$	$A_{sc}$	
БС1; БС2		0,000 / 0,442	0,283	Армирование стержнями стеклопластиковой арматуры
БМС1; БМС2		0,283 / 0,255	0,283	Комбинированное армирование стержнями стальной и стеклопластиковой арматуры

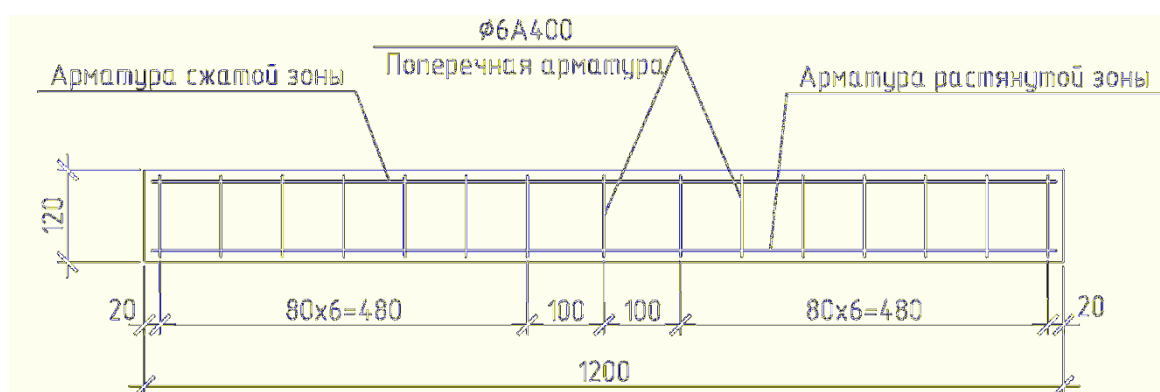


Рис. 1. Схема поперечного армирования образцов балок

Соединения стержней в плоских каркасах выполнялись при помощи вязальной оцинкованной проволоки диаметром 0,9 мм.

Все образцы балок были изготовлены из тяжелого бетона одной партии класса по прочности на сжатие В30 и до испытаний выдержаны 28 суток в нормальных температурно-влажностных условиях твердения.

Схема опирания и нагружения образцов – однопролетная балка, свободно опертая по двум сторонам и нагруженная двумя сосредоточенными силами с образованием в пролете зоны

чистого изгиба  $l/4$  ( $l$  – расстояние между опорами).

Ввиду конструктивных особенностей устройства испытательного оборудования участок появления и развития нормальных трещин оказался в зоне ограниченной видимости, что не позволило использовать микроскоп МПБ-2 для контроля ширины раскрытия трещин.

Результаты испытаний всех образцов балок на изгиб после аналитической обработки представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты испытаний образцов балок на изгиб

Параметр исследования	Маркировка образцов балок			
	БС1	БС2	БМС1	БМС2
Разрушающая нагрузка $P_u$ , кН	14.52	15.11	18.54	18.17
Нагрузка при образовании первой трещины $P_{сгс}$ , кН	3.92	3.98	4.81	5.45
Нагрузка при $f = l/120$ , кН	10.39	10.04	14.67	14.91
Прогиб при нагрузке $P_u$ , мм	15.97	16.98	19.25	18.11
Прогиб при нагрузке $0.67P_u$ , мм	7.28	8.16	6.21	5.85
Количество трещин, шт.	7	7	7	8
Максимальная высота развития трещин, мм	103	104	104	102
Характер разрушения	Разрушение по наклонному сечению с глубокими повреждениями бетона растянутой зоны		Разрушение по наклонному сечению с глубокими повреждениями бетона растянутой зоны	

Характер трещинообразования и разрушения образцов балок показан на рис. 2.

В ходе испытаний образцов балок имеющих в растянутой зоне только стеклопластиковую арматуру выявлено, что у них первые трещины появляются на этапе нагружения соответствующем 26–27 % от разрушающей нагрузки. Характер трещинообразования у образцов БС1 и БС2 следующий: первыми в зоне чистого изгиба появляются нормальные трещины, затем при нагрузке примерно 50 % от разрушающей на расстоянии  $l/4$  от опор появляются наклонные трещины. В дальнейшем, с увеличением нагрузки активное развитие нормальных трещин прекращается, а интенсивное раскрытие и развитие наклонной трещины по сечению к месту приложения сосредоточенной силы приводит к разрушению образцов. Данное явление может быть объяснено исключением из работы стержней поперечной арматуры и малым модулем упругости продольной стеклопластиковой арматуры, и как след-

ствие повышенной деформативностью образцов. У обеих балок образовалось по 7 трещин, расстояния между которыми находятся в диапазоне 75–105 мм.

У балок с комбинированным армированием первые трещины образуются на этапе нагружения соответствующем 26–30 % от разрушающей нагрузки. Характер трещинообразования у образцов БМС1 и БМС2 следующий: первыми в зоне чистого изгиба появляются нормальные трещины, затем при нагрузке примерно 60 % от разрушающей на расстоянии  $l/4$  от опор появляются наклонные трещины. Характер разрушения такой же, как и образцов БС. У обеих балок образовалось по 7–8 трещин удаленных друг от друга на расстоянии 75–110 мм.

Среднее значение разрушающей нагрузки образцов балок с комбинированным армированием растянутой зоны на 23,9 % выше, чем у балок без содержания стальной арматуры. Стеклопластиковая арматура в обоих случаях рабо-

тает в условиях среза, что приводит к глубоким повреждениям бетона нижней растянутой грани.

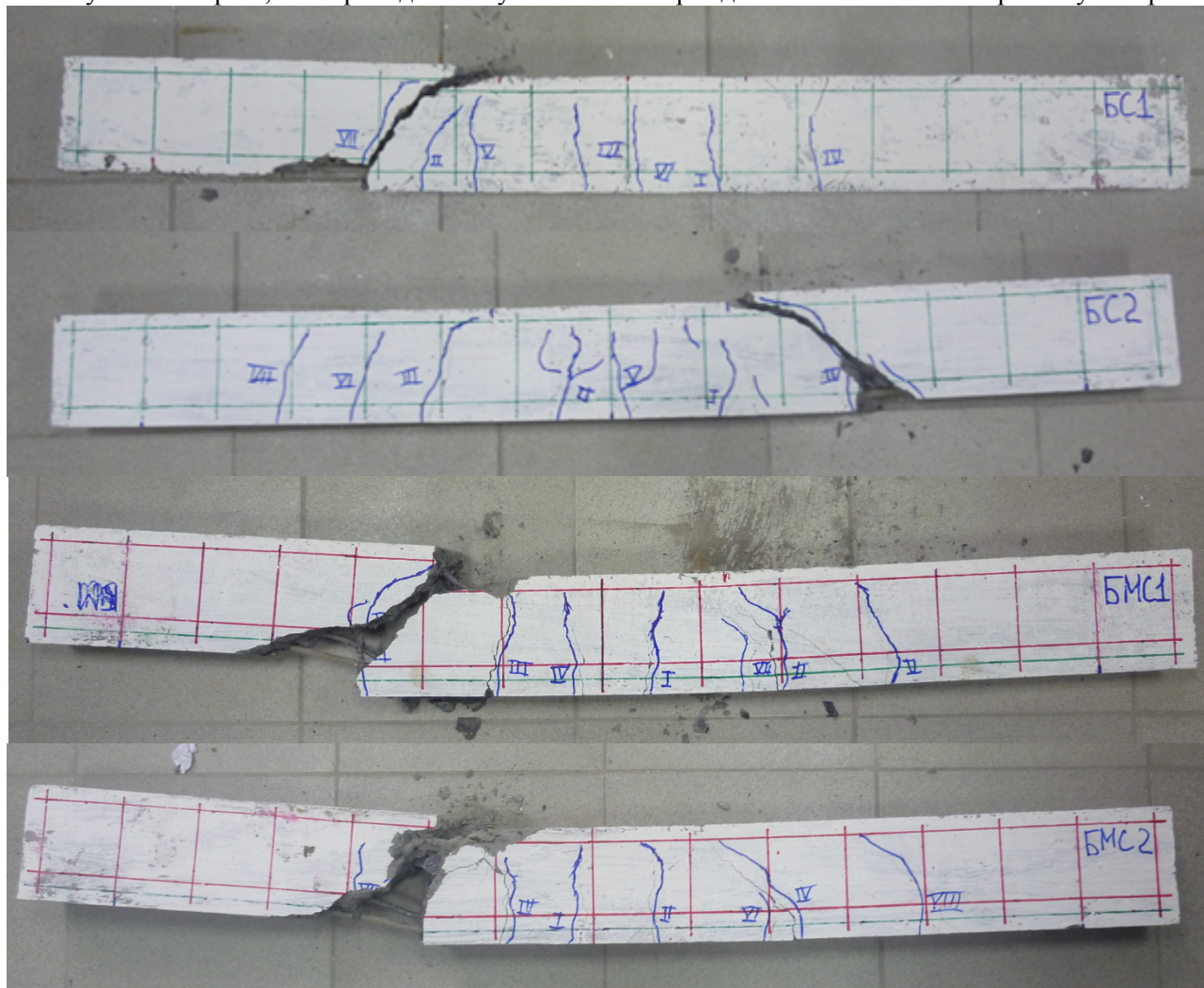


Рис. 2. Характер трещинообразования и разрушения образцов балок, соответственно сверху вниз: BC1, BC2, BMC1 и BMC2

Прогибы в середине пролета балок BMC в момент их разрушения находятся в диапазоне значений  $(1/62-1/66) l$  и на всех этапах деформирования меньше, чем у балок BC. Так, при значении нагрузки  $0.67P_u$  прогибы меньше на 14,7–28,3 %. Деформативность всех балок резко увеличивается сразу после появления нормальных и наклонных трещин.

При максимально допустимом относительном прогибе изгибаемых элементов, в соответствии с СП 20.13330 «Нагрузки и воздействия» равном  $1/120$  от расчетной величины пролета, предельная нагрузка балок с комбинированным армированием снижается в 1,2–1,3 раза и оказывается на 44,8% выше соответствующего среднего значения образцов содержащих в растянутой зоне только стеклопластиковую арматуру. Таким образом, на несущую способность балок со стеклопластиковой арматурой гораздо большее влияние оказывает ее количество и низкий (порядка 50 ГПа) модуль упругости, нежели чем прочность на осевое растяжение.

**Выводы.** На основании анализа результатов испытаний можно сделать заключение, что с уменьшением содержания в растянутой зоне стержней стеклопластиковой арматуры вдвое (со 100 % до 50 %) и компенсированием их стержнями стальной арматуры прочность, жесткость и трещиностойкость изгибаемых армобетонных элементов возрастает. При этом данные конструкции, по сравнению с эталонными железобетонными балками [11], имеют большую прочность, но обладают также меньшей жесткостью и трещиностойкостью. Следовательно, такой вид армирования (50 % содержание) малоэффективен. В связи с этим предлагается понизить количество в сечении растянутой стеклопластиковой арматуры до 30 % от общего содержания арматуры.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смоляго Г.А., Дронов В.И., Дронов А.В., Меркулов С.И. Изучение влияния дефектов железобетонных конструкций на развитие корро-

зионных процессов арматуры // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 12. С. 25–27.

2. Степанова В.Ф., Степанов А.Ю. Неме-таллическая композитная арматура для бетон-ных конструкций // Промышленное и граждан-ское строительство. 2013. № 1. С. 45–47.

3. Уманский А.М., Беккер А.Т. перспекти-вы применения композитной арматуры // Вест-ник Инженерной школы Дальневосточного фе-дерального университета. 2012. № 2 (11). С. 7–13.

4. Римшин В.И., Меркулов С.И. Элементы теории развития бетонных конструкций с неме-таллической композитной арматурой // Про-мышленное и гражданское строительство. 2015. № 5. С. 38–42.

5. Римшин В.И., Меркулов С.И. О Норми-ровании характеристик стержневой неметалли-ческой композитной арматуры // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 5. С. 22–26.

6. Фролов Н.В. Экспериментальные иссле-дования образцов армобетонных балок, в растя-нутой зоне армированных стеклопластиковыми стержнями // Вестник Белгородского государ-ственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 2. С. 46–50.

7. Селяев В.П., Соловьев А.А., Парамонов Р.Н., Алимов М.Ф., Шабаев И.Н. Работа балок,

армированных композитной стеклопластиковой арматурой // Региональная архитектура и строи-тельство. 2013. № 3. С. 67–73.

8. Антаков А.Б., Антаков И.А. Эксперимен-тальные исследования изгибаемых элементов с полимеркомпозитной арматурой // Известия Ка-занского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 3. С. 7–13.

9. Маилян Д.Р., Польской П.П., Мерват Х., Кургин К.В. О прочности балок из тяжелого бе-тона при использовании стальной, углепласти-ковой и комбинированной арматуры, располо-женной в два ряда // Инженерный вестник Дона. 2013. Т. 27. № 4. С. 212.

10. Маилян Д.Р., Польской П.П., Мерват Х., Кургин К.В. О деформативности изгибаемых элементов из тяжелого бетона при двухрядном расположении углепластиковой и комбиниро-ванной арматуры // Инженерный вестник Дона. 2013. Т. 27. № 4. С. 211.

11. Фролов Н.В., Полоз М.А., Колесникова Е.Г. Экспериментальные исследования образцов армобетонных балок с двухрядным расположе-нием в растянутой зоне стержней стальной и стеклопластиковой арматуры // Вестник Белго-родского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 10. С. 83–88.

---

**Frolov N.V., Smolyago G.A., Poloz M.A.**

## **EXPERIMENTAL RESEARCH OF RC BEAMS IN COMBINATION WITH GLASS-PLASTIC BARS**

*The results of bending tests of RC beams with different content (50 % and 100 %) of glass-plastic bars in tensioned area of cross-section are given in the article. Dependence between stress-strain condition parameters for such elements and quantity of glass-plastic bars is determined. All beams were ruptured by inclined section, what is explained in the article. This type of reinforcement is found out to be ineffective in comparison with traditional ones. Further research will consider portion of glass-plastic bars reduced to 30 % of total amount of reinforcement.*

**Key words:** glass plastic and steel reinforcement, bar, RC beam, sample, ultimate load, inclined crack.

---

**Фролов Николай Викторович**, ассистент кафедры строительства и городского хозяйства.

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

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

E-mail: frolov\_pgs@mail.ru

**Смоляго Геннадий Алексеевич**, доктор технических наук, профессор кафедры строительства и городского хозяйства.

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

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

E-mail: tpk-psv@yandex.ru

**Полоз Максим Александрович**, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства.

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

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

E-mail: max.ploz@inbox.ru



Кочерженко В.В., канд. техн. наук, проф.,  
Погорелова И.А., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОГРУЖЕНИЯ ОБОЛОЧЕК ОПУСКНЫХ КОЛОДЦЕВ НА ИХ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТО- ЯНИЕ

vvkpgs1946@yandex.ru

Рассмотрено влияние технологии погружения оболочек опускных колодцев на разбираемых сваях-опорах. Установлено оптимальное количество свай под оболочкой колодца, исходя из минимальных значений напряженно-деформированного состояния (НДС), возникающих в ней. Рассмотрено влияние радиуса опускного колодца на разбираемых сваях на НДС оболочки.

**Ключевые слова:** оболочка опускного колодца, технология погружения, усилия, напряженно-деформированное состояние, свая, момент, радиус.

В процессе погружения оболочка опускного сооружения находится в более неблагоприятных условиях, чем в стадии эксплуатации.

В этот период на нее действуют многочисленные виды нагрузок, которые изменяются во времени и зависят от многочисленных факторов (рис. 1).

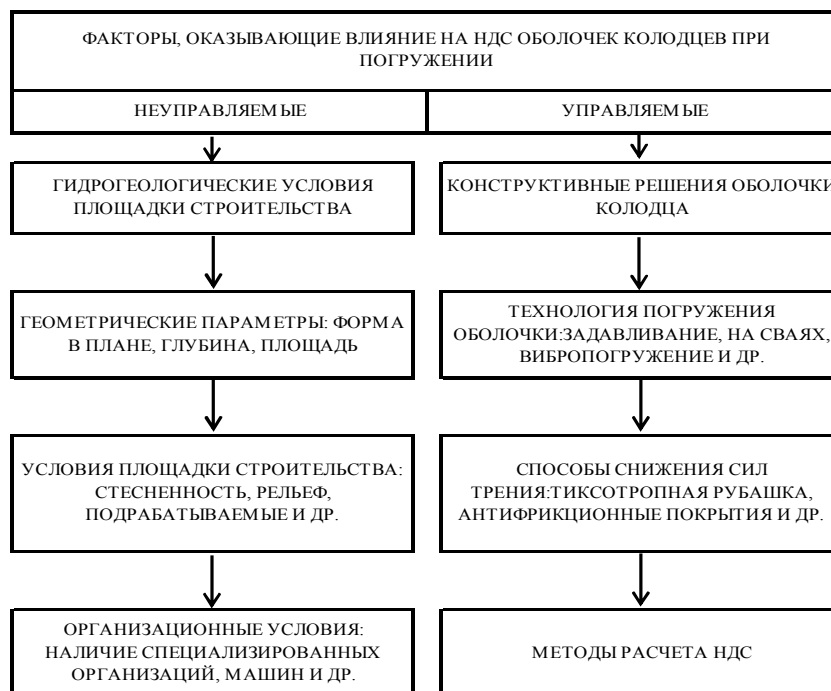


Рис. 1. Классификация факторов, оказывающих влияние на НДС оболочек колодцев

Известно, что в результате поэтапного погружения колодцев соотношение радиуса оболочек ( $R$ ) к ее высоте ( $H$ ) изменяется в широком диапазоне. В работах [1, 2] установлено, что соотношение  $\frac{R}{H}$  оболочек существенно влияет на формирование их НДС и методику ее определения. При  $R > H$ , возникающие усилия в конструкциях оболочки наиболее полно учитываются в расчетах НДС по методу тонкостенного кругового кольца. При  $R \leq H$  характеристики НДС оболочек наиболее точно определяются по методу кольцевых сечений [3, 4].

Однако в последние годы разработано несколько способов регулируемого погружения колодцев: погружение на разбираемых сваях [5]; с использованием наружных консолей, опирающихся на подрабатываемые бермы [6]; с использованием наружных консолей, опираемых на наружные сваи через домкраты [7]; принудительное задавливание домкратами [8]; с помощью вибропогружателей [9]; с помощью пневмопробойников, установленных в отрезном металлическом многосекционном ноже [10–12]. Схемы вышеперечисленных способов погружения колодцев приведены на рис. 2.

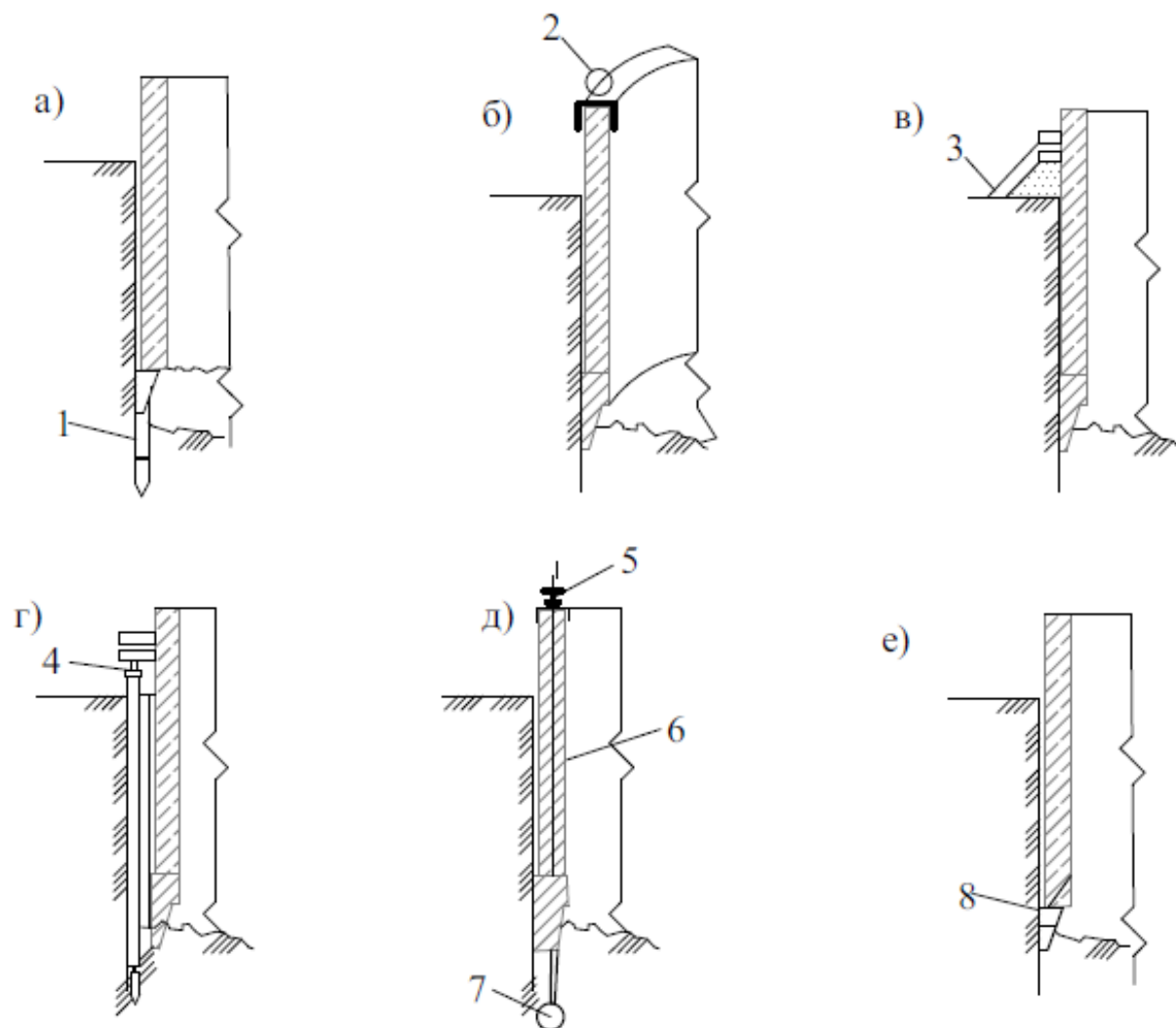


Рис. 2. Способы регулируемого погружения оболочек колодцев: а – на разбираемых сваях под ножом колодца; б – вибропогружение; в – с помощью наружных консолей, опирающихся на подрабатываемые бермы; г – с помощью наружных консолей, опираемых на наружные сваи через домкраты; д – задавливание домкратами; е – с помощью пневмопробойников, установленных в отрезном многосекционном металлическом ноже:  
1 – разбираемые (разрушаемые) сваи; 2 – вибратор; 3 – разбираемые песчанощебеночные бермы; 4 – домкраты на сваях; 5 – гидродомкраты; 6 – трос в канале оболочки колодца; 7 – анкер

С учетом этого возникла необходимость установить влияние разработанного в БГТУ им. В.Г. Шухова способа регулируемого погружения колодцев на их НДС. В настоящей статье приведены результаты исследования влияния количества разбираемых свай на НДС оболочки колодца при  $R > H$  в процессе погружения.

Наиболее невыгодное напряженное состояние оболочки – опускание первого яруса. Для изучения влияния количества разбираемых свай под оболочкой на НДС, была использована программа «STARK ES 1.1», которая основана на методе конечных элементов (МКЭ). Оболочка колодца была разбита на элементы с размерами  $1,0 \times 1,0$  м.

Расчетная схема  $\frac{1}{2}$  оболочки и направления координат усилий приведены на рис. 3.

Программа позволяет в каждом узле оболочки определить местные напряжения:

$M_x$  – изгибающий момент, создающий напряжения в «х» направлении;

$M_y$  – изгибающий момент, создающий напряжения в «у» направлении;

$M_{xy}$  – крутящий момент (кН/м);

$Q_x$  – поперечная сила в «х» направлении (кН);

$Q_y$  – поперечная сила в «у» направлении (кН);

$S_x$  – мембранное напряжение в «х» направлении (кН/м<sup>2</sup>);

$S_y$  – мембранное напряжение в «у» направлении (кН/м<sup>2</sup>);

$S_{xy}$  – мембранное сдвиговое напряжение (кН/м<sup>2</sup>).



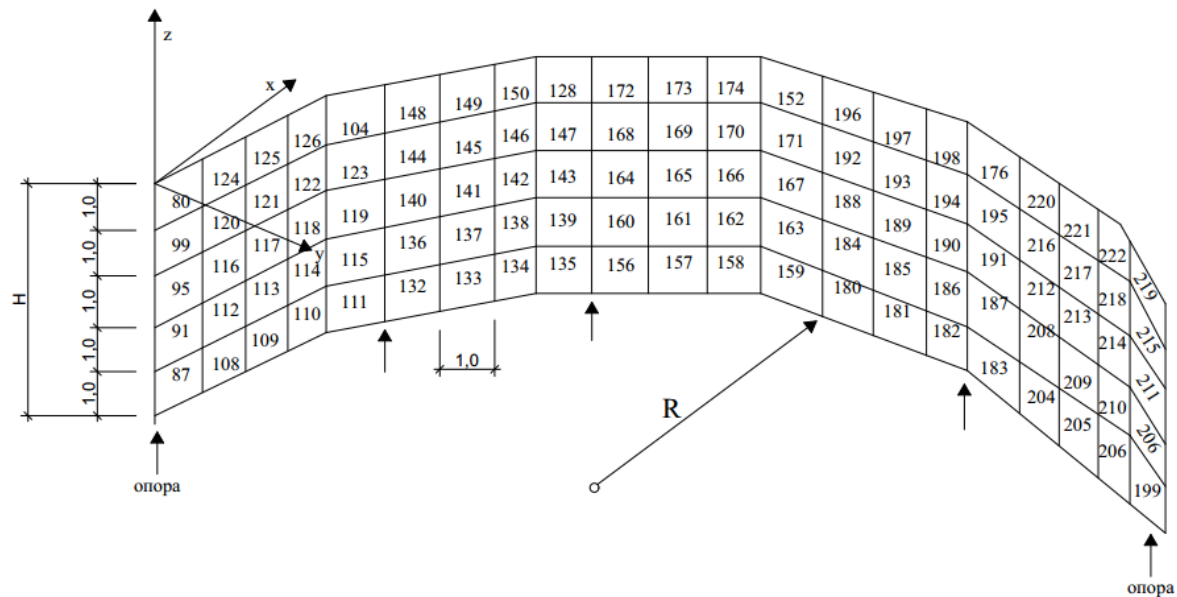
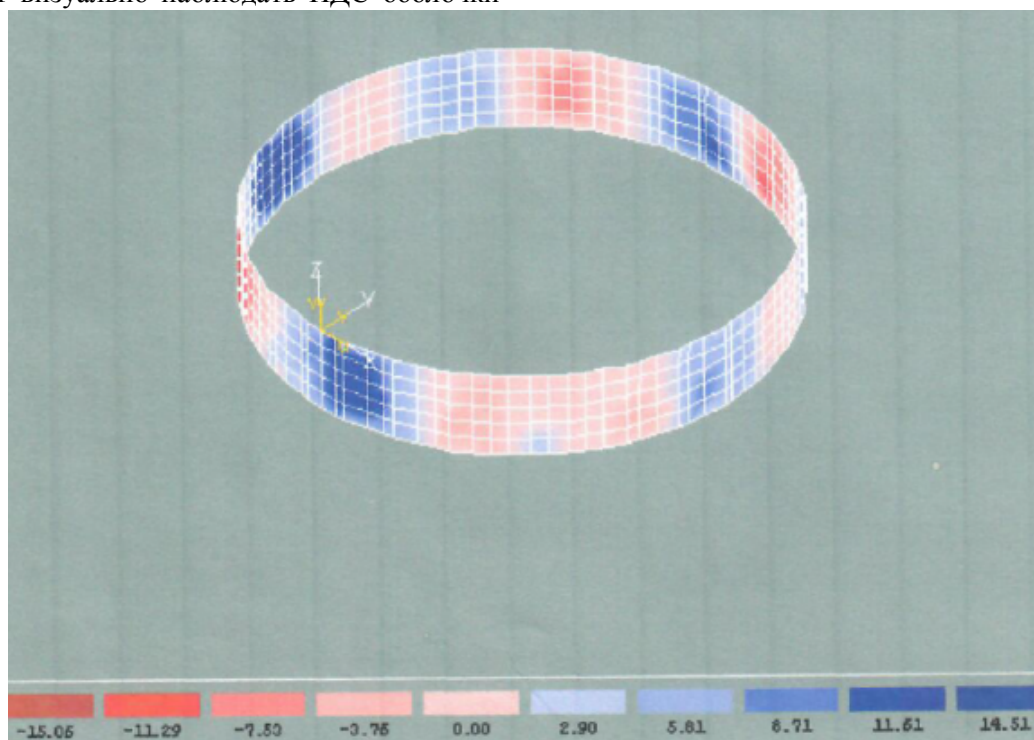


Рис. 3. Расчетная схема 1/2 оболочки и направления координат усилий

При этом результаты расчета программа позволяет представить в аксонометрическом виде, где знаки усилий представлены разным цветом: «-» – красным, «+» – синим. Интенсивность напряжений представляется различной степенью насыщенности цвета, что позволяет визуально наблюдать НДС оболочки

и определить минимальное и максимальное значения вышеприведенных напряжений. На рис. 4 представлено изображение распределения крутящих моментов  $M_{xy}$  в оболочке колодца  $R = 15$  м и  $H = 5$  м при опускании его на восьми опорах-сваях.

Рис. 4. Пример определения крутящих моментов  $M_{xy}$  в оболочке колодца  $R = 15$  м и  $H = 5$  м при опускании его на восьми опорах-сваях

Планом численного эксперимента было предусмотрено проведение 2-х этапов.

На I-ом этапе расчет оболочки колодца радиусом  $R = 15,0$  м и глубиной погружения  $H = 5,0$  м в начальный момент погружения.

При этом количество свай-опор принимали 4, 8 и 12 штук равномерно расставлением по периметру.

На II-ом этапе определили НДС оболочки сооружения глубиной погружения  $5,0$  м и

толщиной стены 1,0 м в начальный период погружения, при этом радиус сооружения при расчетах принимали 10, 12 и 15 м.

В результате проведенного эксперимента установили влияние количества свай-опор и радиуса оболочки на параметры ее НДС.

На рис. 5 приведены зависимости напряжений от изгибающих ( $M_x$  и  $M_y$ ) и крутящего ( $M_{xy}$ ) моментов от количества свай-опор под оболочкой опускного сооружения ( $R = 15,0$  м и  $H = 5,0$  м).

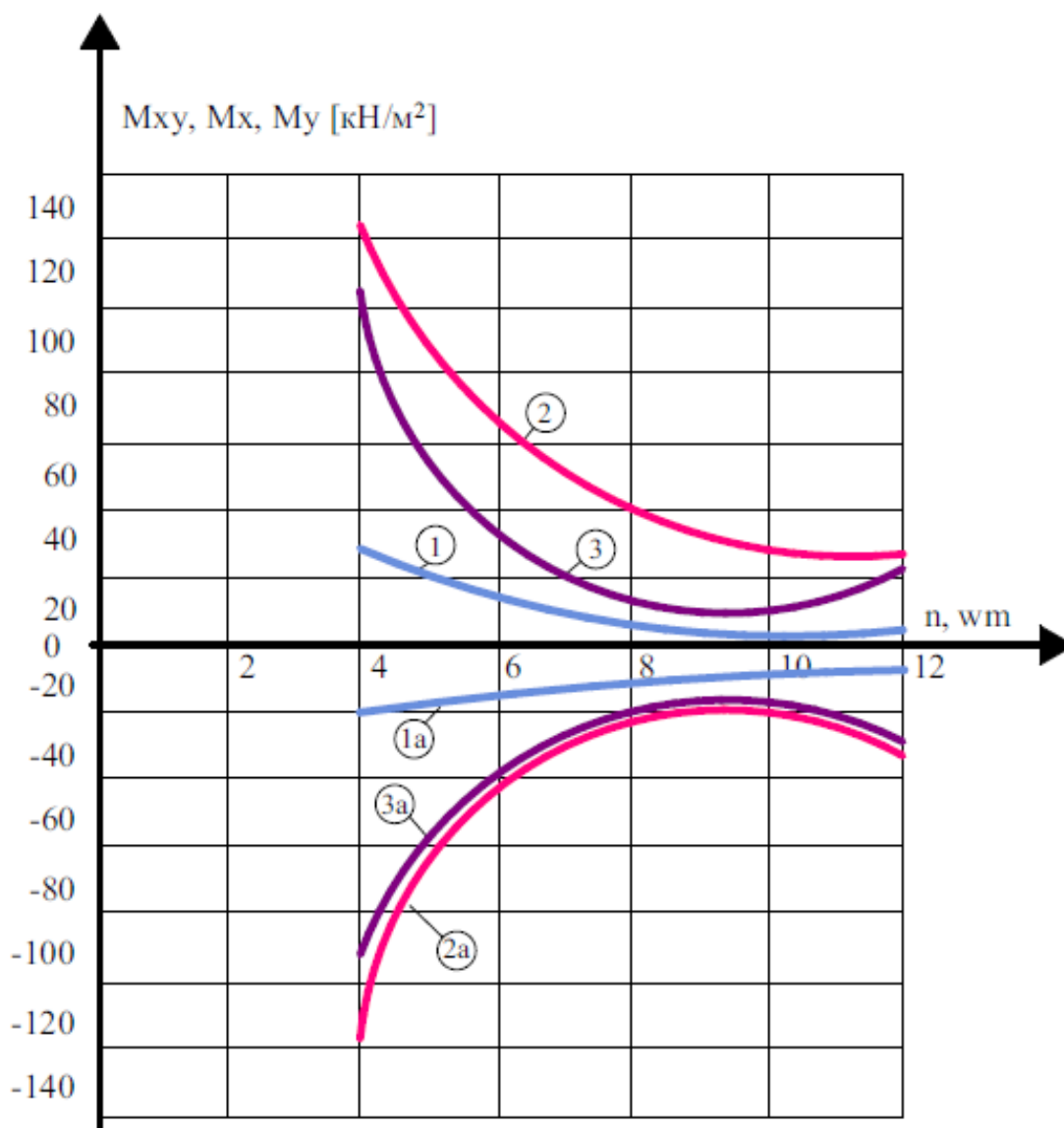


Рис. 5. Зависимость напряжений от изгибающих ( $M_x$  и  $M_y$ ) и крутящего ( $M_{xy}$ ) моментов от количества свай-опор при погружении оболочки ( $R = 15,0$ ;  $H = 5,0$  м): 1, 1a – от изгибающего момента в направлении оси  $y$ ; 2, 2a – от изгибающего момента в направлении оси  $x$ ; 3, 3a – от крутящего момента в осях  $xy$ .

На рис. 6 приведена зависимость мембранных напряжений в направлении осей  $x$  и  $y$  от количества свай-опор при погружении оболочки с параметрами  $R = 15,0$  м и  $H = 5,0$  м.

Полученные результаты I-го этапа позволили сделать вывод о том, что количество свай-опор под оболочкой опускного сооружения оказывают существенное влияние на ее НДС как от изгибающих и крутящего, так и на мембранные напряжения (рис. 5 и 6).

При этом увеличение количества свай-опор для всех видов ведет к резкому снижению. Так,

крутящий момент в оболочке уменьшается со  $105 \text{ кН} \cdot \text{м}$  до  $14,5 \text{ кН} \cdot \text{м}$ , мембранные напряжения в направлении оси  $x$  снижаются с  $2216 \text{ кН/м}^2$  до  $420 \text{ кН/м}^2$ .

Кроме этого установлено, что резкое снижение напряжений в оболочке колодца происходит при увеличении количества свай-опор в интервале с 4 до 8 при дальнейшем увеличении свай-опор напряжения практически остаются постоянными. Это относится ко всем видам напряжений.

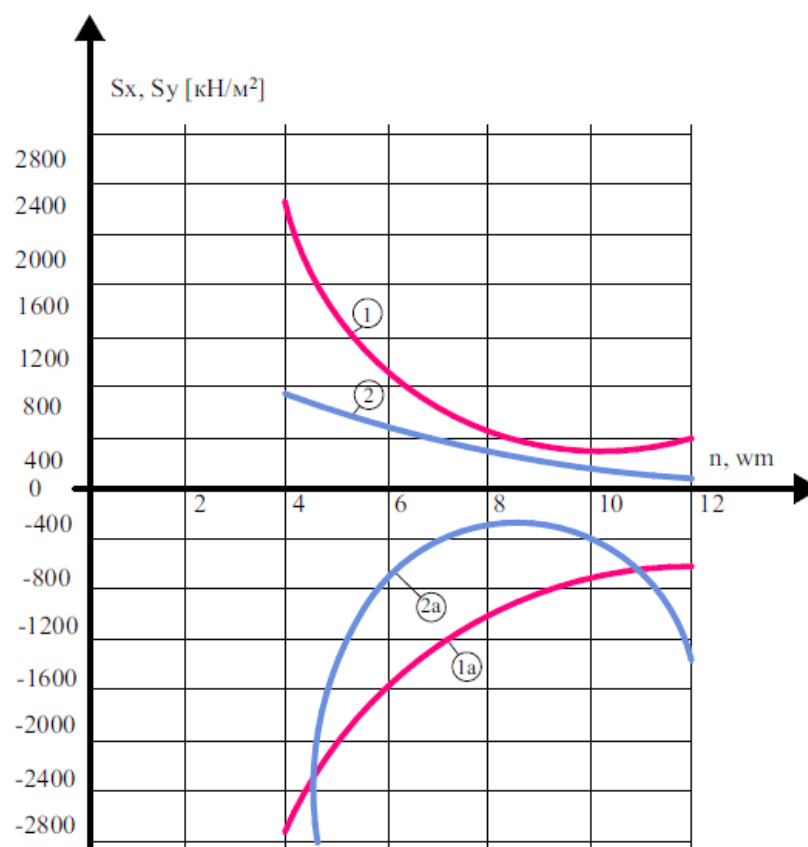


Рис. 6. Зависимость мембранных напряжений в направлении осей  $x$  и  $y$  от количества свай-опор под оболочкой опускного сооружения ( $R = 15,0$ ;  $H = 5,0$  м): 1, 1a – мембранные напряжения в направлении оси  $x$ ; 2, 2a – мембранные напряжения в направлении оси  $y$



Рис. 7. Зависимость напряжений от изгибающего и крутящего моментов в зависимости от радиуса оболочки при высоте сооружения 5,0 м и опирающегося на четыре свай-опоры: 1 – напряжения от изгибающего момента в направлении оси  $y$ ; 2 – напряжения от изгибающего момента в направлении оси  $x$ ; 3 – напряжение от крутящего момента

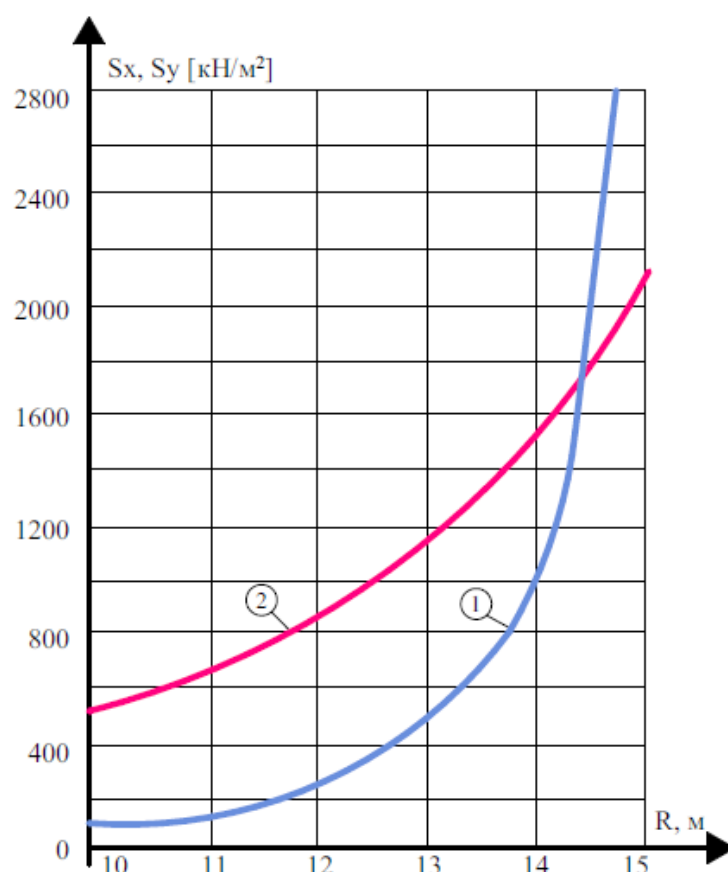


Рис. 8. Зависимость мембранных напряжений от радиуса оболочки опускаемого сооружения ( $H = 5,0$  м, четыре сваи-опоры): 1 – мембранное напряжение в направлении оси  $y$ ; 2 – мембранное напряжение в направлении оси  $x$

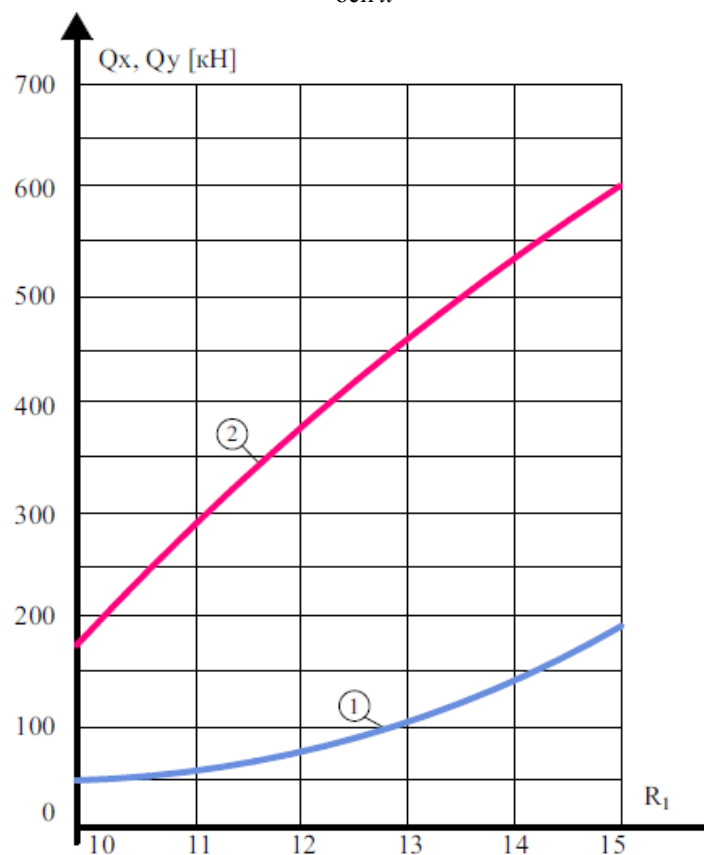


Рис. 9. Зависимость поперечной силы от радиуса оболочки опускаемого сооружения (при  $H = 5,0$  м и четыре сваи-опоры): 1 – поперечная сила в направлении оси  $y$ ; 2 – поперечная сила в направлении оси  $x$

Однако, учитывая, что на I-ом этапе исследований радиус оболочки и ее высота были постоянными ( $\frac{R}{H} = 3,0$ ) значительный интерес представляет изучение влияния геометрических параметров НДС оболочки опускного сооружения при наличии постоянного числа свай-опор под ним.

Поэтому на II-ом этапе исследования было изучено влияние радиуса сооружения на основные параметры НДС оболочки по той же методике. Радиус изменяли от 10 до 15 м.

На рис. 7...9 представлены зависимости напряжений от изгибающего и крутящего моментов, мембранных напряжений и поперечной силы от радиуса оболочки при глубине погружения  $H = 5$  м и четырех сваях-опорах.

Анализ полученных результатов показал, что при увеличении радиуса оболочки с 10 до 15 м все виды напряжений значительно выросли. Так напряжения крутящего момента выросли с 52,7 кН/м до 165,4 кН/м; мембранные напряжения в направлении оси  $y$  увеличились с 147,4 кН/м до 3681,5 кН/м. Поперечная сила в направлении оси  $x$  увеличилась с 229,5 кН до 605,4 кН.

На основе полученных результатов сделаны следующие выводы:

- Количество свай-опор под оболочкой колодца при  $R > H$  оказывает значительное влияние на все виды напряжений в ее конструкциях. При этом при количестве опор более восьми это влияние резко сокращается;

- При использовании разработанного нами регулируемого способа погружения колодцев на разбираемых сваях-опорах, установили оптимальное количество свай под оболочкой – в пределах 8...12 штук;

- При дальнейших исследованиях следует установить влияние на НДС оболочек также бокового давления грунта, трения по боковой поверхности, конструктивного решения колодца;

- В перспективе следует исследовать влияние и других способов регулируемого погружения на НДС оболочек: (задавливание, опускание на бермах и др.).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Винаков М.П. Некоторые вопросы взаимодействия опускных колодцев с грунтовым массивом. В кн. Строительные изделия, конструкции и сооружения. М. 1977. С. 58–74.
2. Винаков М.П. Влияние изменчивости свойств грунтов на напряженно-деформированное состояние оболочек тонкостенных опускных колодцев. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Белгород. 1980 г.
3. Байцур А.И. Опускные колодцы (проектирование и строительство), Киев, Будивельник, 1972. 208 с.
4. Ивахнюк В.А. Строительство и проектирование подземных и заглубленных сооружений. М.: Изд-во АСВ, 1999. 298с.
5. Кочерженко В.В. Технология возведения подземных сооружений: Учебное пособие. М.: Издательство АСВ, 2000. 160с.
6. Авторское свидетельство 617527 [СССР]. Способ погружения опускного колодца в грунт/ В.А. Ивахнюк, М.П. Винаков, Е.М. Кольцов.- Оpubл. в Б.И. 1978. №28.
7. Авторское свидетельство по заявке № 2753244/29-33, положительное решение ВНИИГПЭ от 3.10.1979г / В.А. Ивахнюк, В.В. Кочерженко, М.П. Винаков.
8. Белячевский Б.И., Чумаков Н.С. Сооружения сборных опускных колодцев с принудительным регулированием их погружения // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1975. №6. С. 3–5.
9. Авторское свидетельство 876857 [СССР]. Опускной колодец/В.А. Ивахнюк, А.А. Колекин, В.В. Кочерженко и др. Оpubл. Б.И. 1981, №46.
10. Рекомендации к устройству фундаментов способом опускного колодца, ВНИИОСП. М. 1988.
11. Справочник-проектировщика. Основание, фундаменты и подземные сооружения (под редакцией Сорочана А.Е) М., 2007.
12. СП 63.13330.2012. Бетоны и железобетонные конструкции. Общие положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. М., Минрегион России, 2012.

**Kocherzhenko V.B., Pogorelova I.A.**

## RESEARCH OF INFLUENCE OF TECHNOLOGY OF IMMERSION OF SHELLS OF SUNK WELLS IN THEIR MODE OF DEFORMATION

*The influence of technology of immersion of shells of sunk wells on knocked-down piles – pillars. There was established an optimal number of piles under sunk well from minimal values of mode of deformation, arising in it. There was established an influence of radius of sunk well on knocked-down piles on mode of deformation of shell.*

**Key words:** shell of sunk well, technology of immersion, forces, mode of deformation, pile, moment, radius.

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

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

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

E-mail: vvkpgs1946@yandex.ru

**Погорелова Инна Александровна**, 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: innapogorelova@yandex.ru

Крючков А.А., канд. техн. наук, доц.,  
Жданов А.Е., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ДЕФОРМАТИВНОСТИ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ИТЕРАЦИОННЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА

krjuchkow@yandex.ru

*В статье рассмотрены существующие методы оценки несущей способности и деформативности изгибаемых железобетонных элементов, в том числе составного сечения. Проведен анализ идеализированных и нелинейных зависимостей диаграмм деформирования сжатого бетона. Рассмотрены итерационные методы расчета конструкций: метод последовательного уточнения жесткостей, метод последовательных нагружений, метод начальных напряжений. Приведены их алгоритмы и показано преимущество использования метода последовательного уточнения жесткостей.*

**Ключевые слова:** изгибаемый железобетонный элемент, жесткость, кривизна элемента, итерационный метод расчета.

**Введение.** До начала 21-го века широкое распространение имели методы расчета изгибаемых железобетонных элементов, основанные на упрощенном описании диаграммы «момент-кривизна» (« $M - \kappa$ »), которые, в свою очередь базируются на упрощенных диаграммах «напряжения-деформации» (« $\sigma_b - \varepsilon_b$ »).

Анализируя такие зависимости, можно отметить, что любая идеализация в состоянии давать лишь относительно верный результат и попытки на ее основе осуществлять решение широкого класса задач так или иначе должны привести к привлечению дополнительных эмпирических параметров, поэтому потребность в расчетном аппарате, лишенном этих недостатков, и сейчас не перестает быть актуальной. Наиболее подходящим со всех точек зрения в этом случае представляются методы расчета, основанные на учете фактической криволинейной связи между напряжениями и деформациями сжатия бетона.

Широкое использование идеализированных диаграмм « $\sigma_b - \varepsilon_b$ » явилось следствием с одной стороны все еще недостаточной экспериментальной базой данных, а с другой трудностями вычислительного характера, поэтому исследователи искали подходящие формулы, которые могли бы упростить решение целого ряда задач. Недостаточное развитие ЭВМ в то время препятствовало развитию итерационных методов расчета, которые могли основываться на нелинейных диаграммах работы материала. Развитие вычислительной техники, а также накопление опытных данных устранило эти недостатки.

**Основная часть.** Существующие итерационные методы расчета конструкций имеют ряд разновидностей: метод последовательного уточ-

нения жесткостей, метод последовательных нагружений, метод начальных напряжений. Остановимся на них более подробно.

*Метод последовательного уточнения жесткостей.* Ввиду того, что перемещение элементов системы приходится определять численно, записать зависимость « $M - \kappa$ » в явном виде не удастся. Приходится анализировать напряженно-деформированное состояние, учитывать трещинообразование и деформаций в каждом сечении независимо. Но в то же время связь между распределением усилий в системе и жесткостей ее элементов и зависимость жесткостей от окончательных значений внутренних усилий создают предпосылки для построения итерационного расчетного аппарата.

При этом алгоритм расчета можно записать следующим образом:

1. Принятие жесткостей элементов на основании упругих характеристик сечений;
2. Формирование канонического уравнения и его решение;
3. Определение внутренних усилий в сечениях конструкции;
4. Анализ напряженного состояния и уровня трещинообразования в сечениях конструкции;
5. Определение жесткостей элементов по найденным значениям внутренних усилий;

Далее расчет по пунктам 2-5 продолжается до достижения необходимой точности.

При «запроектной» работе конструкции на стадиях запредельных состояний, наиболее нагруженные сечения выходят на ниспадающий участок диаграммы « $M - \kappa$ ». При этом обнаруживает себя раскачка итерационного процесса (одному значению аргумента соответствует два значения кривизны). Искусственные меры,

усложняющие расчетный аппарат и призванные уменьшить раскачку не всегда дают должный эффект.

*Метод последовательных нагружений.* Другой, широко используемый метод, являющийся разновидностью метода упругих решений является шаговый метод последовательных нагружений.

Основная схема расчета по методу последовательных нагружений может быть представлена в виде:

1. Принятие жесткостей сечений на основании упругих характеристик сечений;
2. Формирование канонического уравнения и его решения при действии начального уровня нагрузки;
3. Определение внутренних усилий в сечениях конструкции при действии начального уровня нагрузки;
4. Суммирование приращений усилий с найденными на предыдущем этапе усилиями;
5. Анализ напряженного состояния и уровня трещинообразования в сечениях конструкции;
6. Определение касательных жесткостей элементов конструкции, соответствующих накопленному значению усилий.

Расчет повторяют по пунктам 2-6 до достижения заданного уровня внешней нагрузки. Для получения удовлетворительной сходимости необходимо очень большое количество «порций», на которое разбивается внешняя нагрузка.

В отличие от метода, описанного выше, рассматривающего конструкцию при фиксированном значении нагрузки, данный метод позволяет анализировать изменения, происходящие в процессе возрастания нагрузки. Благодаря этому появляется возможность моделировать и подробно исследовать все стадии нагружения конструкции.

При применении данного метода большое значение имеет непрерывность зависимости « $M - \aleph$ ». Так при расчете систем на основе зависимостей аналогичных предложенным [1 и др.] возникает необходимость сгладить разрыв в момент трещинообразования, что не всегда позволяет достаточно достоверно оценить напряженное состояние конструкции. Также использование касательной жесткости, не всегда удобно. Замена касательной жесткости на секущую приводит еще к более мелкому дроблению «порций» нагрузки (на последующей итерации используется жесткость, полученная на предыдущей). Однако это все равно не приводит нахождению решения с достаточной степенью точности.

*Метод начальных напряжений.* В данном методе на основании результатов расчета по

упругой схеме находят значения перемещений (относительных деформаций) и им соответствующие усилия (напряжения), вычисляемые с учетом неупругой работы материала (нелинейное слагаемое). В процессе последовательных приближений выполняют многократный расчет заданной системы по упругой схеме на значения внешних нагрузок и начальных напряжений, корректируемых на каждом этапе. В этом случае условием окончания счета служит совпадение результатов, полученных на смежных итерациях. В данном методе используется общая матрица жесткости, составленная на первом этапе расчета в предположении упругой работы системы, которая сохраняется неизменной в процессе итераций. Изменения, связанные с учетом неупругих деформаций, вносятся лишь в свободные члены уравнений. Это делает метод начальных напряжений удобным для расчета систем с большим числом неизвестных. Однако он также неспособен дать достоверное решение при выходе сечений на нисходящую ветвь диаграммы «момент–кривизна».

Таким образом, основными недостатками вышеуказанных методов являются: медленная сходимость итерационного процесса и возможность возникновения его раскачки при нагрузках, близких к разрушающим. Так, по данным [2] при расчете балки отмечалось до 24 итераций. Отмеченные трудности устраняются значительным усложнением алгоритма расчета, и не всегда гарантирует сходимость, как это отмечалось ранее. Кроме того, указанные методы приводят к неопределенности при величине нагрузки, превышающей несущую способность и использование в качестве критерия окончания счета «нерешаемость» задачи представляется не совсем корректным. В этом случае для более точной оценки величины несущей способности приходится или устанавливать малую величину приращения нагрузки, или выполнять предварительный расчет с крупным шагом, а затем производить уточнение несущей способности для последнего шага предварительного расчета.

Как отмечалось, для расчета изгибаемых элементов на всех стадиях нагружения, на основе нелинейных диаграмм предпочтения заслуживает кривая « $\sigma_b - \varepsilon_b$ » с ниспадающим участком. Однако в этом случае зависимость « $M - \aleph$ », как отмечалось выше, тоже будет также иметь ниспадающий участок, что с одной стороны должно привести к уточнению расчета, с другой, может значительно усложнить решение задачи, а в ряде случаев сделать его даже невозможным в связи с трудностями выбора соответствия кривизны моменту (из-за наличия двух значений кривизны при одном и том же значении момен-



та). Кроме того, вследствие более быстрого достижения отдельными сечениями значений, приближающихся к предельным, отмеченные трудности расчета могут проявляться также при невысоких уровнях нагрузки.

Исключить двойственность решения при оценке жесткости сечения и, следовательно, обеспечить решаемость задачи расчета стержневых статически неопределимых конструкций на всех этапах их работы, включая и последующие за исчерпанием несущей способности, удалось авторам [3, 4]. Для этой цели при определении напряженно-деформированного состояния сечения вычисляется величина действующего в нем момента по известному значению кривизны, а не наоборот, как в традиционных методах расчета. В формируемом уравнении в качестве неизвестного выступает величина модуля вектора нагрузки, а в качестве внешнего воздействия – кривизна в одном из сечений.

Следует отметить, что в методе *заданных деформаций* [4], в отличие от большинства традиционных алгоритмических и метода неустойчиво-пластических связей, имеющих в своей основе метод сил, для формирования системы уравнений используется уравнение метода начальных параметров, полученное на основе аппроксимации изогнутой оси балки кубическим сплайном. В результате описание жесткости и других параметров напряженно-деформированного состояния по длине осуществляется не ступенчато, а в виде ломаной, что более полно отражает действительную работу конструкции и позволяет, в конечном счете, сократить количество участков разбиения. Также для достижения требуемой точности требуется меньшее количество итераций.

**Выводы.** Анализируя существующие методы расчета изгибаемых элементов составного сечения, следует отметить отсутствие методологического единства расчета их прочности и деформативности, достижение которого, на наш взгляд, возможно только с использованием криволинейной диаграммы деформирования бетона с соответствующей перестройкой расчетного аппарата.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сборно-монолитные часторебристые перекрытия системы OMNIA (Великобритания) // ЭИ ВНИИИС. Сер.8 (заруб, опыт). 1987. №. 16. С. 2–3.
2. Гуца Ю.П., Лемыш Л.Л. Расчёт деформаций конструкций на всех стадиях при кратковременном и длительном нагружении // Бетон и железобетон. 1985. №11. С.13–16.
3. Дыховичный Ю.А. Жилой дом сборно-монолитной конструкции // Жилищное строительство. 1972. №8. С. 10–11.
4. Голышев А.Б., Бачинский В.Я., Полищук В.П., Харченко А.В., Руденко И.В. Проектирование железобетонных конструкций. Справочное пособие. Киев: Будівельник, 1990. 544 с.
5. Смоляго Г.А., Жданов А.Е., Дрокин С.В., Дронов А.В. Расчет многопролетных железобетонных балок по методу заданных деформаций // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 12. С. 59–61.
6. Смоляго Г.А., Жданов А.Е., Крючков А.А. Методика оценки напряженно-деформированного состояния железобетонных стержневых элементов с учетом влияния поперечной силы // Вестник Отделения строительных наук Российской академии архитектуры и строительных наук. 2005. № 9. С. 364.
7. Никулин А.И. Энергетический подход к трансформированию эталонных диаграмм сжатия бетона // Бетон и железобетон. 2013. № 5. С. 12–14.
8. Клюева Н.В., Колчунов В.И., Рыпаков Д.А., Бухтиярова А.С. Прочность и деформативность сборно-монолитных каркасов жилых зданий пониженной материалоемкости при запроектных воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 1. С. 5–9.
9. Бондаренко В.М., Федоров В.С. Модели в теориях деформации и разрушения строительных материалов // Academia. Архитектура и строительство. 2013. № 2. С. 103–105.
10. Меркулов С.И., Золотых Е.А. Прочность и деформативность железобетонных плит перекрытий с технологическими отверстиями // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. 2008. № 2–18. С. 13–16.
11. Римшин В.И., Кришан А.Л., Мухаметзянов А.И. Построение диаграммы деформирования одноосно сжатого бетона // Вестник МГСУ. 2015. № 6. С. 23–31.

---

**Kryuchkov A.A., Zhdanov A.E.****APPROACH TO AN ESTIMATION DEFORMABILITY OF BENDING CONCRETE ELEMENTS BASED ON ITERATIVE CALCULATION METHOD**

*The article deals with existing methods for evaluating the load bearing capacity and deformability of bent reinforced-concrete elements, including the composite section. The analysis of idealized nonlinear dependencies and compressed concrete deformation diagrams. Iterative methods for structural analysis: the method of successive refinement of stiffness, the method of successive loadings, initial stress method. Results of their algorithms and shows the advantage of using the method of the dual stiffness are considered.*

**Key words:** *flexural reinforced concrete element, stiffener, flection of the element, the iterative calculation method.*

---

**Крючков Андрей Александрович**, 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: krjuchkow@yandex.ru

**Жданов Александр Егорович**, 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: zd-54@list.ru

## О ДИНАМИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА ПРИ НЕОДНОРОДНОМ ИМПУЛЬСНОМ СЖАТИИ

nikulin137@yandex.ru

Для определения параметров диаграмм динамического неоднородного сжатия бетона используется гипотеза о постоянстве энергетического критерия разрушения этого материала. Предложена эмпирическая зависимость для нахождения коэффициента динамической прочности бетона при неоднородном сжатии с учетом времени его нагружения до разрушения. Для некоторых классов тяжелого бетона приведены конкретные значения параметров для этой зависимости. С помощью составленной программы расчета выявлено существенное влияние продолжительности импульсного нагружения на параметры диаграмм динамического неоднородного сжатия бетона. Некоторые результаты расчетов представлены в статье.

**Ключевые слова:** динамическая прочность, импульсное нагружение, неоднородное сжатие, энергетический критерий разрушения, диаграмма динамического сжатия бетона, численный эксперимент.

Согласно действующему Техническому регламенту о безопасности зданий и сооружений в практику проектирования введено требование о том, чтобы основные несущие конструкции могли выдержать без обрушения однократное (импульсное) воздействие сверхкратковременной динамической нагрузки [2, 7, 13]. Это становится возможным исходя из многочисленных экспериментальных данных [1, 4, 6, 12, 16], которые показывают, что прочность бетона при высокоскоростном нагружении существенно превышает значения, найденные в условиях стандартных одноосных испытаний, продолжительность которых исчисляется часами и минутами.

Как отмечается в ряде публикаций [2, 5, 13, 15], повышенная ударная прочность бетона связана с проявлением мгновенных внутренних сил его вязкого сопротивления, непосредственно воспринимающих внешнее воздействие и тормозящих развитие поперечных деформаций, являющихся физической причиной его разрушения.

Так, например, в монографии Ю.М. Баженова [1], для получения зависимости  $R_b^d = f(\tau)$  были испытаны более 500 образцов различных бетонов. Образцы нагружали на пневмодинамических установках, усилия регистрировали с помощью электронной аппаратуры. Минимальное время сжатия до разрушения составляло 0,001 с.

Сопротивление бетона динамическому импульсному сжатию в этих экспериментах оценивалось коэффициентом динамического упрочнения  $K_d$ , который, являясь безразмерным критерием, позволил обобщить результаты исследования бетонов различной прочности.

Как показано в работе [1], график зависимости коэффициента  $K_d$  от времени нагружения образцов ( $\tau$ ) вплоть до их полного разрушения является нелинейным, и для его аналитической интерпретации может использоваться уточненная эмпирическая формула, предложенная в статье [9]:

$$K_d = 1,58 - 0,4 \lg \tau + 0,129 (\lg \tau)^2 - 0,0149 (\lg \tau)^3. \quad (1)$$

При этом зависимость (1) справедлива для интервала времени нагружения  $\tau = 1 \div 2000$  мсек.

Полученные экспериментальные результаты совпадают с данными других исследователей: Д.И. Гладкова [4], О.П. Квирикадзе [6], Г.И. Попова [12], В.А. Рахманова, Е.Л. Розовского, И.А. Цупкова [14], К.А. Цветкова [16].

Однако, у зависимости (1), несмотря на её повышенную точность при сопоставлении с усреднёнными опытными данными, есть существенный недостаток, заключающийся в отсутствии учёта конкретных деформативно-прочностных свойств бетонов. Так, в ряде исследований [2, 5, 10, 13, 15] отмечается, что бетоны низкой и высокой прочности по-разному ведут себя (деформируются) при одноосных импульсных динамических нагрузках. Например, численными исследованиями в работе [10] установлено, что с увеличением класса бетона коэффициент его динамической прочности при центральном сжатии  $K_d$  снижается с 2,879 для В10 до 1,478 для В100. Такие результаты получены с помощью энергетического подхода к разрушению бетона, впервые предложенного проф. В.М. Бондаренко [3] и получившего своё дальнейшее развитие в монографии С.И. Меркулова [8], где учёт режимности нагружения выполнен на ос-

нове постулата об инвариантности величины потенциальной энергии деформирования материала к моменту разрушения.

Представляется, что аналогичный подход можно применить для определения динамической прочности бетона, находящегося в услови-

ях неоднородного напряженного состояния, характеризующегося сверхмалым временем внецентренного сжатия или изгиба образца до разрушения (рис. 1). При этом кривая 3 соответствует меньшему времени сжатия образца до разрушения по сравнению с кривой 2.

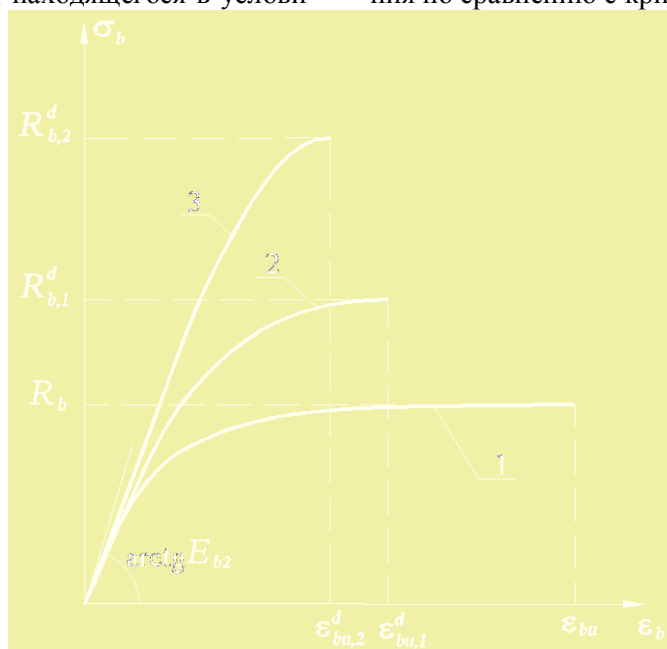


Рис. 1. Диаграммы деформирования бетона при неоднородном статическом (кривая 1) и динамическом сжатии с учетом различного времени нагружения внецентренно сжатых или изгибаемых образцов (кривые 2 и 3)

Для аналитического описания диаграмм неоднородного сжатия бетона при статическом нагружении используем предложенную в работе [11] зависимость следующего вида:

$$\sigma_b = \frac{E_{b2}\varepsilon_b(1 + D_{b2}\varepsilon_b)}{1 + C_{b2}\varepsilon_b}, \quad (2)$$

где  $E_{b2}$ ,  $D_{b2}$ ,  $C_{b2}$  – начальный модуль упругости и параметры нелинейности деформирования бетона при неоднородном сжатии, рассчитываемые по методике [11];  $\sigma_b$ ,  $\varepsilon_b$  – текущие значения напряжений и относительных деформаций сжатия.

Для аналитического описания диаграммы динамического неоднородного сжатия бетона также используется зависимость (2), у которой параметры нелинейности ( $D_{b2}^d$ ,  $C_{b2}^d$ ) и функционально зависимые переменные ( $\sigma_b^d$ ,  $\varepsilon_b^d$ ) имеют соответствующий индекс принадлежности ( $d$ ).

Принимаем следующие гипотезы и допущения для определения параметров диаграмм динамического неоднородного сжатия бетона при различных скоростях нагружения:

– рассматривается неоднородное сжатие бетонных образцов (что соответствует, например, сжатой зоне нормального сечения изгибаемого

элемента) в условиях постоянной скорости увеличения напряжений (МПа/сек);

– величина удельной энергии деформирования бетона при неоднородном сжатии непосредственно перед его разрушением является константой, не зависящей от скорости нагружения образца;

– начальные модули упругости бетона при статическом и динамическом неоднородном сжатии равны между собой;

– касательные модули деформаций в предельной точке диаграмм статического и динамического неоднородного сжатия равны нулю.

Аналитическое отображение принятых гипотез приводит к следующей системе уравнений:

$$E_{b2} = E_{b2}^d, \quad (3)$$

$$D_{b2}^d = -\frac{R_b^d}{E_{b2}^d(\varepsilon_{bu}^d)^2}, \quad (4)$$

$$C_{b2}^d = \frac{E_{b2}^d}{R_b^d} - \frac{2}{\varepsilon_{bu}^d}, \quad (5)$$

$$\int_0^{\varepsilon_{bu}} \sigma_b d\varepsilon_b = \int_0^{\varepsilon_{bu}^d} \sigma_b^d d\varepsilon_b^d, \quad (6)$$

где  $E_{b2}^d$ ,  $D_{b2}^d$ ,  $C_{b2}^d$  – начальный модуль упругости и параметры нелинейности деформирования бетона при неоднородном динамическом сжа-

тии;  $R_b^d$ ,  $\varepsilon_{bu}^d$  – соответственно, предельная прочность и величина предельной относительной деформации бетона при неоднородном динамическом сжатии.

Последнее равенство (6) отражает гипотезу

$$\frac{E_{b2}\varepsilon_{bu}}{C_{b2}} \left\{ \frac{D_{b2}\varepsilon_{bu}}{2} + \left( 1 - \frac{D_{b2}}{C_{b2}} \right) \left( 1 - \frac{\ln(1 + C_{b2}\varepsilon_{bu})}{C_{b2}\varepsilon_{bu}} \right) \right\} = \frac{E_{b2}^d\varepsilon_{bu}^d}{C_{b2}^d} \left\{ \frac{D_{b2}^d\varepsilon_{bu}^d}{2} + \left( 1 - \frac{D_{b2}^d}{C_{b2}^d} \right) \left( 1 - \frac{\ln(1 + C_{b2}^d\varepsilon_{bu}^d)}{C_{b2}^d\varepsilon_{bu}^d} \right) \right\}. \quad (7)$$

В полученной системе четырех уравнений (3), (4), (5), (7) неизвестными являются пять параметров ( $E_{b2}^d$ ,  $D_{b2}^d$ ,  $C_{b2}^d$ ,  $R_b^d$ ,  $\varepsilon_{bu}^d$ ). В качестве недостающего пятого уравнения принимаем эмпирическую зависимость для нахождения коэффициента динамической прочности бетона при неоднородном сжатии  $K_{d2}$ , качественный вид которой представлен на рис. 2:

$$K_{d2} = \frac{R_b^d}{R_b} = \frac{l_{b2}^d + k_{b2}^d \cdot t_d}{1 + n_{b2}^d \cdot t_d + m_{b2}^d \cdot t_d^2}, \quad (8)$$

где  $R_b$  – прочность бетона при неоднородном статическом сжатии;  $R_b^d$  – динамическая прочность бетона при заданном времени действия ( $t_d$ ) постоянно увеличивающейся сжимающей нагрузки;  $l_{b2}^d$ ,  $k_{b2}^d$ ,  $n_{b2}^d$ ,  $m_{b2}^d$  – коэффициенты

об инвариантности величины удельной энергии деформирования бетона при сжатии непосредственно перед его разрушением. В результате интегрирования зависимости (6) получаем следующее выражение:

уравнения, получаемые экспериментально-теоретическим путём для изгибаемых или внецентренно сжатых образцов из бетона одной прочности.

В таблице 1 на основании обобщения ограниченного объема экспериментальных и расчетных данных, приведенных в работах [1, 4, 6, 14, 16], представлены значения коэффициентов уравнения  $l_{b2}^d$ ,  $k_{b2}^d$ ,  $n_{b2}^d$ ,  $m_{b2}^d$  для некоторых классов тяжелого бетона. Параметр  $l_{b2}^d$  представляет собой максимально возможный по величине коэффициент динамической прочности бетона  $K_{d2} = R_b^d / R_b$ , который соответствует мгновенному неоднородному сжатию бетона до его разрушения, т.е. при  $t_d = 0$ .

Таблица 1

**Коэффициенты уравнения (8) для некоторых классов тяжелого бетона при динамическом неоднородном сжатии**

№ п/п	Класс бетона	Параметр $l_b^d$	Параметр $k_b^d$	Параметр $n_b^d$	Параметр $m_b^d$
1	B10	6,471	985,751	962,303	$1,9544 \cdot 10^{-2}$
2	B30	5,246	644,857	636,349	$7,0931 \cdot 10^{-3}$
3	B50	4,555	487,880	483,200	$3,9028 \cdot 10^{-3}$
4	B60	4,283	431,934	428,768	$2,6408 \cdot 10^{-3}$
5	B80	3,865	401,032	398,699	$1,9462 \cdot 10^{-3}$
6	B100	3,505	386,682	384,940	$1,4532 \cdot 10^{-3}$

Из таблицы 1 следует, что динамические пределы прочности при неоднородном сжатии у бетонов различных классов существенно различаются. Так, для низкопрочного бетона класса B10 динамический предел прочности  $R_b^d$  более чем в 6 раз превышает аналогичную величину при статическом сжатии  $R_b$ . У высокопрочного бетона класса B100 это превышение существенно меньше (в 3,5 раза). Следовательно, с увеличением класса бетона коэффициент его динамической прочности при неоднородном сжатии  $K_{d2}$  понижается с 6,471 для B10 до 3,505 для B100.

Совместное решение уравнений (3), (4), (5), (7), (8) позволяет определить параметры зависи-

мости (2), описывающей диаграмму неоднородного динамического сжатия бетона при заданном времени действия импульсного нагружения ( $t_d = 0,001 \dots 0,1$ ). Учитывая нелинейный характер составленных уравнений, для их численного решения используется итерационная процедура, которая реализована в составленной программе расчета «Beton\_6D». В качестве примера в таблице 2 приведены результаты расчетов искомых параметров диаграмм статического и динамического неоднородного сжатия бетона класса B30 при различном времени нагружения изгибаемых образцов до их разрушения.

Таблица 2

**Параметры диаграмм динамического неоднородного сжатия тяжелого бетона класса В30 при различном времени нагружения изгибаемых образцов вплоть до их разрушения**

Время нагружения, сек	Параметр $R_b^d$ , МПа	Параметр $\varepsilon_{bu}^d$	Параметр $E_{b2}^d$ , МПа	Параметр $D_{b2}^d$	Параметр $C_{b2}^d$
1200	22,0	0,00355	96110	-18,191	3804,815
1,0	22,44	0,00349	96110	-19,196	3709,491
0,1	23,74	0,00332	96110	-22,357	3446,733
0,01	34,94	0,00242	96110	-62,006	1924,726
0,001	79,20	0,00138	96110	-433,987	-237,902

Представленные в таблице 2 результаты показывают, что при уменьшении времени нагружения изгибаемых образцов с 1200 сек до 1,0 сек изменения динамических величин прочности бетона при неоднородном сжатии  $R_b^d$  и соответствующей относительной предельной деформации  $\varepsilon_{bu}^d$  оказались незначительными (< 2%). Дальнейшее сокращение времени нагружения изгибаемого образца (до 0,01 сек) приводит уже к более заметным результатам: прочность  $R_b^d$  повысилась на 58,8 %, а предельная относительная деформация  $\varepsilon_{bu}^d$  уменьшилась на 46,7 %. Для ещё более короткого интервала приложения разрушающей нагрузки на изгибаемый образец (0,001 сек) прочность бетона  $R_b^d$  возросла в 3,6 раза, а предельная относительная деформация уменьшилась в 2,57 раза.

Таким образом, на основе принятых гипотез и предпосылок разработана методика расчета динамической прочности бетона при различном времени нагружения элементов, включая определение параметров аналитических зависимостей, описывающих диаграммы неоднородного сжатия бетона при импульсном динамическом нагружении в условиях постоянной скорости увеличения напряжений в испытываемых до разрушения образцах.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баженов Ю.М. Бетон при динамическом нагружении. М.: Стройиздат, 1970. 292 с.
2. Белов Н.Н., Копаница Д.Г., Кумпак О.Г., Югов Н.Т. Расчет железобетонных конструкций на взрывные и ударные нагрузки. Нортхэмптон-Томск. 2004. 433 с.
3. Бондаренко В.М. Некоторые вопросы нелинейной теории железобетона. Харьков: Изд-во ХГУ, 1968. 324 с.
4. Гладков Д.И. Сопротивление бетона разрушению // Известия вузов. Строительство. 2004. № 8. С. 47–53.

5. Забегаев А.В. К построению общей модели деформирования бетона // Бетон и железобетон. 1994. № 6. С. 23–26.

6. Квирикадзе О.П. Влияние скорости нагружения на деформации и прочность бетона // Ползучесть строительных материалов и конструкций: Сб. научн. трудов; Под ред. А.Р. Ржаницына. М.: Стройиздат, 1964. С. 269–276.

7. Колчунов В.И., Ключева Н.В., Андросова Н.Б., Бухтиярова А.С. Живучесть зданий и сооружений при запроектных воздействиях: Научное издание. М.: Изд-во АСВ, 2014. 208 с.

8. Меркулов С.И. Основы теории реконструкции железобетона: монография. Курск: Изд-во КГТУ, 2009. 248 с.

9. Никулин А.И. Прочность бетона при динамическом импульсном растяжении // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 6. С. 6–10.

10. Никулин А.И., Али Фадиль А.Х. Прочность бетона при импульсном динамическом сжатии с учетом времени нагружения // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: материалы Международных академических чтений. Курск: Курск. гос. ун-т, 2014. С. 92–98.

11. Никулин А.И., Обернихин Д.В., Никулина Ю.А. Предельная прочность изгибаемых железобетонных элементов на основе применения энергетического критерия разрушения бетона // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: материалы международных академических чтений. Курск: Курск. гос. ун-т, 2014. С. 98–107.

12. Попов Г.И. Железобетонные конструкции, подверженные действию импульсных нагрузок. М.: Стройиздат, 1986. 128 с.

13. Попов Н.Н., Расторгуев Б.С. Особенности расчета конструкций на действие кратковременных динамических нагрузок // Бетон и железобетон. 1985. № 6. С. 15–16.

14. Рахманов В.А., Розовский Е.Л., Цупков И.А. Влияние динамического воздействия на прочностные и деформативные свойства тяжелого бетона // Бетон и железобетон. 1987. № 7. С. 19–20.

15. Тамразян А.Г., Хетагуров А.Т. К влиянию свободной воды на динамическое поведение бетона // Бетон и железобетон. 2002. № 3. С. 8–10.

прочностных и деформативных свойств бетона при динамическом нагружении в условиях одноосного и двухосного сжатия // Вестник МГСУ. 2007. № 3. С. 109–120.

16. Цветков К.А. Основные результаты экспериментально-теоретических исследований

---

**Nikulin A.I.**

**ABOUT THE DYNAMIC CONCRETE STRENGTH UNDER NON-UNIFORM PULSING COMPRESSION**

*To determine the parameters of the concrete non-uniform compression dynamic diagrams the hypothesis of the constancy of the energy criterion of destruction of this material is used. An empirical relationship for finding the dynamic strength of concrete in non-uniform compression coefficient taking into account the time it is loaded to failure was suggested. For some heavy concrete classes specific parameters for that addition are given. With the compiled calculation program a significant effect on the duration of the pulse parameters of the dynamic loading of concrete non-uniform compression diagrams was revealed. Some calculation results are presented in the article.*

**Key words:** *dynamic strength, impulse loading, non-uniform compression, energy fracture criterion, the concrete compression dynamic diagram, numerical experiment.*

---

**Никulin Александр Иванович**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства.

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

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

E-mail: nikulin137@yandex.ru

## ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ПРИ СМЯТИИ В БОЛТОВОМ СОЕДИНЕНИИ

solodov\_niko\_v@mail.ru

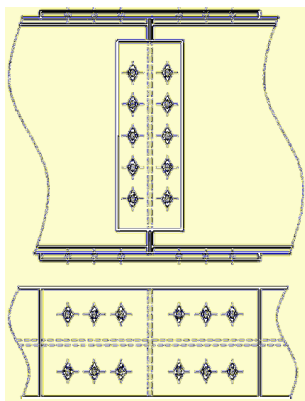
Болтовые соединения металлических конструкций на обычных болтах, рассчитанные в соответствии с действующими нормами, обладают определёнными резервами несущей способности. Как показали испытания болтовых соединений, по критерию смятия коэффициент запаса может превышать два. В настоящей статье показана возможность уточнения методики расчета болтового соединения на смятие и сжижения на этой основе металлоемкости болтовых соединений.

**Ключевые слова:** металлические конструкции, болтовое соединение, деформации смятия, контактная задача.

В соединениях строительных металлических конструкций широко применяются соединения на обычных не преднапряженных болтах. Примерами таких соединений являются узлы монтажных стыков на накладках по полкам и стенкам в двутавровых балках, узлы соединения отпавочных марок стропильных ферм с приме-

нением накладок, узлы примыкания элементов связей к колоннам, если связи обеспечивают передачу усилия, и т.п. Конструктивное решение узла такого типа, фото испытания болтового соединения и модели болтового соединения показаны на рис. 1.

а)



б)



в)



Рис. 1 Примеры болтовых соединений:

- а) узел монтажного стыка балки; б) фото испытания болтового соединения на накладках; в) физическая модель смятия болтового соединения

В таких узлах, воспринимающих усилие сдвига, одним из возможных предельных состояний является смятие кромки детали стержнем болта. В соответствии с [1] расчетная формула для этого предельного состояния имеет вид:

$$N_{bp} = R_{bp} \times d \times \sum t_{min} \times \gamma_b, \quad (1)$$

где  $N_{bp}$  – несущая способность одного болта.

Суть расчета заключается в том, что несущая способность соединения будет обеспечена, если напряжения смятия по поверхности контакта в предельном состоянии не превысят расчетного сопротивления смятию стали, из которой изготовлены детали узла:

$$\frac{N_b}{d \times \sum t_{min} \times \gamma_b} \leq R_{bp} \times \gamma_c \quad (2)$$

где  $N_b$  – усилие, приходящееся на один болт.

Вместе с тем, в работе [2] отмечается, что работа и разрушение от смятия в болтовом соединении фактически не реализуется. Термин «смятие» имеет условный характер. Разрушение при «смятии» в действительности происходит в форме выкалывания. Сопротивление «смятию» по существу зависит от площади разрушения при выкалывании, которая, в свою очередь, определяется площадью выкалывания, т.е. произведением толщины детали ( $\sum t_{min}$ ) и длины траектории выкалывания.

Исходя из условия (2) в нормах назначены минимальные расстояния от края детали до ближайшего отверстия и расстояния между отверстиями в направлении приложенного усилия.



Такую же условность имеет термин «расчетное сопротивление смятию» в болтовых и заклепочных соединениях. В работе [2] его величину предложено находить из условия:

$$\frac{[n]_{\text{см}}}{[n]} = \frac{a_1}{d} \quad (3)$$

где  $a_1$  – расстояние от центра крайнего отверстия до края детали;  $d$  – диаметр стержня болта или заклепки;  $[n]_{\text{см}}$  – допускаемое напряжение по условию смятия;  $[n]$  – допускаемое напряжение по пределу текучести.

Методика расчета болтовых соединений по критерию смятия в действующих нормах [1] по форме мало изменилась. Но величины расчетных сопротивлений смятию и коэффициенты, отражающие действительную работу, в [1] назначены в соответствии с методом предельных состояний, а не по методу допускаемых напряжений, как это следует из формулы (3).

Условный характер расчета на смятие стал причиной проведения новых исследований болтовых соединений. Так, в Проектстальконструкция им. Н. П. Мельникова была разработана методика расчета рассматриваемых болтовых со-

единений, в основу которой положен деформационный критерий [5]. При таком подходе устраняется внутреннее противоречие «условно-расчета на смятие».

Напряженно-деформированное состояние (НДС) в окрестности отверстия деталей болтового соединения, воспринимающих сдвигающие усилия, можно описать, исходя из модели контактной задачи теории упругости. В таких соединениях зазоры между внутренними (болт) и охватывающими (кромка отверстия) поверхностями относительно небольшие, особенно при классе точности А.

В соответствии с нормативной методикой расчета одно из возможных предельных состояний болтового соединения определяется смятием кромки отверстия. В связи с этим, предельная нагрузка по критерию смятия для болтового соединения может быть найдена из решения задачи о вдавливании круглого штампа в тело с круговой полостью. После воздействия нагрузки и развития деформации тело соприкасается (контактирует) со штампом по дуге окружности достаточно большой длины, как показано на рис.2.

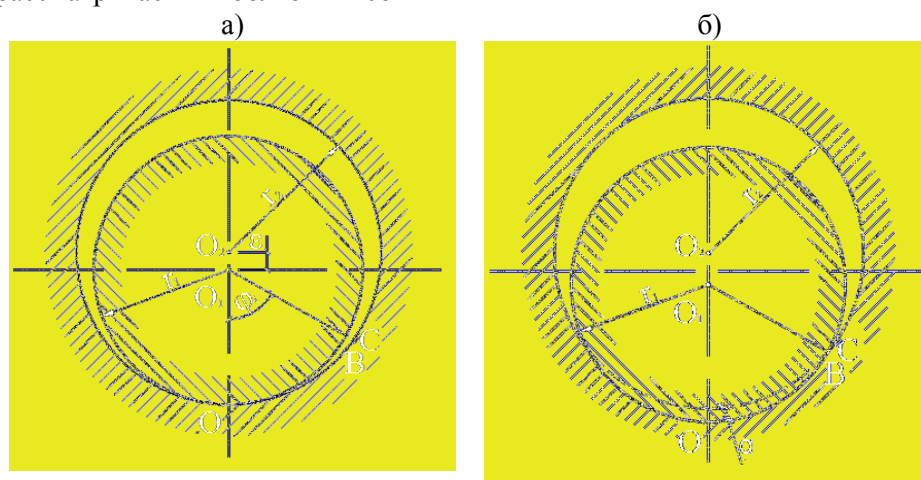


Рис. 2. Внутренний контакт круглого штампа с кромкой отверстия до (а) и после (б) приложения нагрузки

В методике норм России длина дуги в предельном состоянии по критерию смятия принимается равной  $2r_1$ . Однако, для болтов разного диаметра и соединений разных классов точности (А, В, С) длина дуги поверхности контакта является, скорее всего, переменной и зависит от глубины вдавливания болта в кромку детали.

Для нахождения границ контакта воспользуемся методом [6]. Пусть в кромку кругового отверстия упругой плоскости вдавливается упругий круглый штамп (рис.2). Точки В и С совпадут после приложения нагрузок, если выполнено условие [2]

$$U_1 + U_2 = \alpha \cos \varphi - \varepsilon (1 - \cos \varphi), \quad (4)$$

где  $U_1$  и  $U_2$  – радиальные смещения В и С;  $\varepsilon$  – радиальный зазор:  $\varepsilon = r_2 - r_1$ ;  $r_1, r_2$  – радиусы

внутреннего и наружного тел;  $\varphi$  – угловая координата совмещенных точек В и С;  $\alpha$  – сближение взаимодействующих тел при сжатии.

В первом приближении для упрощения расчета принимаем  $\varepsilon = 0$  в связи с малостью радиусов внутреннего отверстия и болта, силами трения также пренебрегаем.

Радиальные смещения  $U_1$  и  $U_2$  можно получить, решив задачу о сжатии круглого штампа и растяжении плоскости с круговым отверстием.

Выражение для определения перемещения  $U_1$  точки С в направлении к центру  $O_1$  (рис.3а), вызванного сосредоточенными силами Р, имеет вид [6]

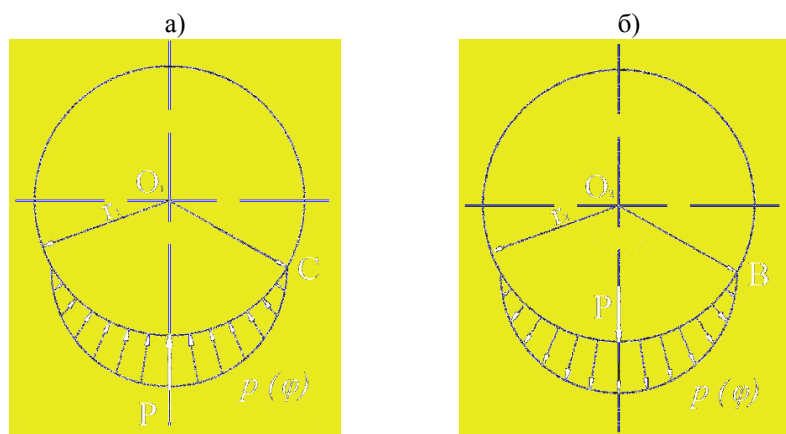


Рис. 3. Расчетные схемы к задаче о контакте болта и отверстия

$$u_1 = -\frac{2P}{\pi E} \cos \varphi \times \ln(\operatorname{tg}(0.5 * |\varphi|)) + \frac{1-\nu}{2E} P \times \sin|\varphi| - \frac{2P}{\pi E}; \quad (5)$$

$$\vartheta = \frac{1-\nu^2}{\pi E}; \quad X = \frac{(1-2\nu)(1+\nu)}{2E}; \quad (6)$$

При вводе математических выражений для  $U_1$  и  $U_2$  в этом случае принимают допущения Штаермана, а именно, считают, что внешние

силы приложены к телам так же, как давления, действующие в области контакта (рис.2). Таким образом,

$$u_1 = \int_{-\infty}^{\infty} p(\varphi') r_1 \left\{ -2\vartheta_1 \left[ 1 + \cos(\varphi - \varphi') \times \ln \left( \operatorname{tg} \left( \frac{|\varphi - \varphi'|}{2} \right) \right) \right] + X_1 \sin|\varphi - \varphi'| \right\} d\varphi'; \quad (7)$$

$$u_2 = \int_{-\varphi_0}^{\varphi_0} p(\varphi') r_2 \left[ -2\vartheta_2 \cos(\varphi - \varphi') \times \ln \left( \operatorname{tg} \left( \frac{|\varphi - \varphi'|}{2} \right) \right) - X_2 \sin|\varphi - \varphi'| \right] d\varphi; \quad (8)$$

С учетом условия (4) исходное интегральное уравнение рассматриваемой задачи принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} & 2(\vartheta_1 * r_1 + \vartheta_2 r_2) \int_{-\varphi_0}^{\varphi_0} p(\varphi') \cos(\varphi - \varphi') \times \ln \left( \operatorname{tg} \left( \frac{|\varphi - \varphi'|}{2} \right) \right) d\varphi' \\ & - (X_1 r_1 + X_2 r_2) \int_{-\varphi_0}^{\varphi_0} p(\varphi') \sin|\varphi - \varphi'| d\varphi' + 2\vartheta_1 r_1 \int_{-\varphi_0}^{\varphi_0} p(\varphi') d\varphi' \\ & = \varepsilon * (1 - \cos \varphi) - \alpha \cos \varphi; \quad -\varphi_0 < \varphi < \varphi_0, \end{aligned} \quad (9)$$

где  $\vartheta_1$ ,  $\vartheta_2$  и  $X_1$ ,  $X_2$  – упругие постоянные определяемые по формуле (6).

Для решения задачи, кроме ограниченной и непрерывной функции  $p(\varphi)$ , необходимо определить границы участка контакта, т.е. найти значение  $\varphi_0$ . Поэтому совместно с исходным уравнением (6) рассматривают условие статической эквивалентности силы  $P$  и сил, распределённых по зоне контакта:

$$(\vartheta_1 r_1 + \vartheta_2 r_2) \int_{-\varphi_0}^{\varphi_0} p(\varphi') \operatorname{ctg}(\varphi - \varphi') d\varphi' - (X_1 r_1 + X_2 r_2) \int_{-\varphi_0}^{\varphi_0} p(\varphi') d\varphi' = \beta + \gamma \varphi; \quad (11)$$

$$-\varphi_0 < \varphi < \varphi_0$$

где  $\beta$  – произвольная постоянная;

$$\gamma = \vartheta_2 r_2 \int_{-\varphi_0}^{\varphi_0} p(\varphi') d\varphi' + 0.5\varepsilon; \quad (12)$$

С учетом условия  $p(\pm\varphi_0) = 0$  уравнение (11) можно привести к интегро-

$$r \int_{-\varphi_0}^{\varphi_0} p(\varphi) \cos \varphi d\varphi = P, \quad (10)$$

где  $r$  – номинальный радиус соединения (так как, по предложению, радиусы сжимаемых цилиндров почти равны, то  $r_1 = r_2 = r$ ).

Интегральное уравнение (9) можно привести к виду [2]

дифференциальному уравнению с ядром Гильберта

$$(\vartheta_1 r_1 + \vartheta_2 r_2) \int_{-\varphi_0}^{\varphi_0} p'(\varphi') \operatorname{ctg}(\varphi - \varphi') d\varphi' + (X_1 r_1 + X_2 r_2) p(\varphi) = \gamma. \quad (13)$$

для решения которого применимы результаты, полученные в работе [8] (симметричная задача). С помощью метода ортогональных многочленов [9] интегро-дифференциальное уравнение (11) можно привести к бесконечной алгебраической

$$p(\varphi) = \sec \varphi \sqrt{2(\cos(2\varphi) - \cos(2\varphi_0))} \sum_{n=1}^{\infty} a_n U_{2n-2} [\operatorname{tg} \varphi(\varphi_0)^{-1}], \quad (14)$$

где  $U_k(x)$  – многочлены Чебышева 2-го рода.

Затем по формуле (10) находят связь между  $P/(E_\varepsilon)$  и углом контакта  $\varphi_0$ .

Найдя границы контактной зоны решаем задачу методом теории пластичности. При решении данной задачи деформируемое тело (отверстие или гнездо) разбиваем на две части  $V_{pl}$  и  $V_{el}$ . Здесь  $V_{pl}$  – очаг деформаций, область, где соблюдаются условия пластичности, а  $V_{el}$  – часть тела деформируемого упруго, (рис. 4).

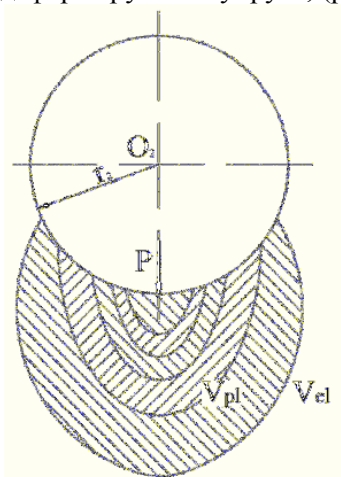


Рис. 4. Напряженно-деформируемое состояние при контактной задаче

системе, в результате приближенного решения которой можно найти коэффициенты  $a_n$  разложения контактного давления в ряд

В пластической области напряженное состояние при плоской деформации представляется предельным кругом Мора с радиусом  $\tau_{max} = k = 0.5\sigma_s$  по теории Треска-Сен-Венана.

Тогда для плоско-деформированного состояния компоненты тензора напряжений и условие пластичности запишутся [9]:

$$\begin{cases} \sigma_x = \sigma_0 + k \times \cos(2\alpha) \\ \sigma_y = \sigma_0 - k \times \sin(2\alpha) \\ \tau_{xy} = k \times \sin(2\alpha) \end{cases} \quad (15)$$

$$(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4 \times \tau_{xy}^2 = 4 \times k^2 \quad (16)$$

В каждой точке области  $V_{pl}$  направление  $\tau_{max}$  образует с осью X угол  $\theta$ .

При этом угол  $\alpha = \theta \pm \pi/4$ . Тогда получим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \sigma_x = \sigma_0 - k \times \cos(2\theta) \\ \sigma_y = \sigma_0 + k \times \sin(2\theta) \\ \tau_{xy} = k \times \sin(2\theta) \end{cases} \quad (17)$$

где  $\sigma_0 = (\sigma_1 + \sigma_3)/2$

Для системы в пластической стадии деформирования дифференциальные уравнения равновесия запишутся в следующем виде:

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_0}{\partial x} - 2 \times k \times \left( \cos(2\theta) \frac{\partial \theta}{\partial x} + \sin(2\theta) \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) = 0 \\ \frac{\partial \sigma_0}{\partial y} - 2 \times k \times \left( \sin(2\theta) \frac{\partial \theta}{\partial x} + \cos(2\theta) \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) = 0 \end{cases} \quad (18)$$

Уравнения пластического равновесия в функциях напряжений  $\xi$  и  $\eta$  множества линий скольжения запишутся в следующем виде:

$$\begin{cases} \frac{\partial \xi}{\partial x} + \operatorname{tg}(\theta) \frac{\partial \xi}{\partial y} = 0 \\ \frac{\partial \eta}{\partial x} - \operatorname{ctg}(\theta) \frac{\partial \eta}{\partial y} = 0 \end{cases} \quad (19)$$

Линеаризуя данную систему после подстановки:

$$\begin{aligned} x &= x_1 \times \cos \theta - y_1 \times \sin \theta \\ y &= x_1 \times \sin \theta + y_1 \times \cos \theta \end{aligned} \quad (20)$$

Получим телеграфные уравнения:

$$\left( \frac{\partial^2}{\partial \xi \partial \eta} x_1(\xi, \eta) \right) - \frac{1}{4} x_1(\xi, \eta) = 0 \quad \left( \frac{\partial^2}{\partial \xi \partial \eta} y_1(\xi, \eta) \right) - \frac{1}{4} y_1(\xi, \eta) = 0 \quad (21)$$

Решая данные уравнения, получим:

$$x_1(\xi, \eta) = C_1 e^{(C_1 \xi)} C_2 e^{(1/4 \frac{\eta}{C_1})} y_1(\xi, \eta) = C_1 e^{(C_1 \xi)} C_2 e^{(1/4 \frac{\eta}{C_1})} \quad (22)$$

$$\begin{aligned}x &= C_1 C_2 e^{\left(\frac{1}{4} \frac{\eta}{C_1}\right)} \cos(0.5\xi - 0.5\eta) + C_3 e^{(C_4 \xi)} C_5 e^{\left(\frac{1}{4} \frac{\eta}{C_4}\right)} \sin(0.5\xi - 0.5\eta) \\y &= -C_1 C_2 e^{\left(\frac{1}{4} \frac{\eta}{C_1}\right)} \sin(0.5\xi - 0.5\eta) + C_3 e^{(C_4 \xi)} C_5 e^{\left(\frac{1}{4} \frac{\eta}{C_4}\right)} \cos(0.5\xi - 0.5\eta)\end{aligned}\quad (23)$$

Из условия существования функции имеем:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}; \quad \xi = \text{Cln}(\sqrt{x^2 + y^2}); \quad \eta = C_1 \ln(\sqrt{x^2 + y^2}) \quad (24)$$

$$\sigma_0 = \frac{1}{2} k \ln(x^2 + y^2)(C + C_1); \quad \theta = -\frac{1}{4} \ln(x^2 + y^2)(C - C_1) \quad (25)$$

$$\sigma_x = \frac{1}{2} k \left( \bar{N} \ln(x^2 + y^2) + \bar{N}_1 \ln(x^2 + y^2) + 2 \sin\left(\frac{1}{2} \ln(x^2 + y^2)(C - C_1)\right) \right) \quad (26)$$

$$\sigma_y = \frac{1}{2} k \left( \bar{N} \ln(x^2 + y^2) + \bar{N}_1 \ln(x^2 + y^2) - 2 \sin\left(\frac{1}{2} \ln(x^2 + y^2)(C - C_1)\right) \right) \quad (27)$$

$$\tau_{xy} = k \cos\left(\frac{1}{2} \ln(x^2 + y^2)(C - C_1)\right)$$

На границе пластической зоны и штампа:

$$k \cos\left(\frac{1}{2} \ln(2Rh - h^2 + (R - 2h)^2)(C - C_1)\right) = 0 \quad (28)$$

$$k \frac{1}{2} \ln(2Rh - h^2 + (R - 2h)^2)(C + C_1) = 0$$

Постоянные интегрирования равны:

$$\begin{aligned}C_1 &= \frac{1}{2} \frac{\pi}{\ln(-2Rh + 3h^2 + R^2)} \\C_2 &= -\frac{1}{2} \frac{\pi}{\ln(-2Rh + 3h^2 + R^2)}\end{aligned}\quad (29)$$

Полученное решение позволяет выполнить анализ НДС контактной зоны на любой стадии нагружения.

Найдя перемещения, а следовательно и НДС в момент эксплуатации конструкции с известной предысторией нагружения, можно выполнить усиление соединения под нагрузкой, учтя перемещения как предварительное напряжение. После этого моделируем работу конструкции после усиления при помощи метода конечных элементов ПК Лира.

Полученное решение позволяет выполнить анализ НДС контактной зоны на любой стадии нагружения путем пошагового назначения величины сближения взаимодействующих штампа и тела с круговой полостью а.

Геометрической интерпретацией параметра  $\alpha$  является вмятие болта в кромку отверстия, т.е. перемещения. В контексте данной статьи этот параметр можно было бы рассматривать как деформационный критерий наступления предельного состояния болтового соединения по условию смятия кромки детали. Однако, его нормирование представляет собой сложную задачу и возможно только на основе широкомасштабного экспериментального исследования.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\* - М., 2011.

2. Стрелецкий Н.С., Гениев А. Н. Основы металлических конструкций: Учебник для вузов. М.: Издательство строительной литературы, 1935. 954 с.

3. Каленов В.В. Экспериментально-теоретическое исследование и совершенствование методов проектирования болтовых монтажных соединений стальных строительных конструкций. Москва. 1995 г.

4. Солодов Н.В., Тамеш С.Х. Оценка запаса прочности болтового соединения // Электронный научный журнал «АПРИОРИ». Краснодар. 2015. №3.

5. Мурадян А.А., Стрелецкий Н.Н. К расчёту на смятие элементов стальных конструкций на обычных болтах // Промышленное строительство. 1980. №3. С 24–26.

6. Александров В.М. Ромалис Б.Л. Контактные задачи в машиностроении. М.: Машиностроение, 1986. 174с.

7. Штаерман И.Я. Контактная задача теории упругости. М.: Гостехтеориздат, 1949. 272с.

8. Попов Г.Я. Концентрация упругих напряжений возле штампов, разрезов тонких включений и подкреплений. М.: Наука, 1982. 344с.

9. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. М.: Машиностроение 1975. С.400

---

**Solodov N.V.**

**STRENGTH AND DEFORMABILITY IN CRUMPLED INTO THE BOLTED CONNECTION**

*The current project analyses issues connected with the pressure deformed state of single bolt joints absorbing the power of displacement. Based in contact model enclosed solution for the parameter  $j_f$  the pressure deformed state in viscous elasticity stage at all levels during loading on plane conditions was received.*

**Key words:** *steel structures, bolted joint, shear deformation, a contact problem.*

---

**Солодов Николай Владимирович**, 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: solodov\_niko\_v@mail.ru

Шевченко А.В., канд. техн. наук, доц.,  
Шаповалов С.М., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## РАСЧЕТ СОСТАВНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК НА ОСНОВЕ ВАРИАЦИОННОГО МЕТОДА

andsheff@rambler.ru

Актуальность исследования заключается в оптимизации расчета при конструировании балок деревянных зданий с определением усилий и деформаций, возникающих в брус, элементах каркаса и обшивке, путем применения вариационного метода В.З. Власова, когда деревянный брус представлен как стержень составного сечения.

**Ключевые слова:** деревянный брус, составные стержни, метод В.З. Власова.

**Введение.** При расчете и конструировании балок деревянных зданий необходимо определить усилия и деформаций, как в самом брус, так и в отдельных элементах каркаса и обшивки. Возможным решением этой задачи является применение вариационного метода В.З. Власова в форме [1], рассматривая деревянный брус как стержень составного сечения.

**Методология.** Рассмотрим составной стержень, состоящий из  $n$  балок (рис. 1). Согласно принятым гипотезам изменение деформаций по высоте сечения можно принять линейным. При этом составляющие вектора перемещений представлены в следующем виде:

$$U(x, z) = \sum_{c=2}^{\Omega_0} \bar{U}_c(x) \bar{\xi}_c(z) + \sum_{i=0}^{\Omega_1} U_i(x) \xi_i(z) \quad (1)$$

$$(U_i(x) = -V_i'(x), \xi_i'(z) = \eta_i(z)),$$

где  $\bar{U}_c(x), U_i(x), V_i(x)$  – искомые функции обобщенных перемещений;  $\bar{\xi}_c(z), \xi_i(z), \eta_i(z)$  –

единичные функции, зависящие от координаты  $z$  по сечению составного стержня;  $\Omega_0, \Omega_1$  – число степеней свободы поперечной полоски шириной  $dx$ . Принятые для составного стержня функции  $\xi_0(z)$  и  $\xi_1(z)$  описывают изгиб и сжатие (растяжение) как монолитного. Функции  $\bar{\xi}_2(z) - \bar{\xi}_n(z)$  характеризуют сдвиг элементов. Число единичных функций  $\xi_i(z)$  равно  $\Omega_1 = 2$ , а функций  $\bar{\xi}_c(z)$  равно числу швов сдвига  $\Omega_0 = n - 1$ .

**Основная часть.** Для определения функций обобщенных перемещений  $\bar{U}_c(x), U_i(x), V_i(x)$  по методике [1] составляются две группы интегральных уравнений элементарной полоски шириной  $dx$  в форме работы действующих на нее усилий. В результате получена система из двух групп интегральных уравнений метода перемещений, представленная в таблице 1.

Таблица 1

Система групп интегральных уравнений метода перемещений

Группы уравнений	Функции		Свободные члены
	$\bar{U}_c(x)$	$V_i(x)$	
I	$\sum_c (\bar{J}_{dc} D^2 - b_{dc})$	$-\sum_c J_{di}^* D^3$	$\bar{p}_d$
II	–	$\sum_i J_{ji} D^4$	$-(p_j' + q_j)$

Вычисление коэффициентов уравнений таблиц производится интегрированием соответ-

ствующих функций единичных перемещений по следующим формулам:

$$\begin{aligned} \bar{J}_{dc} &= \int_h A_1 \bar{\xi}_d(z) \bar{\xi}_c(z) dz; \quad J_{di}^* = \int_h A_1 \bar{\xi}_d(z) \xi_i(z) dz; \quad J_{ji} = \int_h A_1 \xi_j(z) \xi_i(z) dz; \\ b_{dc} &= G_d [\bar{\xi}_d^h(z) - \bar{\xi}_c^h(z)] [\bar{\xi}_c^h(z) - \bar{\xi}_c^b(z)] \\ \bar{p}_d &= \int_h q_x \bar{\xi}_d(z) dz; \quad q_j = \int_h q_x \xi_j'(z) dz; \quad p_j' = \int_h \frac{\partial q_x}{\partial x} \xi_j(z) dz. \end{aligned} \quad (2)$$

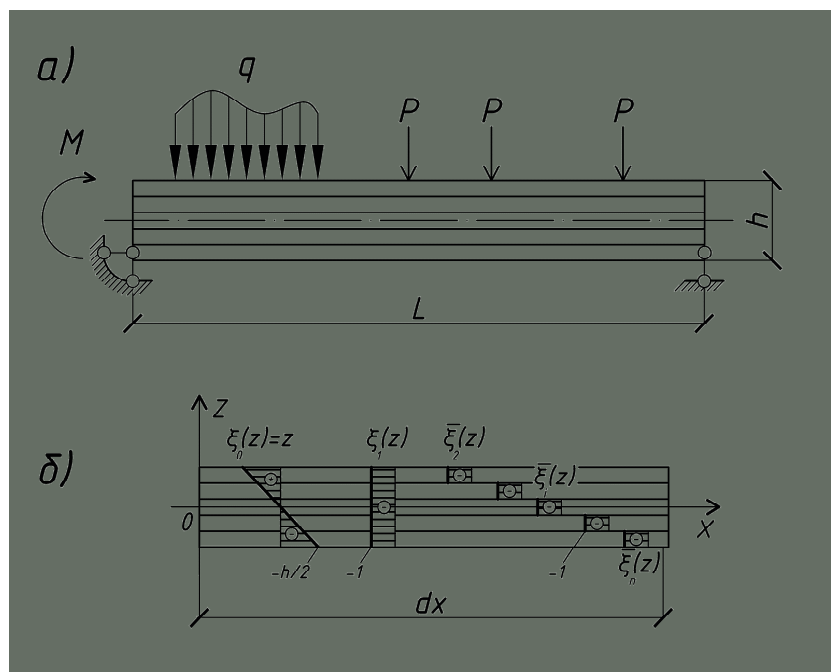


Рис. 1. Расчетные схемы составного стержня из  $n$  стержней:  
а) расчетная схема, б) единичные функции

С учетом ортогональности функций  $\bar{\xi}_c(z)$  в развернутом виде система запишется:

[illegible]

Граничные условия могут задаваться или относительно кинематических факторов, которые формулируются относительно функций обобщенных перемещений  $\bar{u}_c(x), u_i(x), v_i(x)$  или относительно статических моментов  $M(x), N(x), T_c(x)$ , которые определяются из выражений:

$$T_c(x) = \int_A \sigma \bar{\xi}_c(z) dA; \quad (4)$$

$$M(x) = \int_A \sigma_{\xi_0}(z) dA ; \quad (5)$$

$$N(x) = \int_A \sigma_{\xi_1}(z) dA. \quad (6)$$

Так, в случае, если конец составного стержня жестко зашпелен, то функции обобщенных перемещений примут следующие значения:

$$\overline{U}_c(x) = 0, V_0(x) = 0, V'_0(x) = 0. \quad (7)$$

Если на торце стержня отсутствует препятствия сдвигу, то граничные условия примут следующий вид:

$$T_c = 0, T_c'' = 0, V_0' = 0, \quad (8)$$

где  $\varphi$  – угол поворота составного стержня-элемента рамы.

Для расчета составного стержня из трех балок составляющие вектора перемещений (перемещения сдвига и прогибы) представлены в следующем виде:

$$U(x, z) = U_0 \xi_0(z) + \bar{U}_1(x) \bar{\xi}_1(z) + \bar{U}_2(x) \bar{\xi}_2(z),$$

$$V(x, z) = V_1(x) \eta_1(z), \quad (9)$$

$$(U_i(x) = -V'_i(x), \xi'_i(z) = \eta_i(z)),$$

где  $\bar{U}_1(x), \bar{U}_2(x), V_1(x), U_0(x)$  – искомые функции обобщенных перемещений;  $\bar{\xi}_1(z), \xi_1(z)$  – единичные функции, зависящие от координаты  $z$  по сечению составного стержня. Принятая для составного стержня функция  $\xi_0(z), \xi_1(z)$  описывает растяжение и изгиб как монолитного стержня

соответственно,  $\bar{\xi}_1(z), \bar{\xi}_2(z)$  характеризуют сдвиг элементов составного стержня.

Для такого составного стержня достаточно составить систему из четырех уравнений

$$\begin{cases} \bar{J}_{11} \bar{U}_1''(x) - b_{11} \bar{U}_1(x) + \bar{J}_{12} \bar{U}_2''(x) - b_{12} \bar{U}_2(x) - J_{11}^* V_1'''(x) + J_{10}^* U_0'''(x) = 0, \\ \bar{J}_{21} \bar{U}_1''(x) - b_{21} \bar{U}_1(x) + \bar{J}_{22} \bar{U}_2''(x) - b_{22} \bar{U}_2(x) - J_{21}^* V_1'''(x) + J_{20}^* U_0'''(x) = 0, \\ -J_{01}^* U_1'''(x) - J_{02}^* U_2'''(x) - J_{01} V_1^{IV}(x) - J_{00} U_0'''(x) = 0, \\ -J_{11}^* U_1'''(x) - J_{12}^* U_2'''(x) - J_{11} V_1^{IV}(x) - J_{10} U_0'''(x) - q_1 = 0. \end{cases} \quad (10)$$

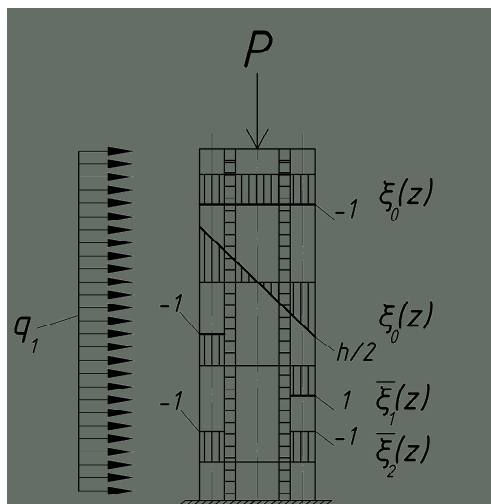


Рис. 2. Расчетная схема составного стержня из трех стержней

Общее решение имеет вид:

$$\begin{cases} \bar{U}_2(x) = C_1 \text{sh}(\lambda_0 x) + C_2 \text{ch}(\lambda_0 x), \\ \bar{U}_1(x) = C_6 \text{sh}(\lambda_1 x) + C_7 \text{ch}(\lambda_1 x) - \frac{B}{\lambda_1} x + C_8, \\ U_0(x) = -\frac{J_{20}^* (C_1 \text{sh}(\lambda_0 x) + C_2 \text{ch}(\lambda_0 x))}{J_{00}} + C_3 x + C_4, \\ V_1(x) = \frac{J_{11}^*}{\lambda J_{11}} C_6 \text{ch}(\lambda_1 x) + C_7 \frac{J_{11}^*}{\lambda J_{11}} \text{sh}(\lambda_1 x) + \frac{q x^4}{24 J_{11}} + C_5 x^3 + C_9 x^2 + C_{10} x + C_{11}. \end{cases} \quad (11)$$

Далее, задавая граничные условия, решаем уравнения и определяем напряжения в каждом стержне.

**Выводы.** Разработанная методика позволяет анализировать напряженно-деформированное состояние деревянных балок и применять ее для практических расчетов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Милейковский И.Е., Трушин С.И. Расчет тонкостенных конструкций. М.: Стройиздат, 1989. 200 с.
2. Байдин О.В., Шевченко А.В., Шаповалов С.М. Экспериментальное исследование трещиностойкости стержневых сборно-монолитных конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. № 2. С. 78 – 83.
3. Байдин О.В., Шевченко А.В., Шаповалов С.М. Расчет сборно-монолитных конструкций с применением вариационного метода и интегрального модуля деформации // Строительная

механика и расчет сооружений. 2009. №4. С. 9–13.

4. Байдин О.В., Шевченко А.В., Шаповалов С.М. Учет температурных деформаций при расчете замкнутых цилиндрических оболочек вариационным методом // Строительная механика и расчет сооружений. 2009. №5. С. 6–9.

5. Шевченко А.В., Шаповалов С.М., Шаповалова В.А. Расчет усилий в элементах вертикальных связей на основе вариационного метода Власова-Милейковского // Промышленное и гражданское строительство. 2014. №12. С. 55–58.

6. Шевченко А.В., Шаповалов С.М., Шаповалова В.А. Расчет вертикальных связей каркасных систем с учетом деформаций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 1. С. 65–67.

7. Смоляго Г.А., Байдин О.В., Шевченко А.В. Расчет сборно-монолитных конструкций с учетом пространственной работы шва: сб. материалов третьей Всероссийской научно-



технической конференции «Вузовская наука-региону. Вологда: ВоГТУ, 2005. С. 87–90.

8. Бондаренко В.М. Бондаренко С.В. Инженерные методы нелинейной теории железобетона. М.: Стройиздат, 1982. 287 с.

9. Смоляго Г.А. Предельная растяжимость бетона. Белгород: Изд-во БГТУ, 2004. 90 с.

10. Колчунов В.И., Панченко Л.И. Расчет составных тонкостенных конструкций. М.: Изд-во АСВ, 1999. 281 с.

---

**Shevchenko A.V., Shapovalov S. M.**

**CALCULATION OF COMPOSITE WOOD BEAMS IS BASED ON VARIATIONAL METHOD**

*The relevance of the study is to optimize the calculation in the design of beams of wooden buildings with the definition of efforts and deformations of the beam, the elements of the frame and the casing, by applying the variational method V. Z. Vlasov, when a wooden beam is represented as a rod of composite sections.*

**Key words:** *hardwood timber, composite rods, the method of V. Z. Vlasov.*

---

**Шевченко Андрей Викторович**, 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: andsheff@rambler.ru

**Шаповалов Сергей 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: seregashap@yandex.ru

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

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ В ЖИЛИЩНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

vell.30@mail.ru

В настоящее время проблема звукоизоляции ограждающих конструкций стоит достаточно остро в эксплуатируемом жилом фонде и вновь возводимых зданиях. Современные стеновые материалы зачастую используются в типовых решениях ограждений без необходимой дополнительной звукоизоляции. В строительстве жилых зданий повышенной комфортности типовые решения стеновых ограждающих конструкций следует пересматривать с учетом дополнительной звукоизоляции с целью обеспечения условий комфортности пребывания.

**Ключевые слова:** комфортность пребывания, звукоизоляция, воздушный шум, ограждающие конструкции.

На сегодняшний день в строительстве зданий жилого фонда следует учитывать ряд факторов, призванных обеспечивать условия комфортности пребывания. В соответствии с современными требованиями [1, 2] условия обеспечения инсоляции, достаточность естественного освещения, воздухо- и паропроницаемость, теплоэффективность ограждений являются основными факторами и рассматриваются в первую очередь. Однако, не следует забывать и о звукоизоляции, что особенно важно для зданий повышенной комфортности.

Рассматривая современные тенденции использования в качестве стенового заполнения различных видов ячеистых бетонов следует обращать внимание на звукоизоляционные характеристики подобных материалов.

В городе Белгороде и области большую долю рынка сбыта стеновых материалов из ячеистых бетонов занимают мелкие стеновые камни из газобетона, пено- и керамзитопенобетонные мелкие блоки. Стеновое заполнение с использованием подобных материалов имеет типовые схемы и представлено ниже (см. рис. 1).

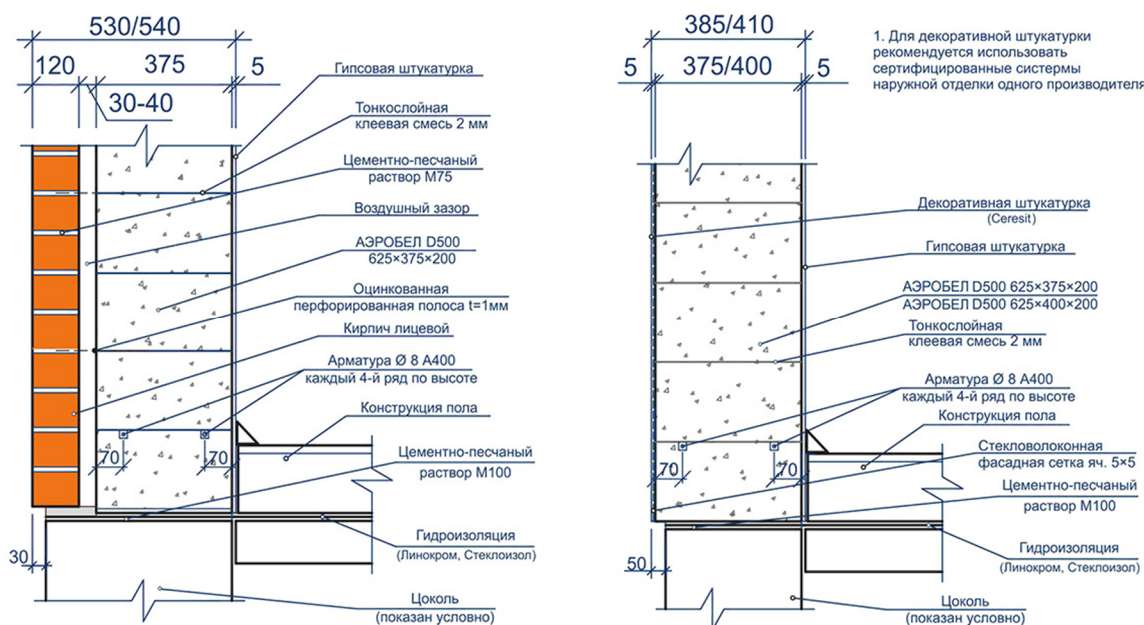


Рис. 1. Типовые решения наружных стеновых ограждений из газосиликатных мелких стеновых камней [5]

Защита от шума в здании имеет большое значение, особенно следует отметить роль звукоизоляции жилых помещений. Нормируемым параметром внутренних ограждающих конструкций (стен, межкомнатных перегородок)

жилых и общественных зданий является индекс изоляции от воздушного шума  $R_w$ , дБ. Нормативные значения индексов изоляции воздушного шума внутренними ограждающими конструкциями  $R_w$  приведены в табл. 1 согласно СП

51.13330.2011 «Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003».

Таблица 1

**Нормативные значения индексов изоляции воздушного шума для жилых помещений**

Назначение помещений	Время суток, ч	Эквивалентный уровень звука, дБ	Максимально возможный уровень звука, дБ
Жилые комнаты квартир	7.00 – 23.00	40	55
	23.00 – 7.00	30	45
Жилые комнаты общежитий	7.00 – 23.00	45	60
	23.00 – 7.00	35	50
Номера гостиниц, имеющие по международной классификации пять и четыре звезды	7.00 – 23.00	35	50
	23.00 – 7.00	25	40
Номера гостиниц, имеющие по международной классификации три звезды	7.00 – 23.00	40	55
	23.00 – 7.00	30	45

Таблица 2

**Расчетные индексы изоляции воздушного шума для стен и перегородок из газобетонных блоков**

Марка газобетона по плотности	Средняя плотность кладки, принимаемая для расчета нагрузок от собственного веса $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Толщина стен или перегородок $h$ , м	Ориентировочный расчетный индекс изоляции воздушного шума $R_w$ , дБ
D500	570	0,080	31
		0,100	35
		0,120	38
		0,160	43
		0,200	46
		0,250	49
		0,300	52

Как показал анализ значений звукоизоляции газобетонных блоков [5], область их использования ограничивается для стен толщиной 250...300 мм; для перегородок 160...200 мм. При использовании блоков других толщин в конструкции перегородок рекомендовано предусматривать ряд технических мероприятий по улучшению звукоизоляции, а именно, устройство дополнительной звукоизоляции на отnose. Такие мероприятия достаточно трудоемки и не предусматриваются на момент проектирования.

Развитие производства легких бетонов на пористых заполнителях, которые первоначально предназначались для применения преимущественно в наружных ограждениях, обусловило использование этих бетонов и во внутренней конструкции жилых зданий. При определённых сырьевой и индустриальной базах сборного домостроения комплексное применение легких бетонов для изготовления конструкций жилого дома экономически целесообразно. Однако использование этих бетонов во внутренних ограждениях сдерживается требованиями к звукоизоляции [6].

Согласно методам расчёта [1, 2, 7], для обеспечения требуемой звукоизоляции акустически однородная легковесная конструкция должна иметь такую же поверхностную плотность, что и ограждение из тяжелого бетона. Это связано со значительным увеличением толщины легковесных элементов по сравнению с толщиной конструкций из тяжелого бетона, и резким снижением их эффективности. Вместе с тем, имеются данные, свидетельствовавшие о повышенных звукоизоляционных качествах легковесных ограждений [8].

Пользуясь установленными на сегодняшний день приемами расчета [1, 2, 10], были получены следующие показатели звукоизоляции для перегородок из пенобетона плотностью 800, 900 и 1000 кг/м<sup>3</sup>. К рассмотрению при этом принималась перегородка без дверей между кухней и жилой комнатой толщиной 100 мм.

$$m_3 = \delta \cdot \rho \cdot K, \quad (1)$$

где  $m_3$  – поверхностная плотность материала ограждения, кг/м<sup>2</sup>;  $\delta$  – толщина ограждения, м;  $\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $K$  – коэффициент, учитывающий относительное увеличение изгибной жесткости ограждения из бетонов на легких за-

полнителях, поризованных бетонов и т.п. по отношению к конструкциям из тяжелого бетона с той же поверхностной плотностью [2, табл. 10].

Граничными условиями назначаем необходимый индекс изоляции от воздушного шума в 60 дБ, что обеспечивает изоляцию от громких

звуков работающего радио или телевизора у соседей. По диаграмме, представленной в [6], уточняем предполагаемую поверхностную плотность конструкции ограждения, она составит 800 – 820 кг/м<sup>2</sup>.

Таблица 3

**Расчетные индексы изоляции воздушного шума для перегородок из ячеистых бетонов**

№	Вид используемого в ограждении однослойного однородного материала	Плотность используемого материала, кг/м <sup>3</sup>	Толщина перегородки, мм	Расчетный индекс изоляции от воздушного шума, $R_w$ , дБ
1	Пенобетон, газобетон, керамзитопенобетон	500	100	34,0
2			190	38,0
3		600	100	34,6
4			190	38,8
5		800	100	36,0
6			190	43,5

Ячеистобетонные материалы плотностью 600 кг/м<sup>3</sup> могут быть использованы в качестве перегородок, тогда их толщина должна составлять 0,166 м и более. В этом случае индекс зву-

коизоляции будет составлять 41 дБ и с увеличением толщины перегородки до 190 мм будет незначительно повышаться.

Таблица 4

**Замеренные в лаборатории акустики ГУП МНИИП «Моспроект» индексы изоляции воздушного шума для перегородок из пенобетона**

№	Вид используемого в ограждении однослойного однородного материала	Плотность используемого материала, кг/м <sup>3</sup>	Толщина перегородки, мм	Расчетный индекс изоляции от воздушного шума, $R_w$ , дБ
1	зашпаклеванные перегородки (5 мм с каждой стороны)	800	100	41,0
2		900	100	41,5
3		1000	100	42,0
1	оштукатуренные перегородки (10 мм с каждой стороны)	800	100	42,0
2		900	100	42,5
3		1000	100	43,0

Соответственно, можно сделать вывод о том, что все перегородки из пено-, газобетона плотностью 800 кг/м<sup>3</sup> и более удовлетворяют условиям современным требованиям по звукоизоляции и оштукатуривание перегородок позволяет несколько повысить их индекс звукоизоляции за счет повешения поверхностной плотности конструкции.

Следует отметить, что приведенные методы приблизительного расчета индекса изоляции от воздушного шума дают хорошую сходимость с результатами лабораторных исследований, что может быть использовано в дальнейшем при прогнозировании индекса изоляции от воздушного шума для новых современных стеновых материалов, находящихся на стадии апробации.

Современные композитные материалы на основе ячеистых бетонов требуют дополнительных исследований по звукоизоляции. К сожалению, особенности расчета звукоизоляции стеновых материалов не дают возможности учиты-

вать характер внутренней пористости материалов, что несомненно является основным из факторов, влияющих на характер и особенности прохождения звука сквозь толщу ограждения. Предлагаемые методы расчета апробированы на данных литературы и имеют хорошую сходимость результатов.

Таким образом, установлена возможность выполнения расчета индекса звукоизоляции конструкций из ячеистобетонных материалов плотностью 50 – 1000 кг/м<sup>3</sup>. Показано, что данные расчета имеют хорошую сходимость (до 92 %) с результатами лабораторных исследований.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Поробетон: руководство. Системное проектирование и строительство / М. Гоманн; пер. с нем. под ред. А.С. Коломацкого. Белгород: Изд-во ЛитКараВан, 2010. 272 с.

2. Крейтан В.Г. Обеспечение звукоизоляции при конструировании жилых зданий. М.: Стройиздат, 1980. 171 с.
3. Строкова В.В., Лозовая С.Ю., Соловьева Л.Н., Огурцова Ю.Н. Прогнозирование свойств конструкционно-теплоизоляционного бетона на основе гранулированного наноструктурирующего заполнителя // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. № 1. С. 15–19.
4. Справочник проектировщика. Строительная физика / В. Блази; пер. с нем. под ред. и с доп. А.К. Соловьева. М.: Изд-во Техносфера, 2005. 536 с.
5. Денисова Ю.В., Тарасенко В.Н. Звукоизоляция жилых и офисных помещений // Образование, наука, производство и управление. 2011. Т. II. С. 15–17.
6. Тарасенко В.Н., Соловьева Л.Н. Проблемы звукоизоляции в жилищном строительстве // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 4. С. 48–51.
7. Черныш Н.Д., Тарасенко В.Н. Многокритериальность задачи формирования компетенций в сфере создания безбарьерной архитектурной среды // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 12. С. 76 – 80.
8. Сулейманова Л.А., Ерохина И.А., Сулейманов А.Г. Ресурсосберегающие материалы в строительстве // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 7. С. 113–116.
9. Боцман Л.Н., Тарасенко В.Н. Некоторые аспекты повышения звукоизоляции в индивидуальном жилищном строительстве // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 8. С. 43–47.
10. Савченко Е.С., Гридчин А.М., Лесовик В.С., Смоляго Г.А. 06.11-20Т.83. Концептуальные подходы решения жилищной проблемы в Российской Федерации на примере Белгородской области: Виртуальная выставка энергосбережения. РЖ 20Т. Экономика строительства. 2006. № 11. С. 83.
11. Глаголев С.Н. Востребованность инженеров – инноваторов // Социология образования. 2015. № 6. С. 4–8.
12. Тарасенко В.Н., Дегтев И.А., Голиков Г.Г. Исследование шума в зале многоцелевого назначения СДК студентов при БГТУ им. В.Г. Шухова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 5. С. 39–44.
13. Донченко О.М., Дегтев И.А., Солодов Н.В. Актуальные проблемы конструктивно-технологических решений и эффективных материалов в капитальном строительстве // В сборнике: Инновационные материалы и технологии (XX научные чтения). Материалы Международной научно-практической конференции. 2011. С. 148–157.
14. Донченко О.М., Дегтев И.А. Эффективные строительно-технологические решения и материалы для массового гражданского строительства // В сборнике: Инновации в отраслях народного хозяйства, как фактор решения социально-экономических проблем современности. Сборник докладов и материалов Международной научно-практической конференции. Институт непрерывного образования, Московская государственная академия коммунального хозяйства и строительства. 2011. С. 32–36.
15. Донченко О.М., Дегтев И.А. Современное состояние и перспективы развития строительных конструкций // Качество и жизнь. 2005. № 5. С. 34.

---

**Degtev I.A., Tarasenko V.N.**

## **SOUNDPROOFING OF ENCLOSING STRUCTURES IN RESIDENTIAL CONSTRUCTION**

*Currently, the problem of sound insulation of protecting designs is quite acute in existing housing stock and newly constructed buildings. Modern wall materials are often used in the model solutions to the barriers without needed additional insulation. In the construction of residential buildings of the increased comfort standard solutions wall enclosing structures should be revised to take account of additional sound insulation ensure the comfort of stay.*

**Key words:** *comfort, soundproofing, air noise of the building envelope.*

---

**Дегтев Илья Алексеевич**, канд. техн. наук, профессор кафедры архитектурных конструкций.  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
E-mail: konstrarh@mail.ru

**Тарасенко Виктория Николаевна**, канд. техн. наук, доцент кафедры архитектурных конструкций.  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
E-mail: vell.30@mail.ru

Донченко О.М., канд. техн. наук, проф.,  
Перькова М.В., канд. арх., доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ЭФФЕКТИВНЫЕ АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ МНОГОЭТАЖНЫХ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

perkova.margo@mail.ru

*Приведены особенности и преимущества разнообразных каркасов с плоскими перекрытиями при проектировании и строительстве многоэтажных гражданских зданий. Каркасные системы идеально соответствуют идеологии открытого свободного пространства, позволяют устраивать гибкие архитектурно-планировочные решения и создавать здания различной объемно-планировочной композиции и архитектурной выразительности фасадов.*

**Ключевые слова:** архитектурно-планировочные, конструктивные несущие каркасы, самонесущие поэтажно опертые стены, гибкая планировка, трансформация пространства.

При разработке проектов планировки одним из важных составляющих на сегодняшний день является политика пространственного развития территории как качественной среды жизнедеятельности человека [3]. Проблема формирования функциональной комфортной и художественно-выразительной жилой среды получает особую остроту [2]. В связи с этим, необходимо ориентироваться на строительство жилых зданий, планировочные характеристики которых могут адаптироваться согласно современного потребителя. В этом случае наиболее предпочтительным является применение для многоэтажных зданий каркасных несущих систем с плоскими перекрытиями. Обычное для них разделение функций несущих и ограждающих конструкций позволяет обеспечить восприятие всех действующих на здание нагрузок несущими каркасами, а ограждающие конструкции (перегородки и поэтажно опертые стены), свободные от необходимости воспринимать значительные усилия, можно устраивать из легких эффективных материалов с высоким сопротивлением теплотерям. При этом существенно уменьшается масса, материалоемкость и энергопотребление на строительство и отопление здания при эксплуатации, что в значительной степени определяет его экономическую эффективность.

Немаловажным является то, что все несущие и ограждающие конструкции таких каркасных зданий могут максимально использовать имеющуюся в стране сырьевую и производственную базы. Каркасы могут устраиваться из монолитного, сборного или сборно-монолитного железобетона с применением сборных или монолитных колонн, сборных многпустотных или сплошных железобетонных плит (рис. 1). Наружные стены необходимо выполнять из наиболее энергоэффективных легких ячеистобетонных изделий (калиброванных камней, блоков и панелей). Не исключается применение и

других энергоэффективных стеновых конструкций и материалов (многослойных из кирпича и легких навесных монопанелей) – все в зависимости от архитектурных решений и местных условий.

Перегородки следует выполнять тоже из легких ячеистых бетонов или каркасно-обшивными из гипсокартонных или гипсоволокнистых листов по металлическому каркасу. Результат проведенного технико-экономического анализа свидетельствует о экономическом преимуществе несущих каркасных систем по сравнению с другими известными конструктивными решениями.

Применение каркасов с плоскими перекрытиями открывает широкие возможности для проектирования и создания разнообразных объемно-планировочных решений многоэтажных зданий.

Именно плоские перекрытия для каркасов с широким шагом колонн позволяют получать на этажах достаточно независимую свободную планировку, обеспечивающую функционирование как жилого, так и общественного здания. На любом участке плоских перекрытий можно беспрепятственно располагать перегородки и поэтажно опертые стены, получая внутреннее помещение любой конфигурации в плане и эксплуатируемые кровли.

По объемно-планировочному решению здания каркасы с навесными панелями или с поэтажно опертыми наружными стенами практически равноценны. При применении навесных панелей колонны внешнего ряда размещают непосредственно во внутреннем объеме здания, а при поэтажно опертых наружных стенах колонны могут быть существенно исключены из полезного объема и размещены в толще наружных стен (рис. 2). Во втором случае мы имеем более благоприятное решение внутреннего пространства здания без выступающих элементов,



как из перекрытия, так и из наружных стен. Естественно, что такие конструктивные реше-

ния способствуют созданию целостного характера интерьера помещений.

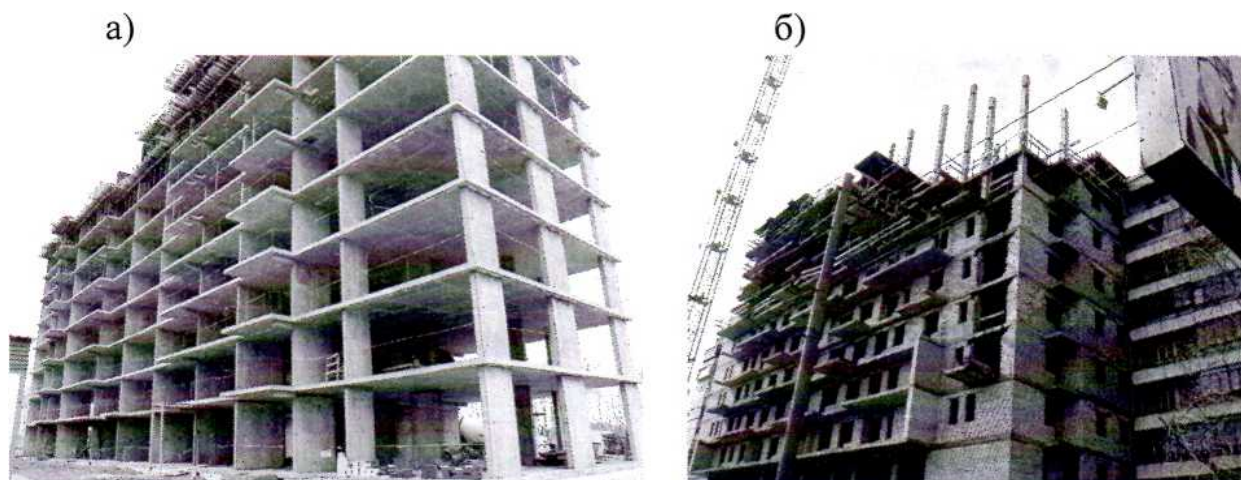


Рис. 1. Строящиеся каркасные здания: а) с монолитным каркасом; б) со сборным и сборно-монолитным каркасом

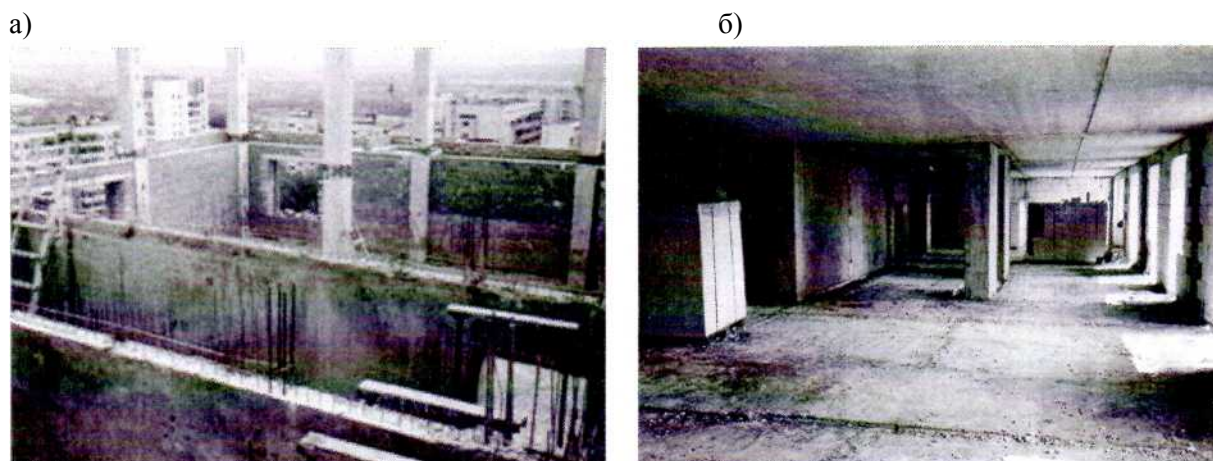


Рис. 2. Внутренний объем зданий в процессе строительства: а) с выступающими внутрь колоннами крайнего ряда; б) со смещением колонн крайнего ряда в толщу наружных стен

В зависимости от выбранного планировочного решения внутренний ряд колонн располагают в перегородках или представляют самостоятельными элементами интерьера [5].

Размеры шагов колонн решают установку несущих вертикальных элементов при проектировании в зависимости от принятого архитектурно-планировочного решения и заданного уровня экономичности. При этом такие конструктивные решения каркасов позволяют перекрывать ячейки любых размеров до 7,2 м, не придерживаясь жесткой модульной сетки, осуществлять сбивку осей и смещение рядов колонн в пролетах. Наиболее ярко это представлено в Белорусской универсальной каркасной системе многоэтажных зданий [1].

Вышеуказанное позволяет архитектору реа-

лизовать разнообразные планировочные приемы и решения, располагать колонны на плане в наиболее удобных, с эксплуатационной и эстетической точек зрения, местах, соотносясь исключительно с планировочными решениями, получать здания с различной пластикой фасада - от простейшей до сложной структуры архитектурной формы. Комбинируя шагами колонн, можно создавать различные по комфортности проживания квартиры, как для социальных и экономичных типов государственного (муниципального) строительства, так и для жилищ повышенной комфортности, рассчитанных на различные уровни жизни и обеспеченность населения (рис. 3). В пределах внутреннего пространства квартиры, ограниченной в плане наружными стенами, стенами лестнично-лифтового узла



и постоянным положением кухни и санитарного узла, ее планировка возможна в различных вариантах. Это позволяет в каждом конкретном

случае удовлетворять разнообразные требования и проектировать квартиры на заказ.

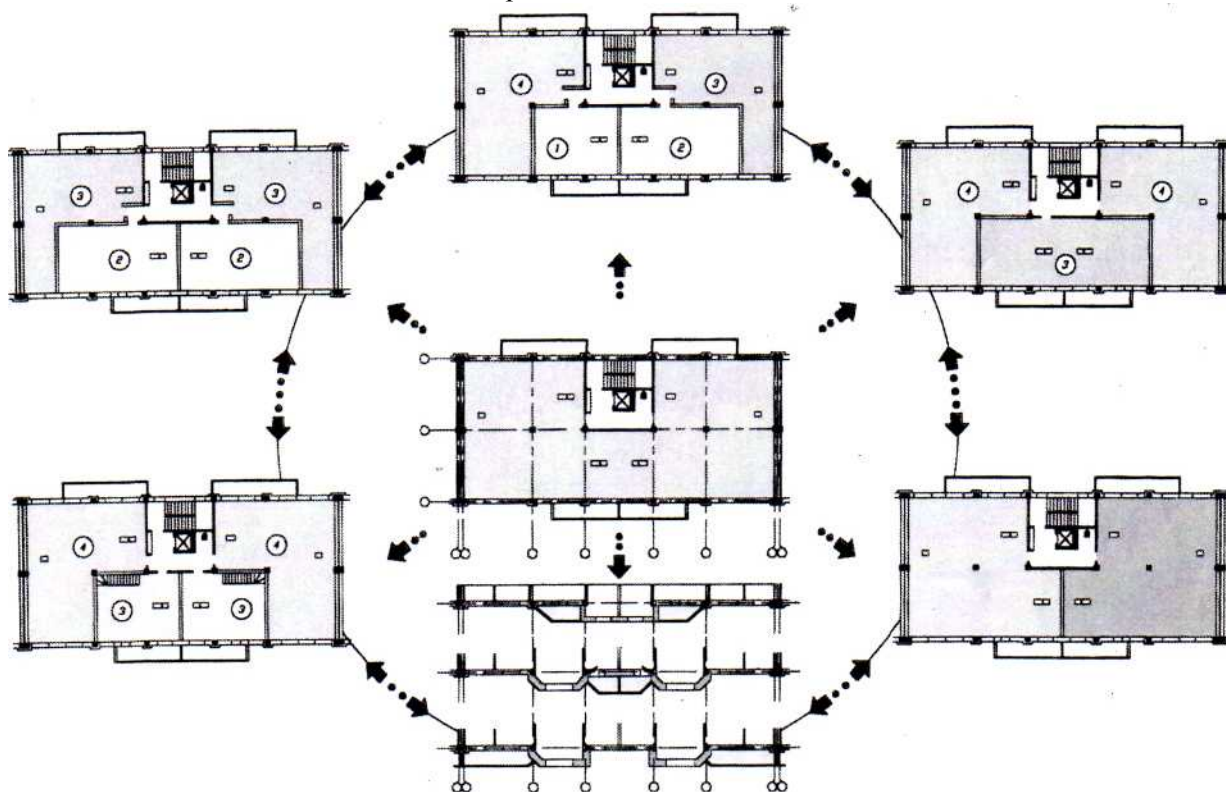


Рис. 3. Варианты планировки секции жилого дома

Пределы гибкой планировки квартир зависят от параметров, определяющих их габариты, размещение и величины оконных проемов, расположения кухни и санузла, вентблоков, стояков водоснабжения и канализации. Все это следует учитывать при разработке планировочного решения, предусматривая возможность перепланировки и трансформации пространства квартиры. В будущем планировочное решение квартир и их площади можно регулировать в соответствии со спросом, вплоть до момента заселения. Можно изменять ее и в процессе эксплуатации здания с учетом меняющихся социальных потребностей и условий проживания.

Если в масштабах страны или отдельных регионов потребность в квартирах различной площади и количество комнат нельзя прогнозировать достаточно точно, то каркасные системы позволяют полнее и быстрее реагировать на колебания спроса и предложения на квартирном рынке путем изменения первоначальной планировочной структуры. Трансформируя архитектурное пространство, можно легко осуществлять перекомпоновку квартир, набор, соотношение и количество квартир на этаже, создавать квартиры различной комфортности проживания и различной площади.

С позиции формирования комфортной ви-

зуальной среды в каркасных системах заложены большие возможности. За счет устройства различных по размерам консольных участков перекрытий, можно при проектировании поэтажно смещать наружное ограждение от линии колонн по ширине здания, что исключает возникновение однородных визуальных полей и позволяет с изменением площадей отдельных помещений, квартир и этажа в целом, поэтажно изменять и пластику фасада. Возможность создания активно выступающих и западающих по отношению к основной поверхности здания элементов способствует их активной пластической проработке. Объем здания получает пластическую рельефность - появляются ступенчатые, выступающие и западающие этажи.

Важным элементом жилых зданий и средством их выразительности являются летние помещения – балконы и лоджии. Балконы и выносные лоджии выполняются в каркасных зданиях на консольных участках перекрытий. Форма консольных участков может быть самой разнообразной и иметь длину, меньшую конструктивного шага. Лоджии можно устраивать как выносными, так и встроенными, заглубленными или частично заглубленными в пределах плана здания. Различные по форме и величине эркеры, как и выносные летние помещения, можно

устраивать на консольных участках перекрытий, и обогащать пластику фасада. Являясь функциональной частью здания, балконы, лоджии и эркеры служат важным средством в решении композиции фасадов, их ритмического и объемно-пространственного построения. Их можно свободно размещать на фасаде по всей высоте здания, или на части его высоты, чередовать друг с

другом, тем самым создавая сложные, живописные, ритмические закономерности фасада. Таким образом, различные приемы тектоники поверхности наружной стены, утратившей в системе несущие функции, позволяют дополнить пластику зданий и значительно расширить возможности композиционного построения их фасадов (рис. 4)



Рис. 4. Фасад 5-этажного 2-секционного жилого дома

В условиях существующей уплотненной застройки городов прибегают к ряду мер, способствующих также улучшению экосистемы. К зонам формирования экологического комфорта можно отнести:

- 1) озеленение крыш зданий;
- 2) применение вертикального озеленения фасадов;
- 3) газонные решетки;
- 4) мобильные системы озеленения [1].

Вышеизложенное позволяет сделать вывод, что конструктивно-планировочные характеристики несущих каркасов дают возможность широкого выбора необходимых параметров при проектировании зданий с различной архитектурно-планировочной, пространственной и функциональной организацией для реализации всех типов жилых зданий (по этажности и типу внеквартирных коммуникаций) и различных по функциональным особенностям, габаритам, планировке, этажности и облику общественных зданий. Можно также получать здания со сложным очертанием в плане и пластичным фасадом, вводя в прямоугольную сетку различные по форме и размерам монолитные участки без усложнения условий возведения здания. Первые, цокольные и подвальные этажи жилых домов могут быть рационально использованы для размещения в них учреждений культурно-бытового обслуживания, торговли, стоянок для легковых автомобилей и т.п. Такой подход позволит повысить качество среды жизнедеятель-

ности городов как элементов региональной системы расселения [4].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Артебякина А.В., Перькова М.В. Экологическая архитектура как решение глобальных экологических проблем// Сб. докл. VI межд. научно-практ. конф. Итоги научно-исследовательской деятельности 2015 г.: изображения, методики, инновации. материалов. Научный центр "Олимп". 2015. С. 65–70.
2. Бабушкина Л.В. Формирование комфортных условий проживания на территориях жилой застройки средствами архитектурного благоустройства (на примере г. Екатеринбурга)// Архитектон: известия вузов» № 34 – Прил. Июль 2011.
3. Вильнер М.Я. О градостроительной политике РФ //Сб. статей. Изд-во «Зодчий». СПб, 2011.
4. Перькова М.В. Закономерности эволюционного развития Белгородской региональной системы расселения // Архитектура и строительство России. 2015 . Вып. 11–12. С. 11–15.
5. Универсальная открытая архитектурно-строительная система многоэтажных жилых и общественных зданий нового поколения серии Б 1.020.1-7//Научно-исследовательское и экспериментально-проектное государственное предприятие «Институт БелНИИС», редакция журнала «Белорусский строительный рынок». Минск, 2000.

---

**Perkova M.V., Donchenko O.M.****EFFECTIVE ARCHITECTURAL-PLANNING AND CONSTRUCTIVE DECISIONS  
OF MULTI-STOREY CIVIL BUILDINGS**

*Describes peculiarities and advantages of different skeletons with flat ceilings in the design and construction of multi-storey civil buildings. Wireframe system ideally suited to the ideology of the open space, allow to organize flexible architectural and planning decisions and to create buildings of different space-planning composition and architectural expressiveness of facades.*

**Key words:** *architectural planning, constructive load-carrying frames, self-supporting wall simply supported, flexible layout, space transformation.*

---

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

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г Шухова.

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

E-mail: perkova.margo@mail.ru

**Донченко Олег Михайлович**, кандидат технических наук, профессор.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г Шухова.

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

DOI: 10.12737/23737

Черныш Н.Д., доц.,

Тарасенко В.Н., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## СОВРЕМЕННЫЕ УСЛОВИЯ СОЗДАНИЯ КОМФОРТНОГО АРХИТЕКТУРНОГО СРЕДОВОГО ПРОСТРАНСТВА

konstrarh@mail.ru

*В статье рассмотрены проблемы формирования в современных условиях архитектурной среды как предметно-пространственного окружения, представленной в качестве объекта профессиональной деятельности. Ведущее место в формировании среды, удовлетворяющей современным требованиям, отведено проектной деятельности.*

**Ключевые слова:** архитектурная среда, предметно-пространственное окружение человека, комфортность пребывания, квалификационный уровень, профессионализм, проектная культура.

Современную архитектуру можно характеризовать как творческую интерпретацию образа жизни современного общества. При этом нельзя отрицать, что, несмотря на отдельные перерывы в развитии, существуют признаки становления традиций создания современного организованного пространства с учетом требований, предъявляемых к архитектурной среде. Проблем, связанных с формированием комфортного архитектурного пространства немало: начиная с многозначности понятия «среда», «архитектурная среда» до субъективности оценки качества архитектурных объектов, представляющих собой продукт архитектурно-строительной деятельности. Особое место в этом ряду занимает подготовка специалиста, его квалификационный уровень и профессионализм. В этой проблеме вопрос подготовки проектировщиков как специалистов весьма актуален: чтобы стать проектировщиком, который самостоятельно без особых проверок и надзора может работать, требуется как минимум, 5 – 10 лет.

Таким образом, перефразировав определение В.Л. Глазычева можно сказать, что архитектурная среда есть пространство возможностей, место обитания, система деятельностей. Современную архитектурную среду характеризует как минимум три важнейших качества: комфортность, которую определяет согласование материальных потребностей человека с природными условиями; трансцендентность (в смысле, не основано на опыте); системность, предполагающая связанность гуманитарных и физических функций организованного пространства. В данной статье под средой определено предметно-пространственное окружение человека: городская (урбанизированная), жилищная, производственная и рекреационная среды.

Вопрос о создании комфортных условий является следствием сложившейся в течение последних двух десятилетий ситуации. Достаточно часто результатом сопоставления «совре-

менного» организованного пространства (населенный пункт – город или село, или здание любого назначения) с давно известным, чаще всего предпочтение отдают некоторому обобщенному образу «старого» по сути. Например, современные жилые комплексы сложных композиционных решений, построенные по новейшим технологиям (с монолитным каркасом, вентилируемыми фасадами и т.п.), в интуитивном выборе потребителя уступают жилым домам аналогичного уровня, построенным более полувека назад, несмотря на то, что рациональный анализ среды определяет преимущества новой среды по многим техническим параметрам. Это можно объяснить существованием определенного свода качеств организованного пространства, таких как: своеобразие и человечность, неоднородность и сложность. В технической формулировке это функциональная целесообразность или польза, определенная не только с учетом потребностей человека, но и с учетом эргономических особенностей человека; а также прочность и комфортность, определяющие технические характеристики объекта, созданного с учетом современного развития и техники. При этом архитектурная среда, многообразная по содержанию и формам, должна способствовать созданию положительного эмоционального заряда.

Ведущее место в формировании среды, удовлетворяющей современным требованиям, следует отвести проектной деятельности. Основная цель деятельности проектировщика предполагает разработку проектных документов, содержащих технически грамотное обоснование архитектурных идей и позволяющих осуществить «материализацию архитектурного образа». При этом существенной задачей в настоящее время является преодоление противоречия между ролью проектирования в системе воспроизводства и реально занимаемым местом.

Проектная деятельность с давних времен позволяет рационально организовать строитель-

ство (или реконструкцию), ввод в действие и эксплуатацию зданий и сооружений производственного и гражданского назначения, объектов инфраструктуры и т.п. Однако, в последние годы качество проектов, применение научно-технических достижений, ресурсо- и энергосберегающих технологий, экономических объемно-планировочных и конструктивных решений в значительной мере не соответствуют современным требованиям, а порой содержит «псевдо» эффективные решения. Следует конечно отметить, что сложившаяся ситуация обусловлена отчасти причинами социального характера, а также специфическими условиями образовательного процесса архитектора и конструктора, которые изначально по-разному оценивают требования конструктивной логики и образное мышление. В решении этих разногласий может помочь воспитание у архитекторов понимания общих принципов работы конструкций, а у конструкторов – понимания гармонии при создании искусственных пространств.

Поиск взаимопонимания может быть результатом компромисса. В связи с этим многогранный и сложный современный учебный процесс с непрерывно развивающимися методами, формами, средствами должен быть направлен на конечный результат – подготовку специалиста, архитектора или конструктора, мыслящего, обладающего разносторонними профессиональными знаниями и навыками, способного самостоятельно добывать знания, готового к применению их на практике.

Независимо от направления деятельности человека профессионализм актуален. Однако, без профессионального мировоззрения, профессиональных идеалов, профессионального достоинства, уважения к своим коллегам сложно или невозможно стать профессионалом (в высшем смысле этого слова).

Архитектурное образование в подготовке конструктора позволяет развивать потенциал, направленный на дальнейшую разработку концепции и воплощение задуманного. Еще в середине XX века было отмечено, что «архитектура – искусство не изобразительное, а созидательное. Оно не изображает предметы, а создает их. Изображать можно что угодно, из любого материала и любыми методами. Строить же можно только то, что оправдывает себя в практике, т.е. наилучшее для своего времени из тех материалов и в тех технических художественно осознанных формах и теми методами, которые заняли свое место в процессе развития архитектуры и в результате технического прогресса» Частые, кардинальные изменения в архитектурной подготовке неизбежно приводят к утрате тради-

ций и культуры проектирования. Из этих соображений архитектурно-строительную подготовку конструкторов в образовательном процессе целесообразно отнести к фундаментальным знаниям. В связи с этим следует обратить внимание на роль и место в учебном процессе подготовки выпускников профиля «Промышленное и гражданское строительство» дисциплин «Основы архитектуры и строительных конструкций» (включающей вопросы строительной физики) и «Архитектура зданий». При изучении данных курсов студент привыкает слушать, слышать, понимать и использовать техническую терминологию, способствующую развитию логического и конструктивного мышления, учится читать информацию, представленную в форме проекта, а также предоставлять информацию в чертежах, используя установленные правила. Для принятия решений задач, которые потребует профессиональная деятельность проектировщика, необходима информация (знания). Всю информацию иметь в памяти невозможно. Есть вероятность, что информация, оказавшаяся в памяти, мала или устарела. А также велика вероятность, что, не имея фундаментальных знаний, за новые решения могут быть приняты устаревшие решения с новыми названиями (срабатывает правило «новое – это хорошо забытое старое»). Например, следует обратить внимание на тенденцию использования ставших в последнее время «модными» слова: «нано», «эко», «композит».

В мире при создании инноваций в строительстве главной целью определяют повышение архитектурной эстетики, стандартов жизни и комфортности проживания совместно с повышенной функциональностью и ресурсосбережением. Экологические решения начинают с целесообразности размещения здания на территории, планировки с учетом экологической ситуации местности и заканчивая выбором экологически чистых материалов.

К сожалению, в России в большей степени находят спрос инновации, которые позволяют экономить средства и сокращают сроки производства работ.

При этом истоки подобных решений часто связаны с отсутствием фундаментальных знаний. Овладение учебным материалом предполагает, что выпускник способен, руководствуясь знаниями, проанализировать ситуацию, дать ее оценку с позиций теории, наметить правильный путь решения профессиональной задачи. В процессе обучения архитектурно-конструктивное учебное проектирование дает возможность овладеть подходами к организации материально-пространственной среды, методами типоло-



гического, функционального, визуального анализа.

Строительной отрасли принадлежит главная роль в стратегии развития страны, поскольку она обеспечивает создание основных фондов для промышленности в виде производственных зданий и сооружений, для развития социальной, транспортной и инженерной инфраструктуры. Строительство – многоступенчатый и поступательный процесс. Усовершенствование методов проектирования напрямую зависит от уровня предметной квалификации и образования. При этом с древнейших времен мастер строительства зданий и сооружений сочетал в себе технические и художественные знания. В настоящее время особенно актуальна проектная культура, охватывающая деятельность всех создающих искусственную среду.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черныш Н.Д., Тарасенко В.Н. Многокритериальность задачи формирования компетенций в сфере создания безбарьерной архитектурной среды // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 12. С. 76–80.
2. Сулейманова Л.А., Ерохина И.А., Сулейманов А.Г. Ресурсосберегающие материалы в строительстве // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 7. С. 113–116.
3. Jones J. Christopher Design Methods. Джонс Дж.К. Методы проектирования. М.: Мир, 1986. 326 с.
4. Сулейманова Л.А. Роль творческих заданий в формировании универсальных учебных действий // Ямалский вестник. 2016. № 2 (7). С. 74–76.
5. Тарасенко В.Н., Черныш Н.Д. Особенности архитектурного автоматизированного проектирования / Достижения и перспективы развития науки: сб. статей // Уфа: РИО МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2015. С. 154–155.
6. Черныш Н.Д., Тарасенко В.Н. Микроклимат селитебной территории как многокомпонентная среда архитектурно-строительного проектирования // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 6. С. 57–61.
7. Черныш Н.Д., Коренькова Г.В., Митякина Н.А. К вопросу об управлении качеством образовательного процесса подготовки проектировщика в строительной отрасли // Путь науки: Междунар. научный журнал, № 3(3). 2014. С. 29–30.
8. Черныш Н.Д., Коренькова Г.В., Митякина Н.А. О фундаментальности архитектурных дисциплин в подготовке бакалавров по направлению «Строительство» // Наука и образование в XXI веке: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 31 октября 2014: в 17 частях. Ч. 14 / М-во обр. и науки РФ. Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2014. С. 152–153.
9. Сулейманова Л.А., Малюкова М.В., Погорелова И.А., Корякина А.А. Формирование пространственной среды с учетом колористики // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 10. С. 62–66.
10. Андреев М.И. Взаимосвязь структуры самоорганизации с успеваемостью студентов технического ВУЗа // В сборнике: Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ МГСУ за 2013-2014 учебный год сборник трудов. Московский государственный строительный университет. 2014. С. 105–107.
11. Топчий И.В. Интеграция российского архитектурного образования в мировое образовательное пространство. Результаты социологического исследования и перспективы развития архитектурных школ России // Архитектура и строительство России. 2012. № 11. С. 16–23.
12. Глаголев С.Н., Михайличенко С.А., Ломаченко С.Н. Востребованные выпускники для современной экономики // Содействие профессиональному становлению личности и трудоустройству молодых специалистов в современных условиях. Сб. материалов VI Международной заочной научно-практической конференции, посвященной 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгородский государственный технологический университет им.В.Г. Шухова. 2014. С. 149–155.
13. Тарасенко В.Н., Черныш Н.Д. О выборе форм и методов организации познавательной деятельности дистанционно обучающихся студентов // Сб. статей по материалам II Международной заочной научно-практической конференции, посвященной 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова. БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. С. 154–161.
14. Крижановская Н.Я., Гордиенко Ю.С., Дегтев И.А. Приемы формирования природоинтегрированной архитектуры в городской среде: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. 144 с.
15. Савченко Е.С., Гридчин А.М., Лесовик В.С., Смоляго Г.А. 06.11-20Т.83. Концептуальные подходы решения жилищной проблемы в Российской Федерации на примере Белгородской области: Виртуальная выставка энергосбережения. РЖ 20Т. Экономика строительства. 2006. № 11. С. 83.
16. Смирнова С.Н. Принципы формирования архитектурных решений энергоэффектив-

ных жилых зданий. Автореферат на соиск. уч. степ. канд. арх., 2009, 17 с.

17. Глаголев С.Н. Востребованность инженеров – инноваторов // Социология образования. 2015. № 6. С. 4–8.

---

**Chernysh N.D., Tarasenko V.N.**

**MODERN CREATION ENVIRONMENT A COMFORTABLE BUILT ENVIRONMENTAL SPACE**

*The article considers problems of formation in modern conditions of architectural environment as the subject-spatial environment, represented as the object of professional activity. A leading role in shaping the environment, satisfying the modern requirements, the allotted project activities.*

**Key words:** *architectural environment, object-spatial environment, comfort, level of qualification, professionalism, design culture.*

---

**Черныш Надежда Дмитриевна**, доцент кафедры архитектурных конструкций.

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

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

E-mail: konstrarh@mail.ru

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

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

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

E-mail: vell.30@mail.ru



Перькова М.В., канд. арх., доц.,  
Большаков А.Г., д-р арх., проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РАССЕЛЕНИЯ\*

perkova.margo@mail.ru

*В статье рассматривается вопрос обеспечения устойчивого развития региональной системы расселения и ее элементов (муниципальных образований). Авторами предложены принципы территориального планирования региональной системы расселения и классификация градостроительных конфликтов мотиваций. Разработана теоретическая модель устойчивого развития региональной системы расселения, включающая изучение частных характеристик территории, определение «кода» идентичности территории, ее адаптивное развитие во времени, выявление зон конфликтов мотиваций и их решение при решении задач территориального планирования.*

**Ключевые слова:** устойчивое развитие, региональная система расселения, конфликты мотиваций, характеристика территории, теоретическая модель.

Развитие мировой цивилизации привело к формированию острейшего экологического кризиса, который в той или иной форме проявляется во всех индустриально развитых странах. Результатом нарушения системного равновесия между человеческим обществом и природой является истощение, загрязнение и разрушение природной среды, исходящие от антропогенной деятельности человека, которое достигло предельного уровня на всей планете. Обеспечение устойчивой среды жизнедеятельности регионов путем сохранения идентичности территории будет способствовать восстановлению равновесия между обществом и природой. Учитывая размеры страны, развитие регионов в системе расселения России играет главенствующую роль. В конце XX века значительно увеличилась также роль муниципалитетов в реализации структурных изменений экономики Российской Федерации. Муниципальные образования являются источниками социальных, демографических, техногенных и других механизмов влияния на среду обитания человека. Актуальность темы данной статьи определяется главной целью исследования – обеспечение устойчивого развития региональной системы расселения и ее элементов (муниципальных образований) в соответствии с императивами современности: сбалансированным социально-экономическим развитием, не разрушающим природную среду и способствующим прогрессу общества.

Таким образом, устойчивое развитие региональной системы расселения и ее элементов (муниципальных образований) можно рассматривать как наращивание показателей роста, сочетающее стратегический подход с адаптивными способностями территории к изменению в

результате влияния внешних и внутренних факторов, стимулирование мотивации ключевых экономических факторов на взаимодействие, ориентированное на достижение желательного равновесия между экономическим ростом, справедливым развитием человеческого потенциала и здоровыми продуктивными экосистемами.

В последние годы в мире и России активизировались исследования в области разработки принципов и индикаторов устойчивого развития. По мнению авторов, устойчивое развитие региональной системы расселения является совокупным результатом устойчивости узлов сети, степенью насыщенности пространственных связей (дорог), количества вовлекаемых природных ресурсов и должно быть направлено на разрешение конфликта интересов природной экономической и социальной подсистем [5, 6]. Переход системы из конфликтного состояния к качественно новому – бесконфликтному, является развитием ситуации. Стратегия перехода, следовательно, является стратегией развития, определяющей содержание градостроительного проекта. Осуществление нового подхода к территориальному планированию от стратегических планов устойчивого развития на всех уровнях проектирования региональных систем расселения к генеральным планам позволит обеспечить регулирование устойчивым развитием территории. Территориальное планирование (в том числе стратегическое) следует осуществлять на всех уровнях на основе принципов:

1) *преемственности развития* и управленческих решений согласно выделенным уровням ранжирования градостроительных систем, их взаимосвязи и взаимообусловленности;

2) дифференциации ресурсного потенциала как основы формирования каркаса устойчивого пространственного развития территории [13];

3) *идентичности места*, т.е. совокупности природных и историко-культурных свойств территории;

4) ландшафтосообразности [1];

5) специализации в системе разделения труда неистощительного природопользования [7].

6) структурно-правовой соподчиненности стратегических задач и способов их решения (моделей управления процессами градостроительного развития территории) [13],

7) компактности элементов региональной системы расселения (населенных пунктов).

Предлагаемая теоретическая модель устойчивого развития включает в себя решение конфликтов мотиваций на основе

1) принципов регулирования устойчивым развитием территорий;

2) анализа ресурсного потенциала территории;

3) определение «кода» идентичности территории;

4) выявлении зон конфликтов мотиваций и их классификации;

5) методов разрешения конфликтов мотиваций.

Устойчивое развитие территории, по мнению авторов, это отношение совокупности частных характеристик территории, отражающих ее пространственное развитие в конкретный период времени («код» идентичности) к адаптивному развитию территории за конкретный промежуток времени и выражается в виде относительной величины структурных изменений территории (формула 1)

$$U = \frac{T}{T + \Delta T} \rightarrow 1, \quad (1)$$

$T$  – «код» идентичности представляет собой сумму частных характеристик территории, отражающих ее пространственное развитие в конкретный период времени.

$$T = \sum_{i=1}^{12} I_i, \quad (2)$$

где  $I_i$  – суммарный индекс частных характеристик территории;  $\Delta T$  – адаптивное развитие территории.

Представляет приращение структурных изменений территории по рассматриваемым частным характеристикам за конкретный промежуток времени.

$$\Delta T = T - T_{пр} \quad (3)$$

В исследовании предлагается анализировать 12 частных характеристик территории, позволяющие оптимально рассмотреть территорию и определить степень ее устойчивости (табл. 1)

$I_i = \sum I_{ij}$ , где  $I_{ij}$  – индекс показателя  $j$  в группе  $i$

Индекс частной характеристики территории рассчитывается по формулам, описывающим негативные и позитивные процессы [5].

Теоретическая модель устойчивого развития территории региональной системы расселения, сформированная на основе качественного и количественного анализа экономического, социального и экологического каркасов, позволяет создать благоприятные условия жизнедеятельности человека, обеспечить инфраструктурные условия развития и диверсификации экономики, в т.ч. формирование зон опережающего развития разного вида и "точек роста" и призвана обеспечить рациональное использование природных ресурсов и сохранение ценных природных комплексов, а также позволяет прогнозировать рациональное, экологически сбалансированное развитие различных частей территории.

Переход системы из конфликтного состояния к качественно новому – бесконфликтному является развитием ситуации. Стратегия перехода, следовательно, является стратегией развития, определяющей содержание градостроительного проекта. На уровне региональной системы расселения можно выделить несколько основных групп конфликтов мотиваций:

1. Пространственно – экологические (конфликт экологической ценности и антропогенной нагрузки).

2. Пространственно-социальные: конфликты социального воспроизводства, конфликт социализации и персонализации, конфликт материального и духовного

3. Пространственно-экономические: конфликт экономики и экологии

4. Пространственно-управленческие: конфликты мотиваций развития

5. Пространственно-конфигурационные: оптимизация транспортной сети в сторону замкнутости линейных элементов, а не увеличения их плотности

6. Пространственно-эстетические: конфликт эстетики и информатики [1, 11]

Территория Белгородской области относится в средне урбанизированным и высоко урбанизированным территориям с высокой плотностью населения (рис. 3). Это негативно отражается на природном каркасе. На территории практически не осталось нетронутой деятельностью человека природной среды [3]. В связи с этим существует необходимость «укрепления» природного каркаса, его регенерации, создания сети буферных зон, обводнение овражно-балочной сети, способных поддерживать экологическое равновесие на территории.

Таблица 1

**Частные характеристики территории как индикаторы ее устойчивого развития**

ЧАСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРРИТОРИИ		
i <sub>1</sub>	Природный потенциал	Заповедники Гос. прир. заказники Лесные массивы Лугово-пойменные территории Реки, родники Байрочные леса Овраги, балки Урочища
i <sub>2</sub>	Историко-культурный потенциал	Памятники археологии Памятники воинской славы Памятники садово-паркового искусства Линейные элементы историко-культурного каркаса Музеи регионального и федерального уровней
i <sub>3</sub>	Туристско-рекреационный потенциал	Ландшафтно-рекреационные зоны Объекты сельского туризма Базы отдыха Лагеря детского отдыха Благоустроенные пляжи Объекты санаторно-курортного лечения
i <sub>4</sub>	Конфигурационные свойства транспортной сети	Плотность сети Замкнутость сети Шаг дорог разных уровней
i <sub>5</sub>	Транспортная доступность центра муницип-го района. Личный транспорт	Очень высокая (до 10 мин) Высокая (до 20 мин) Средняя (до 30 мин) Низкая (до 40 мин и более)
i <sub>6</sub>	Транспортная доступность центра муницип-го района. Общественный транспорт	Очень высокая (до 20 мин) Высокая (до 30 мин) Средняя (до 40 мин) Низкая (до 50 мин и более)
i <sub>7</sub>	Экономический потенциал	Семейные фермы Предприятия агрохолдингов Промышленные предприятия
i <sub>8</sub>	Потенциал территории по категории использования сельскохозяйственных земель	Земли сред. качества Земли удовл. кач-ва Лучшие земли Терр. живот-ва и птицеводства Рекреационные зоны Промышленные зоны
i <sub>9</sub>	Характеристика территории по степени нарушенности ландшафтов	С нарушениями грунтовых условий С нарушениями почвенных условий Подтопленные или изменениережимов грунтовых вод С нарушением природного рельефа, образованием техногенных форм микро- и мезорельефа Подработанные техногенные оползни, овраги, термокарсты Геохимически аномальные Геофизически аномальные
i <sub>10</sub>	Характеристика территории по степени заболеваемости населения	Благоприятные для проживания Ограниченно благоприятные Неблагоприятные Особо неблагоприятные
i <sub>11</sub>	Степень урбанизированности территории	Низкоурбанизированные Среднеурбанизированные Высокоурбанизированные
i <sub>12</sub>	Степень плотности расселения населения	Высокая (от ) Средняя (от ) Низкая (от )

Область является старопромышленным регионом, испытывающим в силу сложившейся экономической структуры многолетнюю антропогенную нагрузку добывающего и перерабатывающего производств. Особенностью промышленного освоения региона является его нацеленность на добычу и переработку железосодержащих руд. Воздействие техногенных составляющих горно-металлургического комплекса и сопутствующего производства области характеризуется комплексностью и наиболее сильным воздействием на все компоненты природной среды: атмосферу, почвы и растительность, земную поверхность, подземные и поверхностные воды.

Поверхностные водоемы используются для рекреационного и рыбохозяйственного водопользования, а также для забора воды на технические нужды и приема сточных вод.

Грунтовые воды используются для большинства видов народнохозяйственной деятельности [10, 11]. При этом существенное значение приобретают накопление и расходование грунтовых вод. Складываясь из положительных (накопление) и отрицательных (расходование) величин, что зависит от многоводности или маловодности того или иного года, эти элементы баланса при рассмотрении процесса за длительный многолетний период компенсируются. В связи с этим современная нагрузка на наземные и подземные водные ресурсы в условиях маловодности территории может привести к опустыниванию региона.

Хозяйственно-экономическая деятельность на территории Белгородской области привела к значительным, по ряду факторов – необратимым, изменениям природой среды. Территории, оказавшиеся в зоне прямого влияния промышленных и селитебных комплексов, испытывают антропогенную нагрузку высокого уровня интенсивности практически по всем компонентам. Необходимо отметить, что в области большое внимание уделяется совершенствованию методов управления природными ресурсами и их рациональному использованию, охране окружающей среды и экологической безопасности всех территорий области [2, 4]. В целях реализации мер по созданию комфортной и безопасной среды обитания, повышения экологической культуры и формирования мировоззрения устойчивого развития у населения области в среднесрочном и долгосрочном периодах реализуются различные региональные программы [12].

Однако наряду с этим следует подчеркнуть, что в Белгородской области практически не осталось естественных, не подверженных ан-

тропогенному преобразованию природных объектов. Значительные объемы загрязнений, комплексное воздействие загрязняющих веществ на все элементы окружающей среды, включая население региона, предопределяют жесткую необходимость соблюдения норм рационального природопользования. Выявлено существенное загрязнение почв и поверхностных вод, достаточно высокая степень нарушенности рельефа. Особый режим использования необходимо разработать на территориях, подверженных оврагообразованию и деградирующих территориях, появившихся после добычи на них полезных ископаемых. Овражно-балочный ландшафт, являющийся яркой природной особенностью Белгородской области, функционирует особым образом. Овраги и балки участвуют в обеспечении гидрологического баланса на территории маловодного региона, часть территории которого относится к зоне лесостепи (полусухая или переменная влажная), а часть к зоне степи (полусухая). В связи с этим овражно-балочный ландшафт формировать как элемент ядер природного каркаса, не подвергать его антропогенной нагрузке.

Деятельность по добыче железной руды на территории региона, которая по характеру своего воздействия на компоненты окружающей природной среды является одним из наиболее масштабных и долговременных и характеризуется техногенной трансформацией компонентов окружающей среды, формированием карьерно-отвалных ландшафтов как техногенных ландшафтно-геохимических систем. Вблизи горнодобывающих карьеров значительно загрязнен атмосферный воздух. Содержащиеся в нем вещества переносятся на значительные расстояния, вызывая повторное загрязнение поверхностных вод и почв, приводят к деградации растительности, негативно сказываются на здоровье людей [9]. Распространение средовых болезней (среди которых преобладают онкологические и органов системы дыхания), ухудшение условий жизнедеятельности сказываются на снижении эффективности рабочего времени, понижении производительности труда.

Нуждаются в рекультивации не только ландшафты, нарушенные в результате активной добычи полезных ископаемых открытым способом (железных руд, глин, мела, песка), но и земли, отведенные под сельскохозяйственное использование, которые деградировали в результате сельскохозяйственной деятельности человека. Восстановление нарушенных территорий всех видов использования должно являться основной задачей стратегического регионального планирования территории Белгородской области.

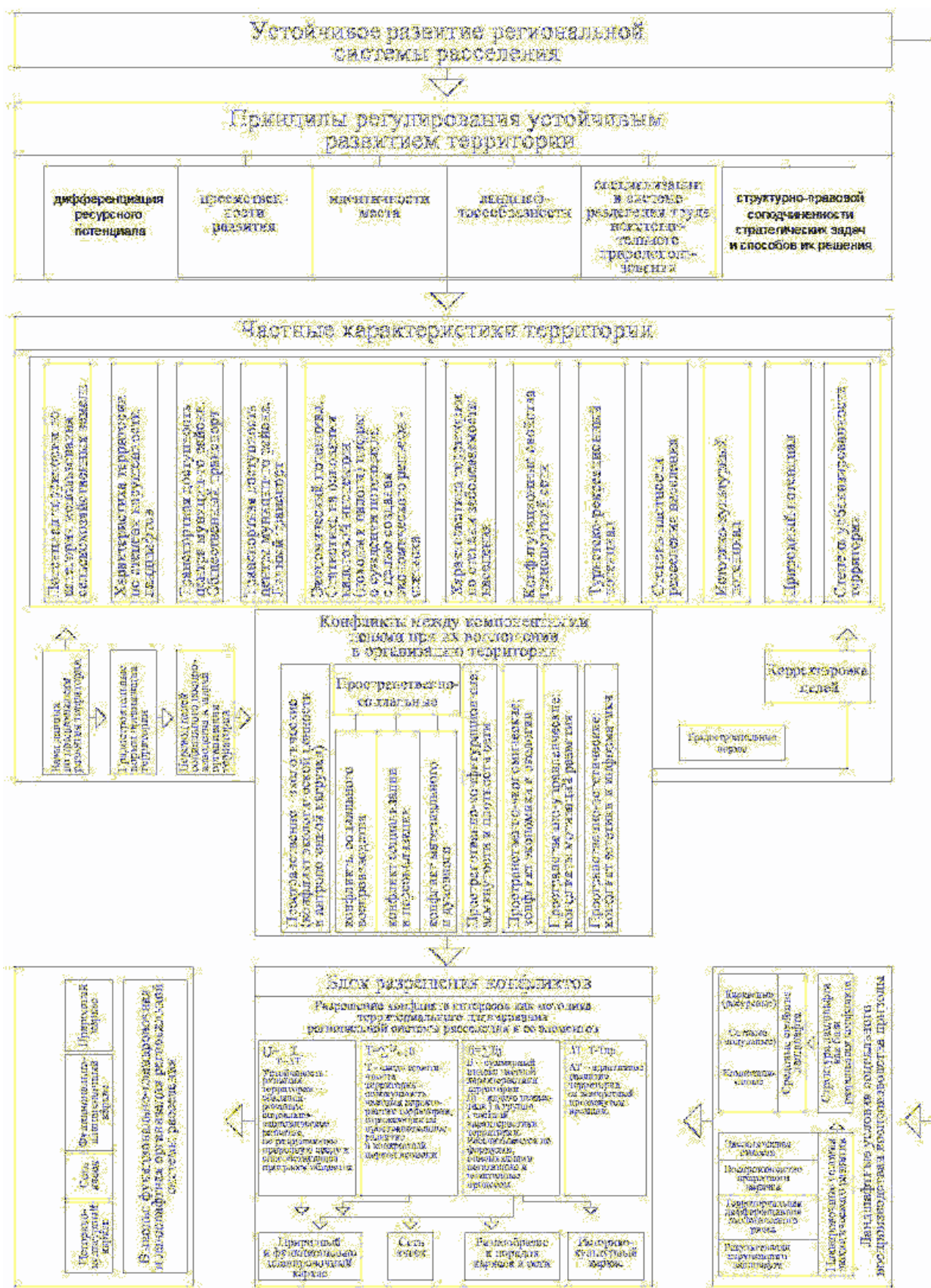


Рис. 1. Теоретическая модель развития сложившейся региональной системы расселения (Белгородской области), которая предполагает разрешение конфликтов мотиваций между природными (экологическими, историко-культурными) и экономическими компонентами

Таким образом, с одной стороны – Белгородская региональная система расселения и ее элементы (муниципальные районы) демонстри-

рует успешное инновационное экономическое развитие: сельскохозяйственное производство, прошедшую стадию структурных изменений в

конце 20 – начале 21 века и высокую экономическую эффективность управления сельскохозяйственными угодьями благодаря своевременно разработанным и реализованным региональным стратегическим программам. С другой стороны – технический прогресс влечет за собой сильное техногенное воздействие на территорию, а, следовательно, значительные нагрузки на природный каркас. Об это говорит изменение состава почвы на территории БО (см. рис. содержание гумуса в почве).

Деятельность по добыче полезных ископаемых (в частности, железной руды) истощает ресурсы экосистемы и может привести к опустыниванию региона. Ведь устойчивое развитие территории зависит не только от успешной экономической деятельности, но и от относительной неизменности (*const*) элементов природной подсистемы (природного каркаса), раскрывающих идентичность среды обитания.

Устойчивое развитие региональной системы расселения является совокупным результатом устойчивости узлов сети, степени насыщенности пространственных связей (дорог), количества вовлекаемых природных ресурсов и должно быть направлено на разрешение конфликта интересов природной, экономической и социальной подсистем [6].

Устойчивое развитие региона находится в зависимости от рационального использования вовлекаемых в социально-экономическое развитие природных ресурсов, преемственности, обеспечении внутренних связей в управлении развитием территорий как целостной системы, активности/пассивности внешних хозяйственных (экономических) отношений, многопрофильности структуры экономической системы субъекта РФ, а также активной гражданской позиции всех групп. В связи с этим в рамках концепции устойчивого развития территории необходимо разрешение конфликтов интересов экономического и природного каркаса путем нахождения баланса, так как экономическое развитие регламентируется состоянием биосферы и зависит от ее возможностей.

*\*Работа выполнена в рамках Гранта РФФИ 14-41-08040.*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Большаков А.Г. Градостроительная организация ландшафта как фактор устойчивого развития территории, диссертация док. арх. Иркутск, 2003, 424 с.
2. Департамент агропромышленного комплекса и воспроизводства окружающей среды Белгородской области: [Электронный ресурс.] URL: <http://belapk.ru>
3. Заповедники Белогорье. Офиц. сайт Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации: [Электронный ресурс.] URL: <http://www.zapovednik-belogorye.ru/>
4. Отчет о научно-исследовательской работе на разработку «Схемы территориального планирования Белгородской области» от 25 мая 2006 г.
5. Принципы градостроительного развития элементов и сети малых городов и агломераций Белгородской области: отчет о НИР (промежточ.)/ БГТУ им. В.Г.Шухова; рук. Перькова М.В. 2015.84 с. испол.: Трибунцева К.М., Крушельницкая Е.И., Киселев С.Н., № ГР 14-41-08040.
6. Перькова М.В. Закономерности эволюционного развития Белгородской региональной системы расселения // Архитектура и строительство России. 2015. Вып.11-12. С. 11–15.
7. Перькова М.В. Градостроительное развитие Белгородской региональной системы расселения и ее элементов // Архитектура и строительство России. 2016. Вып.4. С. 12–17.
8. Перькова М.В. Родяшина К.М. Стратегическое региональное планирование в РФ: основные пути развития и инструменты управления // Вестник БГТУ им. Шухова, № 9. 2016. С.77–83.
9. Петин А.М. Рациональное недропользование в железорудной провинции Курской магнитной аномалии (проблемы и пути их решения) (Автореферат на соискание ученой степени доктора. геогр. н.). Астрахань, 2010.
10. Подземные воды. Информационный бюллетень "О состоянии недр на территории РФ в 2005 году"/ Журнал "АДС-Техника": [Электронный ресурс.] URL: <http://www.adctehnika.ru/content/iziskania/3518>.
11. Фрейдин Е. Конфликтологическая концепция градостроительной деятельности (градо-строительная конфликтология)// «Сибирская архитектурно-художественная школа: наука, практика, образование»: Материалы Всероссийской научно-практической конференции.- Новосибирск: ООО Издательство «Сибпринт», 2007. 193 с.
12. Офиц. сайт администрации Белгородской области: [Электронный ресурс.] URL: <http://belregion.ru/region/priorities/solidarity.php>
13. Юшкова Н.Г., Долотова Ю.А., Терехова И.П. Формирование технологий решения стратегических задач пространственного развития градостроительных систем// Интернет-вестник ВолгГАСУ. Политематическая сер. 2009. Вып. 2 (9). Электронный доступ. [www.vestnik.vgasu.ru](http://www.vestnik.vgasu.ru)

---

**Perkova M.V., Bolshakov A.G.**

**THEORETICAL MODEL OF REGIONAL DEVELOPMENT SETTLEMENT SYSTEM**

*The article discusses the issue of sustainable development of the regional settlement system and its elements (municipalities). The authors proposed the principles of territorial planning of the regional system of settlement and classification of the urban conflicts of motivations. Developed a theoretical model of sustainable development of regional systems of settlement, including the examination of particular characteristics of the territory, the definition of "code" identity of the territory, its adaptive development over time, identifying areas of conflict motivations and their solution in solving problems of territorial planning.*

**Key words:** *sustainable development, regional settlement system, motivations conflicts characteristic of the territory, a theoretical model.*

---

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

Белгородский Государственный Университет им. В.Г Шухова

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

E-mail: perkova.margo@mail.ru

**Большаков Андрей Геннадьевич**, доктор архитектуры, профессор.

Белгородский Государственный Университет им. В.Г Шухова

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

E-mail: andreybolsh@yandex.ru



Черныш А.С., канд. техн. наук, проф.  
Черныш Н.Д., доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННОЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ДЕФОРМАЦИЙ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ

gkadastr@mail.ru

*В статье рассмотрены вопросы деформации оснований элементов, создающих городскую среду, в частности, вопросы виброустойчивости и виброползучести водонасыщенных песчаных грунтов. Представлен анализ методов закрепления грунтов, повышающих устойчивость зданий и сооружений. Особенно это актуально в настоящее время, когда на конструкции зданий и сооружений повышается нагрузка от вибрации, вызванной интенсивным движением транспорта с одновременным увеличением массы зданий и, соответственно, нагрузок на основания.*

**Ключевые слова:** городская среда, деформации, песчаные основания, виброустойчивость, виброползучесть.

Все многообразие объектов, окружающее человека и созданное человеком, от зданий и сооружений до дорог составляет городскую среду. Вопросы проектирования и создание современной качественной городской среды в настоящее время достаточно актуальны. При этом весьма высоки требования к обеспечению надежных условий строительства и эксплуатации зданий, сооружений и транспортных коммуникаций.

Под воздействием статической и переменной нагрузок при взаимодействии подземной части сооружения с неоднородной грунтовой средой возникает сложное напряженно-деформированное состояние (НДС), которое может привести к дополнительным остаточным деформациям. Оценка НДС оснований, в том числе остаточных деформаций грунтов основания имеет большое значение.

Наблюдениями на ряде промышленных сооружений установлены недопустимо большие осадки и деформации фундаментов, которые испытывают динамические воздействия от работы оборудования в течение длительного времени (фундаменты дробилок, кузнечных молотов, а также близлежащие фундаменты промышленных зданий) [1–4]. Часть подобных явлений характерна для сооружений, возведенных на мелкозернистых и пылеватых песках, обычно водонасыщенных, и связана с виброползучестью песчаного основания [5, 6]. При этом в отличие от процессов динамического уплотнения и разжижения песков [7–10] осадки затухают медленно.

Экспериментальные исследования на опытных площадках и на ряде промышленных площадок с опытными штампами площадью до 4,8 м<sup>2</sup>, а также анализ натурных наблюдений позволили выявить ряд основных закономерностей процессов виброползучести.

Установлено, что при действии вибрации при статическом давлении  $\sigma_{ст} > \sigma_q$  пески под фундаментом могут испытывать длительные малозатухающие и незатухающие деформации, тем большие, чем больше амплитуда динамических напряжений  $\sigma_q$ . Критическая нагрузка, при которой начинает развиваться процесс нестационарной виброползучести, даже при небольших вибрациях, может быть существенно меньше предельной статической. Визуализация картины деформаций и измерения плотности показали, что большая осадка при виброползучести связана с вязко-пластичным пластическим сдвигом типа двустороннего выпора.

Также установлено, что влияние на виброустойчивость и виброползучесть песчаных грунтов амплитуды динамических напряжений более существенно, чем ускорения колебаний. Это совпадает с лабораторными трехосными испытаниями и современными понятиями о длительной прочности. Становится понятным влияние низкочастотной вибрации на водонасыщенные пески, так как определяющими являются напряжения и пропорциональные им амплитуды колебания. При этом фактор частоты в основном проявляется в зависимости процесса от числа накопленных циклов, а деформации виброползучести существенно зависят от статического давления под фундаментом. На рис. 1 приведены кривые развития осадок опытного штампа 0,9×2,0 м на водонасыщенном мелкозернистом песке средней плотности при постоянном уровне динамического воздействия с частотой 60 Гц и разных статических давлениях. Выявлено, что в определенном интервале давлений дополнительные осадки пропорциональны статической нагрузке. Протекание осадки во времени хорошо описывает степенная зависимость.



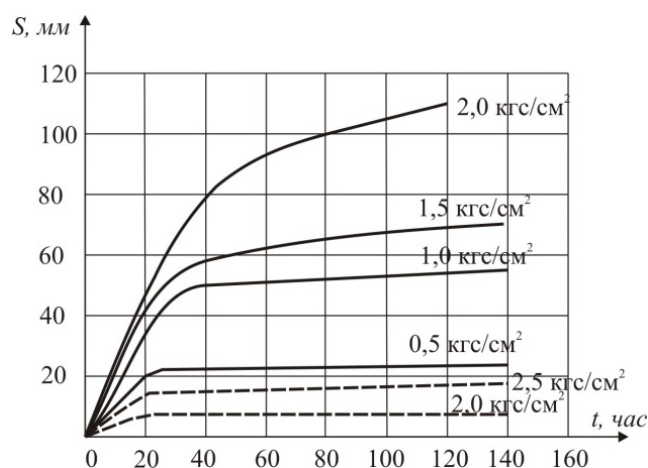


Рис. 1. Кривые развития осадок опытного штампа:

—— водонасыщенный грунт  $\sigma_q = 0,05$  кгс/см<sup>2</sup>; ---- сухой грунт  $\sigma_q = 0,1$  кгс/см<sup>2</sup>

Натурные наблюдения подтверждают эти сведения. Так, максимальный прогиб или крен фундаментов мощных агрегатов наблюдается обычно в районе наибольших вибраций. Осадки тяжело нагруженных фундаментов, воспринимающих через грунт колебания от работающих рядом машин, часто намного превышают осадки фундаментов этих машин, хотя уровень вибраций под ними ниже (бункерные этажерки, колонны кузнечных цехов и мельничных пролетов испытывали очень большие, обычно неравномерные осадки).

Сухие грунты более виброустойчивы, чем водонасыщенные, что проявляется в резком увеличении скорости осадки при повышении уровня подземных вод. [11, 12] При этом заглубление штампа и увеличение боковой нагрузки является стабилизирующими факторами, что вполне логично использовать на практике.

Таким образом, даже слабые динамические воздействия могут существенно уменьшить эффективную несущую способность, длительную прочность песчаного основания. Это уменьшение следует учитывать в соответствующем снижении расчетного давления, для чего необходимо проведение дополнительных испытаний грунтов стройплощадки. Для крупно- и среднезернистых песков, а также для сооружений малочувствительных к осадкам фундаментов можно ограничиться аналогичными лотковыми испытаниями, либо, ввиду хорошей корреляции полевых и лабораторных испытаний, в динамическом приборе трехосного сжатия.

Проведенными полевыми испытаниями установлено, что при наблюдаемых уровнях вибрации расчетные давления под фундаментами мельниц следует уменьшить до 0,5–0,55 от статического, а под соседними фундаментами колонн цеха — до 0,7–0,75 от статического  $R$ . Для медленно затухающих деформаций вибро-

ползучести вполне приемлемое проектное решение может быть дано и при оценке величины осадок виброползучести экстраполяцией данных предварительных полевых испытаний опытным виброштампом 0,5–1,5 м<sup>2</sup>.

Учет вышеизложенного позволяет избежать недопустимых деформаций и нарушений эксплуатационного режима промышленных сооружений, а для ответственных объектов, возводимых на мелкозернистых и пылеватых водонасыщенных песках, представляется необходимым.

Для предотвращения развития процессов виброползучести в основании часто необходимо применение защитных мероприятий. Наиболее эффективна виброизоляция источника колебаний и фундаментов. Возможно также химическое закрепление песков основания.

Например, с целью снижения стоимости дорожного строительства широкое применение для замены прочных каменных материалов находят закрепленные грунты, а именно грунто-силикаты, гидрофобизированный грунтоцемент, грунтоизвесть с добавками ПАВ, молотые граншлаки, золы и шлаки и др. Оптимальные дозировки вносимых в грунт материалов приводят к получению конкретных прочностных и других свойств, начальные характеристики которых обычно принято считать постоянными [13–16].

Установлено, что значительным резервом повышения качества закрепленных грунтов является изменение режимов взаимодействия «усилие–среда». Достижение более высоких прочностных и других физико-механических показателей одного и того же грунта возможно не только за счет увеличения дозировок стабилизирующего вещества, но и изменения способа уплотнения. Установлено, что по сравнению с уплотнением различных составов закрепляемого цементом грунта давлением до 20–50 кгс/см<sup>2</sup>

эквивалентным давлением опрессовки до  $600 \text{ кг/см}^2$  можно до 4-х раз увеличить прочность и морозостойкость грунтоцементов (рис. 2).

В грунт – пылеватый лёссовидный суглинок вводилось до 15 % по весу портландцемента М200. После опрессовки образцы при атмосферном давлении пропаривали до  $90^\circ$  на протяжении 6 часов, а затем испытывали на прочность и морозоустойчивость. Уплотнение грунтоцементов производили при экспериментально установленной влажности смеси.

Характер уплотняемости грунтоцементов с поверхностно-активными микродобавками под воздействием различных давлений опрессовки не отличался от характера уплотнения «чистых» грунтов и «чистых» грунтоцементов; по мере

повышения давлений у всех исследуемых составов максимальная плотность повышается, а оптимальная влажность уменьшается.

Наиболее интенсивно прочность образцов растет при повышении давления опрессовки до  $100 \text{ кгс/см}^2$ , а при дальнейшем росте давления она уменьшается только на 10–15 %, однако остаточная прочность (до 30 циклов) по мере повышения давления опрессовки повышается.

Также установлено, что при уплотнении одного и того же состава грунтосиликата вибрацией достигается более высокая прочность материала ( $270 \text{ кгс/см}^2$ ), чем при уплотнении пресованием, а при уплотнении трамбованием – более высокая прочность, чем при вибрации. В первом случае  $270 \text{ кгс/см}^2$ , во втором –  $320 \text{ кгс/см}^2$  и в третьем –  $370 \text{ кгс/см}^2$ .

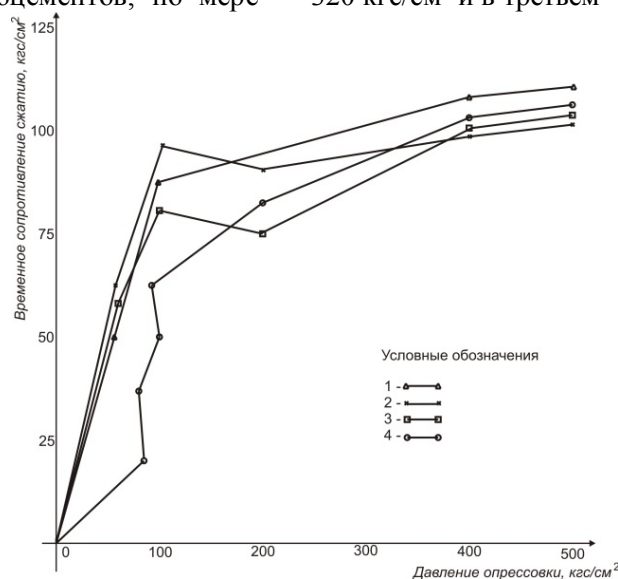


Рис. 2. Зависимость прочности закрепленного связного грунта на сжатие от величины давления опрессовки:  
1 — 15% цем.+0,2% ССБ; 2 — 15% цем. +1,2  $\text{CaCl}_2$ ; 3 — 15% цем. + 0,05% винсола;  
4 — 15% цем. + 2,5% гидроцемента

В связи с изложенным значительный практический интерес представляет использование «чистых» грунтов или обработка различных закрепляемых грунтов энергией взрыва в качестве более мощного источника мгновенного приложения к среде сверхвысоких давлений (до 200 тыс. атм.) и температур до  $5000^\circ\text{C}$ . При этом два основных случая взаимодействия «среда-взрыв» принципиально отличаются друг от друга в зависимости от фазового состояния уплотняемой среды: гидродинамическое взаимодействие при двухфазной системе среды (твердая и жидкая не более 0,030–0,005 захваченного воздуха); вязко-пластично-упругое взаимодействие при трехфазной системе среды (твердая, жидкая и газообразная).

Представленные результаты выявлены воздействием на песчаные грунты, имеющие рыхлое и естественное сложение, ударных, вибрацион-

ных и взрывных нагрузок. Поведение песков, уплотненных до требуемых норм, находящихся в течение длительного периода в водонасыщенном состоянии, в условиях воздействия многократных нагрузок, с параметрами близкими к реально действующим в основании, определяет один из критериев – сдвигоустойчивость, соблюдение которого обеспечивает работу конструкции без накопления остаточных деформаций, вызванных пластическими смещениями в грунте [14–16].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Маслов Н.Н. Механика грунтов в практике строительства. М.: Стройиздат, 1977. 320 с.
2. Вялов С.С., Городецкий С.Э., Ермаков В.Ф., Зацарная А.Г., Пекарская Н. К. Методика определения характеристик ползучести, дли-

тельной прочности и сжимаемости мерзлых грунтов. М.: Наука, 1966. 132 с.

3. Багдасаров Ю.А., Валеев Р.Х., Крутов В.И., Виниковский М.И. Пути повышения экономической эффективности устройства оснований и фундаментов на просадочных грунтах с I типом по просадочности // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1979. № 5. С. 3–5.

4. Вронский А.В. Влияние характера изменения жесткости основания по длине зданий на напряженное состояние их конструкций // Основания, фундаменты и подземные сооружения. 1970. № 59. С. 30–32.

5. Литвинов И.М. Глубинное уплотнение просадочных грунтов. Киев: Будівельник, 1969. 184 с.

6. Соколович В.Е. Новое в химическом закреплении грунтов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1971. № 2. С. 5–7.

7. Воронкевич С. Д., Емельянов С. Н., Зархин Б. М., Ларионова Н.А. Результаты натурных опытов по закреплению лессовых грунтов повышенной влажности // Ускорение научно-технического прогресса в фундаментостроении. М.: Стройиздат, 1987. Т.1. С. 255–256.

8. Выскребенцев В.С., Черныш А.С. Об уплотнении структурно-неустойчивых грунтов тяжёлыми трамбовками // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2015. №3. С. 26–30.

9. Выскребенцев В.С. О применении грунтовых подушек на слабых грунтах оснований

инженерных сооружений // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова 2015. №3. С. 16–20.

10. Черныш А.С. К вопросу оценки устойчивости откосов сложенных просадочными грунтами при динамических воздействиях и увлажнении // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2015. № 6. С. 27–30.

11. Потапов, А. Д., Платов А. Д., Лебедева М.Д. Песчаные грунты. М.: Изд-во АСВ, 2009. 254 с.

12. Строительство на слабых водонасыщенных грунтах // Материалы Всесоюзного совещания. Одесса, 1975.

13. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*/ Минрегион России. 2011.

14. Усманов Р.А. Слабые водонасыщенные грунты, образованные обводнением лессов, как основания сооружений в условиях Республики Таджикистан: дис.... докт. техн. наук. М.. 2009. 252 с.

15. Соболев Е.С. Ползучесть и виброползучесть песчаных грунтов оснований зданий и сооружений: дис.... канд. техн. наук. М.. 2014. 150 с.

16. Тер-Мартirosян А. З. Взаимодействие фундаментов с основанием при циклических и вибрационных воздействиях с учетом реологических свойств грунтов: дис. ... канд. техн. наук. М., 2010. 190 с.

---

**Chernysh A.S., Chernysh N.D.**

#### **FORMATION OF HIGH-QUALITY URBAN WEDNESDAY, TAKING INTO ACCOUNT THE CONDITIONS OF DEFORMATION OF SOIL FOUNDATION**

*In the article questions of deformation reasons elements constituting the City Wednesday, inter alia, vibration and vibropolzuchesti saturated sandy soils. An analysis of the methods of fixing soils, increase the sustainability of buildings and structures. This is especially true now, when the construction of buildings and structures increases the load on vibration caused by heavy traffic while increasing mass of buildings and, accordingly, the loads on the base.*

**Key words:** *City Wednesday, deformation, sand grounds, vibration, vibropolzuchest'.*

---

**Черныш Александр Сергеевич**, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой 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

**Черныш Надежда Дмитриевна**, доцент кафедры архитектурных конструкций.

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

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

E-mail: chernysh-nadejda@yandex.ru

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

## ФОРМИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ И ИНТЕЛЛЕКТА ЗДАНИЙ

lebedev.lebedev.v.m@yandex.ru

*Определен уровень интеллекта количеством и качеством информационных процессов, используемых при формировании функциональных систем после построения всех конструктивных элементов зданий.*

**Ключевые слова:** системокванты, информационные процессы, конструктивные системы, функциональные системы, интеллект зданий.

Одновременно с возведением конструктивных элементов зданий и здания в целом со сдачей объектов в эксплуатацию (рис. 1) на основе информационных процессов осуществляется формирование функциональных систем и интеллекта зданий (рис. 2).

По определению А.А. Гусакова [2] «системы функциональные 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».

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

Для современных строительных объектов можно привести следующий примерный состав функциональных систем: антропо-техническая, архитектурная, водообеспечения, водоотведения, воздухотехническая, гомеостатная, конструкторская, ликвидационная, переустроительная (реконструкторская), производственно-технологическая, прочностная, социально-потребительская, строительно-монтажная, теплотехническая, электротехническая, эксплуатационная, интеллектуальная [2].

Информационные процессы составляют внутреннее наполнение системоквантов системной архитектуры образующих их функцио-

нальных систем, включающие установленные П.К. Анохиным [3, 4] стадии афферентного синтеза, принятия решения, предвидения и оценки потребных результатов их деятельности, прямой и обратной афферентации.

Используя выше изложенное, построим дерево целей формирования интеллекта здания на основе взаимодействия функциональных систем и информационных процессов (рис. 2).

После построения всех конструктивных элементов зданий и сборке всех функциональных систем в интегральную систему (систему систем) – единый функционирующий строительный объект, вступает в действие интеллектуальная функциональная система [5–10].

Для устранения физического или морального износа, изменения функционального назначения зданий начинает действовать переустроительная (реконструкторская) функциональная система.

Для зданий и сооружений, отслуживших свой физический или моральный срок, вступает в действие ликвидационная функциональная система.

Уровень интеллекта (УИ) [5,6] определяется количеством и качеством информационных процессов (ип), используемых при формировании функциональных систем.

$$UI = \sum_{i=1}^n ui_1 + ui_2 + ui_3 + \dots + ui_n \quad (1)$$

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.

Интеллект зданий формируется взаимосодействием функциональных систем на основе информационных процессов и организационно-информационных взаимосвязей.

Цель – сдача объекта

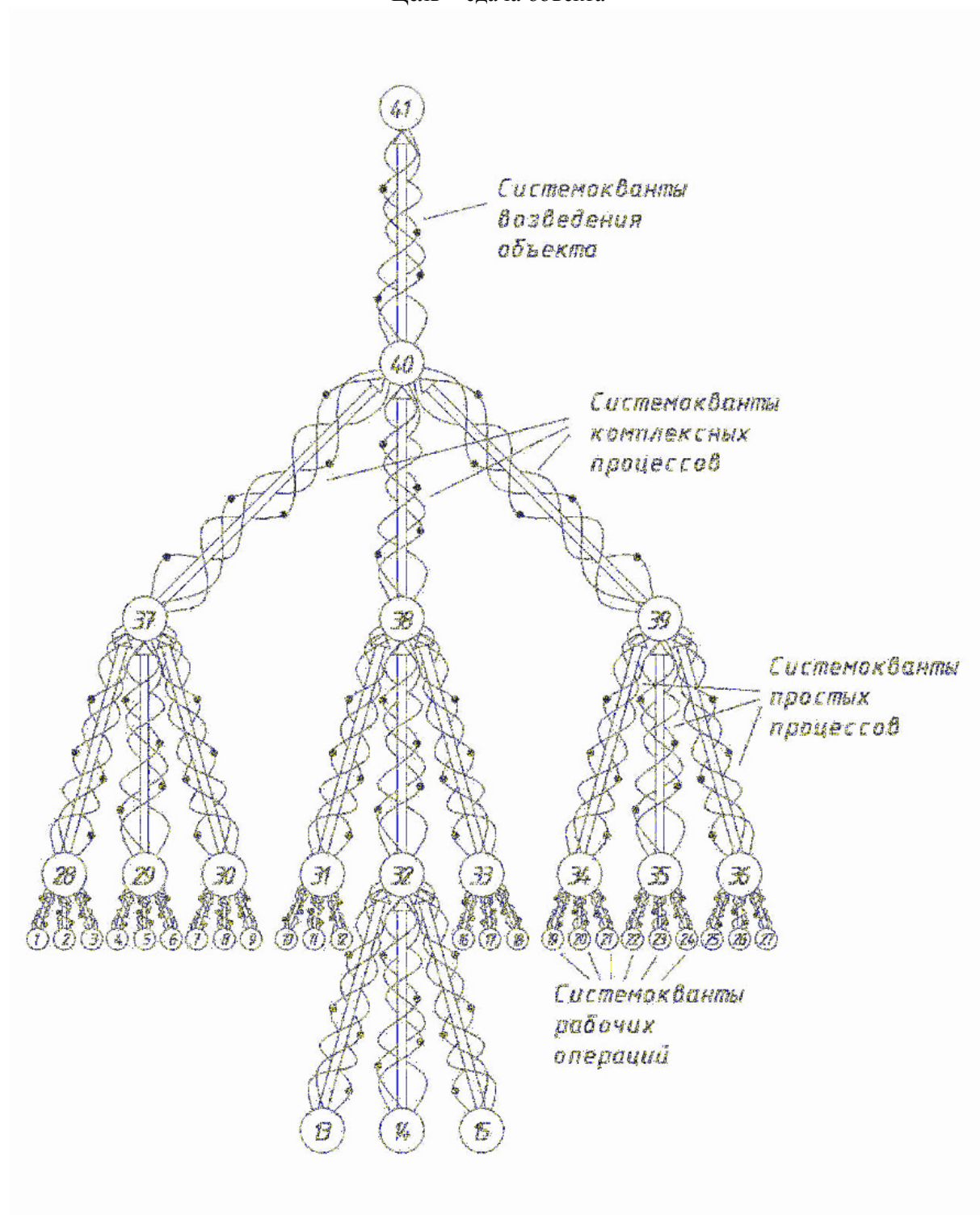


Рис. 1. Иерархическая структура (дерево целей) формирования системоквантов строительных процессов и объектов:

- информационные векторы системоквантов, направленные на достижение цели (получение результата);  
 – логистические цепочки системоквантов, обвивающие информационные векторы по восходящим спиральям.



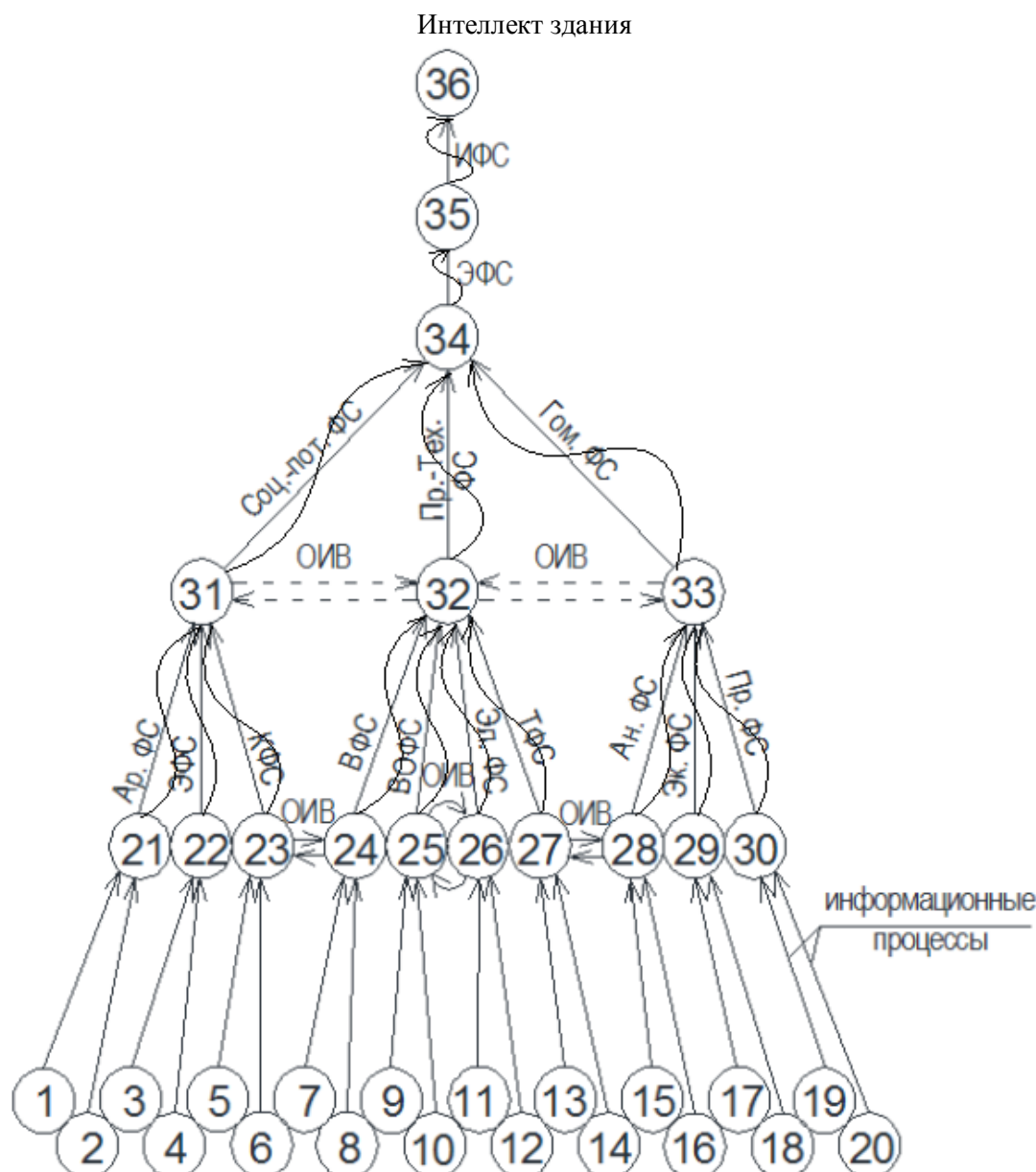
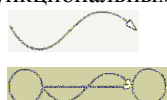


Рис. 2. Инфографическая модель формирования интеллекта здания: 1-21, ..., 20-30 – информационные процессы; 21-31, 22-31, 23-31 – архитектурная (Ар), экономическая (Э), конструктивная (К) функциональные системы (ФС); 24-32, 25-32, 26-32, 27-32 – водообеспечения (В), водоотведения (ВО), электротехническая (Эл), теплотехническая (Т) функциональные системы (ФС); 28-33, 29-33, 30-33 – антропологическая (Ан), экологическая (Эк), прочностная (Пр) функциональные системы (ФС); 31-34, 32-34, 33-34, 34-35, 35-36 – социально-потребительская (Соц.-пот.), производственно-технологическая (Пр.-тех.), гомеостатная (Гом), эксплуатационная (Э), интеллектуальная (И) функциональные системы (ФС); 23-24, 24-23, 25-26, 26-25, 27-28, 28-27, 31-32, 32-31, 32-33, 33-32 – организационно-информационные взаимосвязи (ОИВ) между функциональными системами и информационными процессами.



– кванты материализации информационных процессов;

– системокванты функциональных систем.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волков А.А., Лебедев В.М. Системокванты технологических процессов строительства объектов // Вестник МГСУ. 2011. №1. С. 281–286.
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. Изд-во «Наука» М., 1978. 400 с.

5. Лебедев В.М. Системотехника строительства и формирования функциональных систем зданий. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. 165 с.

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. Волков А.А. Интеллект зданий: формула// Промышленное и гражданское строительство. Москва. 2012. №3. С. 54–57.

9. Информационные модели функциональных систем; под ред. К.В. Судакова и А.А. Гусакова. М. Фонд «Новое тысячелетие», 2004. 304с.

10. Системотехника; под ред. А.А. Гусакова. М.: Фонд «Новое тысячелетие», 2002. 768с.

---

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

**THE FORMATION OF FUNCTIONAL SYSTEMS OF INTELLIGENCE AND 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:** *systemic quantum, information processes, structural system, functional system, intelligence buildings.*

---

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

НИУ Московский государственный строительный университет.

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

E-mail: volkov@mgsu.ru

**Лебедев Владимир Михайлович**, кандидат технических наук, доцент.

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

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

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



DOI: 10.12737/24194

Лебедев В.М., канд. техн. наук, доц.,  
Кряж А.А., магистрант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## СИСТЕМОКВАНТЫ ЛОГИСТИКИ СТРОИТЕЛЬСТВА

lebedev.lebedev.v.m@yandex.ru

*Рассмотрены системы строительного производства и приведены примеры использования концепции системоквантов в интегральной логистической системе строительства.*

**Ключевые слова:** логистика, строительное производство, интегральная система, системокванты.

Современная теория логистики и логистического менеджмента в концептуальном плане базируется на методологиях:

- системного анализа,
- кибернетического подхода,
- исследования операций,
- экономико-математического моделирования.

Для решения проблем строительного производства, возникающих при анализе и синтезе логистических систем и методов управления на разных иерархических уровнях, используются более детально методы программно-целевого планирования, функционально-стоимостного анализа, прогнозирования, моделирования и т.п. Научную базу логистики составляет широкий спектр дисциплин:

- математики (теория вероятностей, математическая статистика, теория случайных процессов, математическая теория оптимизации, функциональный анализ, теория матриц, факторный анализ и др.);

- исследования операций (теория игр, теория статистических решений, теория массового обслуживания, теория управления запасами, метод имитационного моделирования, метод сетевого планирования и др.);

- технической кибернетики (теория больших систем, теория прогнозирования, общая теория управления, теория автоматического регулирования, теория графов, теория идентификации, теория информации, теория связи, теория расписаний, теория оптимального управления и др.);

- экономической кибернетики и экономики (теория оптимального планирования, методы экономического прогнозирования, маркетинг, менеджмент, управление качеством, финансы, бухгалтерский учёт, управление проектами, управление инвестициями, социальная психология, экономика и организация транспорта, складского хозяйства и др.) [4–8].

Для анализа и проектирования логистических систем, методов и приёмов логистического

менеджмента разработаны и апробированы многие методологические принципы, основным из которых применительно к строительному производству является системный подход, который проявляется в рассмотрении всех элементов логистической системы строительного производства как взаимосвязанных и взаимодействующих достижению конечной цели (результата) – сдаче объекта.

При формировании логистической системы строительного производства необходимо применение методологии системного анализа. Системный подход нашёл успешное применение к синтезу логистических систем управления, объектами которых являются предприятия и организации различных видов промышленности, строительства и транспорта [9, 10]. Применительно к проблеме построения логистической системы строительного производства необходимо подчеркнуть принципиальную новизну постановки задачи, заключающуюся в следующем:

- новом рыночном экономическом окружении (внешней среде);

- необходимости учета международного разделения труда и кооперации, координации исследований с международными программами в области логистики, торговли и транспорта;

- новом интегральном характере взаимодействия логистических посредников для достижения главной цели логистической системы строительного производства;

- оптимизации всех видов ресурсов в процессах проектирования, разработки и внедрения логистической систем строительного производства.

Логистическая система в строительстве – это самоорганизующаяся адаптивная, сложная динамическая и стохастическая структура, состоящая из многочисленных взаимодействующих и взаимосвязанных многоуровневых иерархических элементов относительно стабильного целевого и функционального назначения, функционирование которой направлено на своевременное и качественное обеспечение строитель-

ного производства необходимыми материальными ресурсами с максимальной полезностью для потребителей [1, 2].

Основной парадигмой эволюции логистики является интегральная, которая предполагает

возможности использования потоков разнообразных ресурсов в качестве синтезирующего инструмента логистического менеджмента для достижения цели строительного производства (рис. 1).

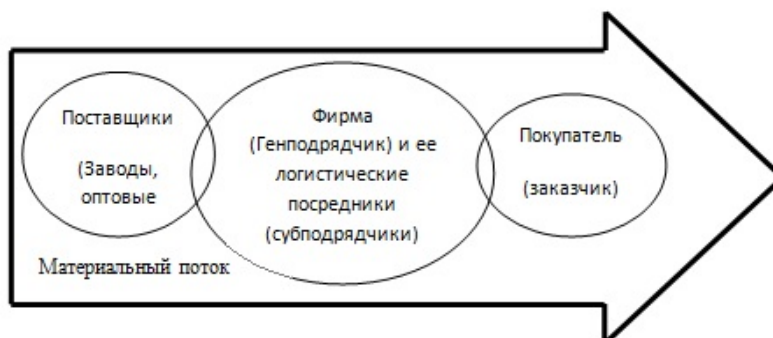


Рис. 1. Иллюстрация интегральной парадигмы логистики строительного производства

При этом важную роль играет человек рассматриваемый в качестве элемента трудовых ресурсов строительного процесса. В этом смысле с концептуальных позиций логистика имеет интегрирующий потенциал, ориентированный по потокам разнообразных ресурсов. Логистическая система в интегральной парадигме реализует цели и требования всех участников строительства объекта.

В интегрированных логистических системах строительного производства потоки разнообразных ресурсов или услуг по производству

строительно-монтажных работ (совокупности которых так же могут быть рассмотрены как специфические ресурсы) необходимо рассматривать в качестве средства объединения всех этапов жизненного цикла строительного производства: от заключения подрядных договоров, строительства и сдачи объектов в соответствии и с меняющимися запросами потребителей строительной продукции, результатами развития научно-технического прогресса и интересами бизнеса в строительном производстве (рис. 2).

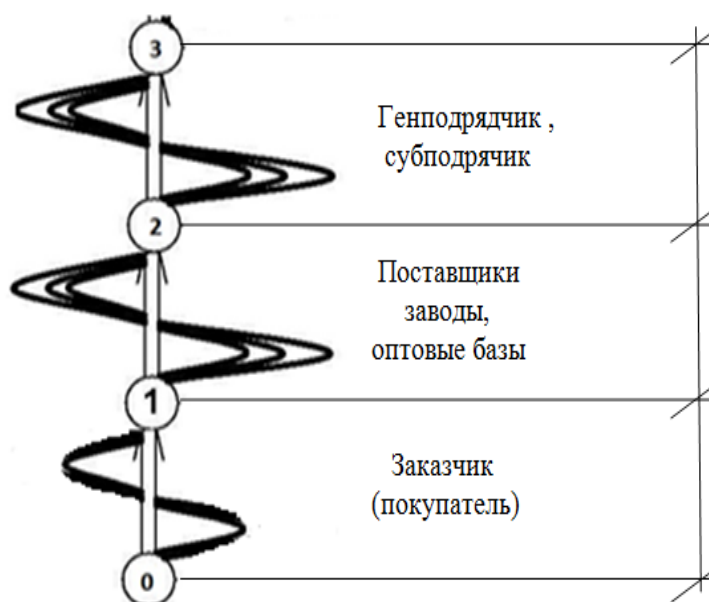




Рис. 2. Системокванты логистики строительства:

 – информационный направляющий вектор;

 – промежуточные и конечные цели

 – кванты логистических потоков финансовых ресурсов;

 – кванты логистических потоков материальных, трудовых и энергетических ресурсов

Резюмируя вышеизложенное, можно дать следующее определение: «Логистика строительного производства – это раздел науки об управлении и автоматизации материальных потоков, потоков услуг по производству строительномонтажных работ и связанных с ними информационных и финансовых потоков в определенной экономической системе (СМО) для достижения поставленных перед ней целей по выполнению строительных процессов и возведению объектов» [3, 4].

С позиций строительного бизнеса: «Логистика строительного производства – это интегральный инструмент менеджмента, способствующий достижению стратегических, тактических или оперативных целей организации бизнеса (строительства) за счет эффективности от снижения общих затрат и удовлетворения требований конечных потребителей (заказчиков) к качеству строительной продукции при производстве строительно – монтажных работ от управления материальными и (или) сервисными потоками, а также сопутствующими им потоками информации и финансовых средств» [3, 4, 5, 6].

Использование системоквантов при логистическом организационно-технологическом моделировании поточного строительства позволяет наглядно спроектировать развитие строительных процессов и объектов, в координатах времени и пространства (рис. 2).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жаворонков Е.П. «Эффективность логистики в строительстве». М.: КИАцентр, 2002 136 с.
2. Жаворонков Е.П., Пермякова Л.В. Менеджмент в строительстве. ООО «Издательство Элит», 2005. 416 с.
3. Сергеев В.И. Логистика в бизнесе: М.: ИНФРА, 2001. 608с.
4. Лебедев В.М. Моделирование системоквантов строительного производства: Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. 244 с.
5. Лебедев В.М. Системотехника строительства и формирования функциональных систем зданий. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. 165 с.
6. Семененко А.И., Сергеев В.И. Логистика. Основы теории : СПб :«Союз», 2003 544 с.
7. Сивохина Н.П., Родинов В.Б., Горбунов Н.М. Логистика. М.: ООО «Издательство АСТ», ЗАО «РИК Русанова», 2000. 224 с.
8. Стаханов В.Н., Ивакин Е.К. Логистика в строительстве. М.: «Издательство Приор», 2001. 176 с.
9. Лебедев В.М. Системокванты строительно-монтажной функциональной системы производства. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. 266 с.
10. Лебедев В.М. Системотехника и системокванты строительного производства. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. 239 с.

---

**Lebedev V.M., Kryazh A.A.**

### **SISTEMOKVANTY LOGISTICS**

*The systems of production and construction are examples of using sistemokvantov concept in the construction of an integrated logistics system.*

**Key words:** *logistics, construction production, integrated system, sistemokvanti.*

---

**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

**Кряж Алексей Андреевич**, магистрант кафедры строительства и городского хозяйства.

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

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

E-mail: deasai@mail.ru

DOI: 10.12737/24142

*Дегтярь А.Н., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
Дегтярь С.А., учитель физики  
МБОУ СОШ №4*

## СРЕДНЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ КАК ПРЕДШЕСТВЕННИК ВЫСШЕГО В СТРОИТЕЛЬНОМ ВУЗЕ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

andrey-dandr@yandex.ru

*В настоящее время остро встает проблема подготовки школьников в связи с введением новых образовательных стандартов в ВУЗах. Изменение внешних условий, в которые попали современные учащиеся, требует всестороннего, глубокого анализа сложившейся ситуации. Провозглашенные при реформах новейшего времени задачи развития образования в действительности ведут лишь к деградационным явлениям не только в самом образовании, но и в обществе, выхолащивается само понятие «получение знаний», утрачиваются методики делавшие наше образование одним из лучших в мире, теряется связь между школой и ВУЗом.*

**Ключевые слова:** образование, образовательный стандарт, низкий уровень образования.

Крайне низкий уровень среднего образования, уже не только у преподавателей высшей школы, но и у широкой общественности не вызывает сомнения. Сегодня только ленивый не ругает систему образования. Попытаемся системно посмотреть на основные накопившиеся в последние десятилетия противоречия в декларируемых успехах и отыскать возможные направления выхода из сложившейся кризисной ситуации.

Ограничим круг наших исследований областью физико-математического направления общего образования как вектора инновационной и технической области. Знания физики и математики продолжает оставаться локомотивом инновационно-технического развития, формирует безопасную и комфортную среду жизнедеятельности.

Общее образование в целом, находится перед долговременными системными вызовами, отражающими как мировые тенденции, так и внутренние барьеры развития российского общества. Эти вызовы связаны с системой подготовки школьников и дальнейшего продолжения обучения в высшей школе.

Проведем анализ условий сложившихся в настоящее время в школе, используем достаточно общие и применимые ко многим областям знаний фундаментальные принципы развивающие человека.

Первый принцип определяет основную цель и направления преобразований применительно к образовательной сфере как подготовку грамотных выпускников нового поколения, обладающих в соответствии с требованиями образовательных стандартов необходимыми навыками, и способных, по убеждению разработчиков новейших образовательных стандартов, к осуществлению инновационной деятельности в

условиях рыночной экономики. Их знания и творческий потенциал призваны стать «главным фактором эффективности экономической системы страны, без которого недостижим ее технический и экономический прогресс. Благодаря инновационной деятельности именно этой группы должны появляться новые творческие разработки, оригинальные технические решения реализуемых проектов и т.п.» [1].

Что же мы видим в действительности? Если отбросить рекламный пиар о все более высоком качестве образования, то в подавляющем большинстве выпускники современных школ не только не обладают достаточными знаниями, но порой даже смутно владеют терминологией, существенно переоценивая при этом себя и свои знания, умения и навыки. Уровень получаемого выпускником образования характеризуется отсутствием глубоких фундаментальных знаний по математике, геометрии, физике и по другим дисциплинам и не позволяет ему всю жизнь учиться, а ведь именно это отличало советскую общеобразовательную школу. Новые устремления выпускников основаны не на понимании ценности знаний, а на необходимости получить диплом о высшем образовании. [2]

Уменьшение количества часов математики в школе, начиная ещё с начального уровня, а затем и в старшей школе приводит к отсутствию вычислительных навыков в связи с невозможностью их достаточного закрепления, что вызывает трудности при решении типовых задач, не говоря уже о задачах повышенной сложности.

Проблемой современной школы является низкое качество знаний выпускников по геометрии, потому что на протяжении нескольких лет геометрия была мало востребована на этапе государственной итоговой аттестации выпускников средней общеобразовательной школы. Поэтому

геометрический материал вошел в разряд второстепенных и необязательных для изучения. В частности, в Белгородской области вообще исчезли предметы «Алгебра» и «Геометрия», а на их место пришла «Математика». И без того плохие знания геометрии и отсутствие «Черчения» вызывают проблемы в высшей школе: отсутствие объемного мышления, ориентации в пространстве, не умение читать простые чертежи и т.д. А ведь это является неотъемлемой частью архитектурно-строительного образования, да и технического в целом.

Разделение физики на базовую и профильную приводит к тому, что базовый курс физики (2 часа в неделю) больше напоминает «Физику заголовков»: каждый урок новая тема, что не позволяет в достаточной степени выстроить в сознании учеников физическую картину мира. Освоив такой курс физики, школьники выбирают ЕГЭ по физике (необходимо для поступления в технический ВУЗ), который рассчитан на выпускников изучивших предмет на профильном уровне. Таким образом, многие абитуриенты, поступающие в высшие учебные заведения, приходят с низким баллом и неспособны осваивать учебный материал.

На сегодня вряд ли можно возразить, что уровень выпускников школ последнего десятилетия является беспрецедентно низким, что вызывает проблемы при дальнейшем обучении в ВУЗах, в частности на направлении «Строительство» и не только.

В итоге такой фрагментарный, несистематизированный общей идеей подход к подготовке ведет к непониманию и неспособности будущих «специалистов» обеспечить общественные интересы и рациональные жизненные потребности.

По мнению ректора МГУ Виктора Садовничего, «...в свете современных реформ положение российской системы образования только ухудшается и закрепляет воспроизводство неконкурентоспособной рабочей силы» [3].

Непрерывная смена образовательных стандартов, информационный шум о модернизации, «болонизации» и прочих «инновациях» в образовании закладывает в сознании будущих выпускников поверхностный подход к законодательному и нормативному закреплению рациональных социальных критериев жизнедеятельности и ответственности за их соблюдение.

Сегодня Россия «скатилась» уже на 53-е место по уровню образования, а доля наукоемкого продукта производства сократилась до 0,3 процента [4].

Второй принцип призван оценить эффект или прогресс от реализации предыдущего принципа с использованием той или иной системы

индикаторов, в частности, оценить результаты предоставляемых образовательных услуг (именно услуг, а не самого образования – в такой трактовке в отсутствие духовного и творческого начал ради гармонизации и развития человека уже на протяжении десятка лет вдалбливается в общественное сознание).

Термин «услуга» разрушает многовековую эффективную практику передачи знаний от учителя к ученику. Во все времена «учитель» был окружен почетом и уважением, ибо передавал знания прошлых веков молодому поколению как стартовую площадку для его развития. Термин «услуга» переворачивает, обращает отношения «педагог – ученик», и обучающийся уже является покупателем «услуги», а продавец должен, как на рынке, предлагать свою «услугу». Однако ученик не в состоянии при таком подходе принять и воспринять весьма специфический товар – знания, да и не хочет это делать. Такая подмена приведет к потере кадрового потенциала, на восстановление которого уйдут десятилетия.

Налицо явный разрыв в системе передачи знаний, это чувствуют и понимают обе стороны. Родители учеников, изучающих предметы на базовом уровне, для успешной сдачи ЕГЭ, вынуждены нанимать репетиторов (что в последнее время носит массовый характер), которые доводят уровень знаний до общеобразовательного. При этом качество услуг репетиторов часто оставляет желать лучшего. Итог: уровень знаний выпускников с каждым годом снижается, а оценки растут как относительно, так и абсолютно, отчетность внешне весьма благоприятная. Однако сложившаяся ситуация весьма разрушительна.

Постоянное замещение лучших элементов социальной структуры худшими и низведение ее организации до упрощения социальных атомов чревато общенациональной катастрофой.

Если же говорить об уровне человеческого потенциала, то выпускники, получившие «образовательную услугу», не только непрофессиональны, но бездуховны и безнравственны.

При этом самое неприятное в процессе деградации современного российского образования даже не отсутствие профессиональных знаний, а то, что молодые преподаватели и, естественно, школьники уверены в том, что именно такой уровень знаний вполне достаточен для того, чтобы можно было работать в отраслях и обеспечивать их инновационный путь развития. Такой выпускник не способен в дальнейшем систематически пополнять свои знания либо самостоятельно, либо в системе непрерывного образования, т.к. у него нет базовых знаний, к которым надо добавлять новые.

Индикаторами социального статуса человека в обществе и показателями меры оценки его труда в образовательной среде должно стать повышение престижа образования и научного творчества, воссоздание авторитета учителей.

Высокопрофессиональная деятельность заложена в третьем принципе.

Особенностью управления современной наукой по разнообразию указаний Министерства образования и науки, а также по содержанию объявляемых конкурсов, является ее ориентация не столько на решение некоторых научных проблем, направленное на приучение к индивидуальной работе, сколько на привлечение к науке школьников, что в принципе полезно. На деле такой подход приобретает все более уродливые формы. Во-первых, сроки, закладываемые в объявляемые конкурсы, требуют, в лучшем случае, уже иметь готовое решение. Иначе – вовремя не отчитаешься конечным результатом, особенно по все более изощренным и не имеющим ничего общего с наукой индикаторам. С помощью этих индикаторов непрофессиональные проверяющие могут сравнить научные работы.

Во-вторых, еще хуже обстоит дело с участием в научно-исследовательской работе школьников путем организации множества конкурсов, олимпиад, так называемых «фестивалей» науки и т.д. В результате у школьника складывается убеждение, что научно-исследовательская работа – это нечто похожее на презентацию, где представляются результаты не научной, а околонулевой деятельности. То, что эти работы не являются научными, а в лучшем случае, выполняются учителями или преподавателями ВУЗов, уже давно не смущает организаторов.

В итоге страна за время «реформ» оказалась на «обочине» технологического развития.

Как бы для соблюдения многообразных условий общественной жизни, в системе образования появилась опасная тенденция либерализации учебного процесса, когда происходит подмена образовательной деятельности свободой выбора – посещение учебных занятий по индивидуальному графику, что создает иллюзию комфортных условий жизнедеятельности в школе.

Основу безопасной среды жизнедеятельности должны составлять новые знания, ведь только знание – сила. Знания делают человека независимым, а система образования и ее кадры делают интеллектуально независимой страну.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Перельмутер А.В. Заметки о прикладной науке // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2013. № 9. Выпуск 2. С. 13–34.
2. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Бакаева Н.В. О концепции и стандартах реформирования современного архитектурно-строительного образования // Стратегические приоритеты. 2016. Выпуск 1. С. 44–56.
3. Садовничий В.А., Акаев А.А., Коротаев А.В., Малинецкий Г.Г. Сценарий и перспектива развития России. М.: Изд-во URSS, 2012 г. 320 с.
4. Аналитическая записка НАТО об образовании в СССР в 1959 г «Научно-техническое образование и кадровые резервы в СССР» [электронный ресурс]. URL: <http://statehistory.ru/4316/Analiticheskaya-zapiska-NATO-ob-obrazovanii-v-SSSR-1959>

**Degtyar A.N., Degtyar S.A.**

## THE SECONDARY EDUCATION AS A PREDECESSOR OF HIGHER EDUCATION IN CONSTRUCTION UNIVERSITY UNDER MODERN CONDITIONS

*The problem of secondary school students' education is rather urgent nowadays due to the introduction of new education standards in higher educational institutions. The change in the environment of present-day students requires a comprehensive and profound analysis of the current situation. The tasks of education, declared during the contemporary history reforms, in fact lead to degradation processes not only in education itself, but also in society, the concept of «knowledge acquiring» is getting vapid, the methodologies which used to make our education one of the best in the world are getting lost, the continuity between secondary school and higher education is disrupted.*

**Key words:** education, educational standard, low educational level.

**Дегтярь Андрей Николаевич**, кандидат технических наук, заведующий кафедрой теоретической механики и сопротивления материалов.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

E-mail: andrey-dandr@yandex.ru

**Дегтярь Светлана Александровна**, учитель физики.

Муниципальное бюджетное образовательное учреждение средняя общеобразовательная школа №4.

Адрес: 308000, Белгород, ул. Победы, д. 48.

# ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.12737/23648

Мамаев В.В., инж.,  
Новиков С.А., инж.,  
Петров С.И., канд. физ.-мат. наук  
ЗАО «Научное и технологическое оборудование», Санкт-Петербург  
Зайцев С.В., инж.-иссл.,  
Прохоренков Д.С., инж.-иссл.  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ Ga В КАЧЕСТВЕ СУРФАКТАНТА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СТРУКТУРНОГО СОВЕРШЕНСТВА СЛОЕВ AlN И AlGaN, ВЫРАЩЕННЫХ АММИАЧНОЙ МЛЭ\*

petrov@semiteq.ru

Представлены результаты выращивания слоев AlN методом высокотемпературной аммиачной МЛЭ с использованием Ga в качестве сурфактанта. Основными параметрами влияющими на кинетику роста и дефектообразование являются эффективные потоки прекурсоров и сурфактанта, а также температура подложки, которая ограничивает поток сурфактанта из-за десорбции Ga с поверхности. В частности, добавление потока Ga, равного потоку Al при температуре подложки 1150 °C не изменяет скорость роста, меняя при этом его кинетику. Такой подход позволяет повысить поверхностную подвижность атомов и обеспечивает быстрый переход в режим 2D-роста. В гетероструктурах с двумерным электронным газом, выращенных с использованием сурфактанта была достигнута подвижность носителей до 2000 см<sup>2</sup>/В·с.

**Ключевые слова:** гетероструктуры, AlN/AlGaN, оптоэлектронные приборы, свч транзисторы, плотность дислокаций.

### Введение.

Нитриды металлов третьей группы обладают уникальными свойствами и интенсивно исследуются с целью создания оптоэлектронных и СВЧ мощных высокотемпературных приборов на их основе. Одной из основных проблем при изготовлении приборов на основе III-нитридов является отсутствие недорогих согласованных по параметру решетки подложек. Выращивание на рассогласованных подложках приводит к высокой плотности дислокаций в GaN (10<sup>9</sup>–10<sup>10</sup> см<sup>-2</sup> для МЛЭ, 10<sup>8</sup>–10<sup>9</sup> см<sup>-2</sup> для МОГФЭ), что усложняет задачу получения приборных гетероструктур [1]. Более высокие значения плотности дислокаций в GaN при выращивании МЛЭ связаны с меньшей температурой роста, и соответственно худшей поверхностной подвижностью атомов на ростовой поверхности. Типичные значения подвижности электронов при комнатной температуре в слоях GaN, выращенных на сапфире (с использованием буферных слоев GaN, AlGaN или AlN) находятся в диапазоне 250–350 см<sup>2</sup>/В·с для МЛЭ и 500–700 см<sup>2</sup>/В·с для МОГФЭ [2, 3]. При этом метод МЛЭ обладает рядом достоинств по сравнению с МОГФЭ, а именно: позволяет осуществлять in situ диагностику роста на

уровне одного монослоя и получать резкие гетерограницы, обеспечивает высокую чистоту камеры роста и выращиваемого материала, предоставляет возможность построения высоковакуумных кластерных систем, более безопасен [4].

МЛЭ нитридов элементов III группы развивается в двух основных направлениях, различающихся природой источника активного азота: МЛЭ с использованием аммиака в качестве источника азота, по основным ростовым условиям лежащая ближе к МОГФЭ; и активированная плазмой МЛЭ, принципиально более близкая к классической молекулярно-лучевой эпитаксии традиционных соединений A<sub>3</sub>B<sub>5</sub> [5].

В настоящее время все большее число исследователей выбирают МЛЭ с плазменным источником азота, поскольку она более проста в обслуживании, а также обладает рядом особенностей, таких как возможность низкотемпературного роста и отсутствие водорода на ростовой поверхности. Однако в отличие от аммиачной МВЕ данный метод не позволяет заметно увеличить температуру роста и таким образом повысить качество материала за счет увеличения поверхностной подвижности атомов.



В настоящей работе представлены результаты выращивания высокотемпературных буферных слоев AlN методом аммиачной МЛЭ с использованием Ga в качестве сурфактанта, а так же транзисторных гетероструктур методом плазменной и аммиачной МЛЭ. Представлены сравнительные характеристики полученных структур.

**Методика.** Гетероструктуры на основе GaN были выращены на подложках  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (0001) в Прикладной лаборатории ЗАО «НТО» на установке МЛЭ STE3N2 (SemiTEq, Россия). Уникальными особенностями данного оборудования являются значительно расширенный диапазон рабочих температур подложки и отношений V/III. В качестве инструментов для *in situ* контроля скорости роста и состояния ростовой поверхности использовалась лазерная интерферометрия и отраженная дифракция быстрых электронов. Свойства выращенных образцов исследовались

при помощи просвечивающей электронной микроскопии и Холловских измерений.

Ранее нами было показано, что использование высокотемпературных буферных слоев AlN/сверхрешетка/AlGaN, выращенных методом МЛЭ с использованием аммиака в качестве источника азота при экстремально высокой температуре подложки (до 1150 °C) позволяет кардинально улучшить структурное совершенство слоев GaN [6]. Плотность дислокаций в GaN была понижена до значений  $9 \cdot 10^8 - 1 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$  (рис. 1). Максимальная подвижность электронов в слаболегированном кремнием слое GaN толщиной 1.5 мкм находится на уровне 600–650  $\text{см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$  при концентрации электронов  $3 - 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ . Экспериментальные значения подвижности и плотности дислокаций согласуются с данными расчетов [7, 8].

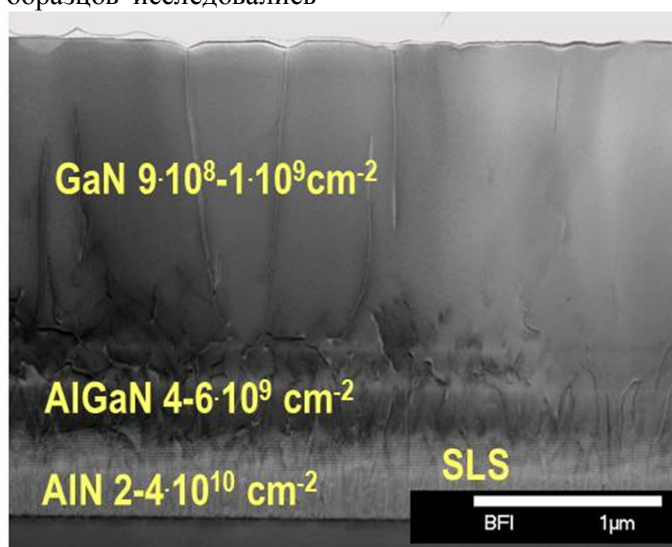


Рис. 1. STEM изображение многослойной гетероструктуры

Важно отметить, что получение таких буферных слоев трудно реализовать в плазменной МЛЭ, поскольку для двумерного режима роста AlN необходим Al-обогащенный режим, а десорбция алюминия становится существенной при температуре подложки более 900 °C [9].

Использование указанных слоев GaN в двойной гетероструктуре с барьерным слоем  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  различного состава ( $x = 0.25 - 0.4$ ) позволило контролируемо изменять слоиое сопротивление, концентрацию и подвижность в двумерном электронном газе в диапазоне 230–400 Ом/м,  $(1.0 - 1.8) \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$  и 1300–1700  $\text{см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ , соответственно. При этом барьерный слой состоял из тонкого слоя AlN толщиной 1 нм и модулировано легированного кремнием

слоя AlGaN толщиной 24 нм. В случае использования сверхрешетки AlN/GaN в качестве барьерного слоя его толщина составляла 10 нм.

Введение сурфактанта – вещества находящегося на ростовой поверхности и при этом не участвующего в росте пленки – меняет кинетику адатомов, увеличивая их поверхностную подвижность. При небольшом потоке аммиака и температуре выше 1000 °C рост нитрида галлия невозможен, поэтому галлий может выступать в качестве сурфактанта для роста слоев AlN [10]. Важными параметрами, определяющими механизмы роста и дефектообразования, являются эффективный поток компонентов растущей пленки и сурфактанта. При этом температура подложки

влияет на скорость десорбции галлия с поверхности, что накладывает ограничение на поток галлия. Слои AlN выращенные с использованием сурфактанта имеют плотность дефектов ниже, чем слои выращенные без потока галлия при тех же условиях. Использование аperiодичных сверхрешеток, градиентных слоев переменного состава и их комбинаций позволяет снизить плотность прорастающих дислокаций путем их загиба и объединения.

В данной работе было установлено, что использование Ga в качестве сурфактанта при высокотемпературной эпитаксии буферных слоев AlN позволяет увеличить подвижность электронов как в объемном слое GaN, так и в двумерном электронном газе GaN/AlGaN. Основные параметры, которые влияют на кинетику роста и дефектообразование это эффективные потоки прекурсоров и сурфактанта, а также температура подложки, которая ограничивает поток сурфактанта из-за десорбции Ga с поверхности. В частности, добавление потока Ga, равного потоку Al при температуре подложки 1150 °C не изменяет скорость роста, меняя при этом его кинетику. Такой подход позволяет повысить поверхностную подвижность адатомов и обеспечивает быстрый переход в режим 2D-роста. В гетероструктурах с двумерным электронным газом, выращенных с использованием сурфактанта была достигнута подвижность носителей до 2000 см<sup>2</sup>/В·с. В настоящее время проводятся исследования плотности дислокаций в гетероструктурах, полученных с использованием сурфактанта.

Полученные значения подвижности электронов в слоях GaN являются лучшими на сегодняшний день для метода МЛЭ и находятся в числе лучших для метода МОГФЭ.

### Результаты.

Использование высокотемпературных буферных слоев AlN позволяет значительно улучшить структурное совершенство нитридных гетероструктур и повысить подвижность электронов в слоях GaN. Для дальнейшего улучшения качества слоев предложено использовать Ga как сурфактант при высокотемпературной эпитаксии AlN методом аммиачной МЛЭ. Ключевыми параметрами определяющими кинетику роста и дефектообразование являются эффективные потоки прекурсоров и сурфактанта, а также температура подложки. Установлено что использование оптимальных условий роста с использованием сурфактанта позволяет заметно увеличить подвижность электронов слоях GaN.

В гетероструктурах с двумерным электронным газом GaN/AlGaN была получена подвижность электронов до 2000 см<sup>2</sup>/В·с.

*\*Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Белгородской области в рамках проекта №14-41-08048 «р\_офи\_м».*

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ambacher O. Growth and applications of group III-nitrides //Journal of Physics D: Applied Physics. 1998. Т. 31. №. 20. С. 2653.
2. Webb J.B., Tang H., Bardwell J.A., Moisa S., Peters C., MacElwee T. Defect reduction in GaN epilayers and HFET structures grown on (0001) sapphire by ammonia MBE //Journal of crystal growth. 2001. Т. 230. №. 3. С. 584–589.
3. Nakamura S., Mukai T., Senoh M. Insitu monitoring and Hall measurements of GaN grown with GaN buffer layers //Journal of applied physics. 1992. Т. 71. №. 11. С. 5543–5549.
4. Akasaki I., Amano H. Crystal growth of column-III nitride semiconductors and their electrical and optical properties //Journal of crystal growth. 1996. Т. 163. №. 1. С. 86–92.
5. Hoke W.E., Kennedy T.D., Torabi A., Lyman P.S., Howsare C.A., Schultz B.D.. Highly uniform AlGaIn/GaN HEMT films grown on 200-mm silicon substrates by plasma molecular beam epitaxy //Journal of Vacuum Science & Technology B. 2014. Т. 32. №. 3. С. 030605.
6. Petrov S.I., Alexeev A.N., Krasovitsky D.M., Chaly V.P. Growth of high quality IIIN heterostructures using specialized MBE system //physica status solidi (c). 2012. Т. 9. №. 3–4. С. 562–563.
7. Ng H.M., Doppalapudi D., Moustakas T.D., Weimann N.G., Eastman L.F. The role of dislocation scattering in n-type GaN films //Applied physics letters. 1998. Т. 73. №. 6. С. 821.
8. Weimann N.G., Eastman L.F., Doppalapudi D., Ng H.M., Moustakas T.D. Scattering of electrons at threading dislocations in GaN //Journal of Applied Physics. 1998. Т. 83. №. 7. С. 3656–3659.
9. Jmerik V.N., Mizerov A.M., Nechaev D.V., Aseev P.A., Sitnikova, A. A., Troshkov S.I., Ivanov S.V. Growth of thick AlN epilayers with droplet-free and atomically smooth surface by plasma-assisted molecular beam epitaxy using laser reflectometry monitoring //Journal of Crystal Growth. 2012. Т. 354. №. 1. С. 188–192.
10. Li J., Lin J.Y., Jiang H.X. Surfactant effects of gallium on quality of AlN epilayers grown via metal-organic chemical-vapour deposition on SiC substrates //Journal of Physics D: Applied Physics. 2012. Т. 45. №. 28. С. 285103.

---

**Mamaev V.V., Petrov S.I., Novikov S.A., Zaycev S.V., Prohorenkov D.S.****HIGH QUALITY GAN AND ALGAN LAYERS GROWN BY AMMONIA MBE WITH US GA AS SURFACTANT**

*In this work we present the results of AlN buffer layer ammonia MBE growth for HEMT using Ga as surfactant. Key parameters that affect the growth kinetics and defects formation are efficient fluxes of precursors and surfactant as well as the substrate temperature which limits surfactant flux because of desorption Ga from the surface. In particular, addition of Ga flux equal to Al flux at substrate temperature 1150 °C keeps the growth rate constant. This approach allows to increase surface mobility of adatoms, provides quick transition to 2D-growth mode, that results in mobility increasing in GaN bulk layer as well as in heterostructures with 2DEG. In GaN/AlGaN heterostructures mobility up to 2000 cm<sup>2</sup>/Vs was achieved.*

**Key words:** heterostructures, AlN/AlGaN, uv optoelectronic devices, microwave transistors, dislocation density

---

**Мамаев Виктор Викторович**, инженер

ЗАО «НТО»

Адрес: Россия, 194156, Санкт-Петербург, пр. Энгельса, д. 27

**Новиков Сергей Андреевич**, инженер

ЗАО «НТО»

Адрес: Россия, 194156, Санкт-Петербург, пр. Энгельса, д. 27

**Петров Станислав Игоревич**, кандидат физико-математических наук, начальник прикладной лаборатории.

ЗАО «НТО»

Адрес: Россия, 194156, Санкт-Петербург, пр. Энгельса, д. 27

E-mail: petrov@semiteq.ru

**Зайцев Сергей Викторович**, инженер-исследователь

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

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

**Прохоренков Дмитрий Станиславович**, инженер-исследователь

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

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

DOI: 10.12737/23882

Лопанов А.Н., д-р техн. наук, проф.,  
Фанина Е.А., канд. техн. наук, доц.,  
Томаровищенко О.Н., ст. преп.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ВЛИЯНИЕ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА С УГЛЕРОДНОЙ ФАЗОЙ

ox.guzeeva@yandex.ru

*В статье представлены результаты исследования физико-механических характеристик углеродсодержащих резистивных материалов на цементном вяжущем. Регулирование предела прочности на сжатие композитов производилось с помощью механохимических методов. Синтезирована модифицирующая добавка на основе эфиров поликарбоксилатов, солей железа и шунгита, позволяющая снизить водоцементное отношение и водопроницаемость электропроводного мелкозернистого бетона, а также увеличить прочностные характеристики составов. Исследована морфология новообразований в цементной матрице.*

**Ключевые слова:** углерод, мелкозернистый бетон, резистивные композиты, электрообогреваемый пол, прочность при сжатии.

**Введение.** Основным подходом к повышению эффективности отопительных систем является внедрение энергосберегающих технологий, обеспечивающих рациональное снижение коэффициента потребления тепловой и электрической энергии. В настоящее время перспективным является поверхностный низкотемпературный обогрев, учитывающий физиологическое распределение температуры тела человека. В напольных и стеновых системах с лучистым обменом тепла находят широкое применение резистивные композиционные материалы на основе углерода, позволяющие повысить эксплуатационные характеристики электрообогреваемых конструкций. Известно, что резистивные углеродсодержащие композиты на цементном вяжущем обладают невысоким пределом прочности на сжатие за счет низкой адгезии между сырьевыми компонентами, поэтому спектр применения конструкций и систем на их основе постоянно сужается. Целью работы является синтезирование модифицирующей добавки для мелкозернистого электропроводного бетона, введение которой способствует формированию новообразований, обеспечивающих повышение физико-механических характеристик изделий.

**Методология.** Теоретической и методологической основой работы является комплексный анализ отечественных и зарубежных источников, патентно-технической литературы в области электротехнологий и строительного материаловедения. Методология также базируется на фундаментальных исследованиях по влиянию модифицирующих добавок на процессы структурообразования цементных композитов функционального назначения. Определение физико-

механических характеристик материалов производилось с использованием малогабаритного пресса ПГМ-500 МГ4, обработку результатов проводили в соответствии со стандартными методиками. Анализ морфологии сырьевых и синтезированных материалов выполнен с помощью сканирующего электронного микроскопа «TESCAN MIRA 3 LMU».

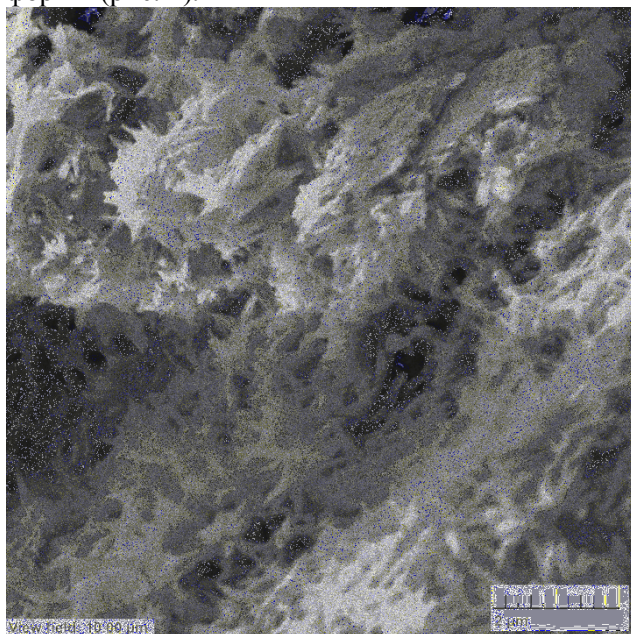
**Основная часть.** Механохимические методы перевода минерального сырья в неравновесное метастабильное состояние с образованием избыточной поверхностной энергии измельченного вещества в настоящее время получили широкое распространение. При механоактивационном диспергировании энергия, передаваемая частицам измельчаемого вещества, часто является избыточной и только часть этой энергии расходуется на повышение поверхностной энергии, а значительная ее часть идет на повышение внутренней энергии вещества. В процессе механоактивации происходит изменение энергии электронных возбуждений, что приводит к возникновению возбужденных состояний в атомной структуре и перемещениям атомов на поверхность кристаллической решетки диспергируемого материала. При этом изменение энергии электронных возбуждений зависит от продолжительности механического воздействия и ее импульса. При этом наблюдается переход атомов, на 1–2, реже на 3–4 межатомных промежутка. Из-за перемещения атомов относительно друг друга происходит искажение валентных углов в кристаллической решетке, что сопровождается повышением реакционной способности веществ. Таким образом, механическая активация может выступать эффективным мето-



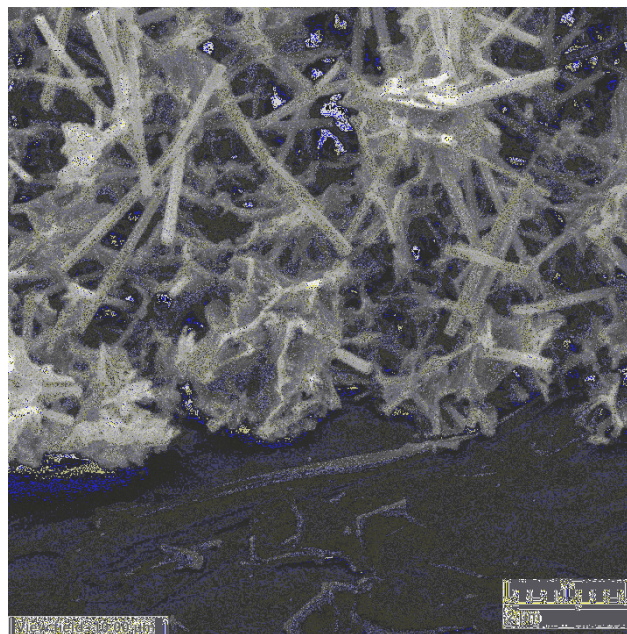
дом повышения поверхностной энергии и инициатором многих твердофазных реакций [1–5].

Таким образом, выбор механоактивационной диспергации в качестве технологического приема модифицирования поверхности кварцевого заполнителя и метода регулирования эксплуатационных характеристик резистивных материалов на цементном вяжущем обусловлен следующими факторами: экологическая безопасность и энергоэффективность технологии, возможность расширения сырьевой базы и повышение структурообразующей роли диспергированного сырья в твердом агрегатном состоянии [6–9]. В работе механическую активацию кварцевого песка (с исходной удельной поверхностью  $S_{уд} = 151 \text{ м}^2/\text{кг}$ ) производили в шаровой планетарной мельнице РМ 100 до  $S_{уд} = 389 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

Исследования микроструктуры углеродсодержащих композитов с использованием цементно-песчаных смесей, выполненные методом микроскопии показывают, что применение механоактивированного кварцевого песка способствует образованию новых центров кристаллизации в цементной матрице и изменению их формы (рис. 1).



а)



б)

Рис. 1. Микроструктура резистивных композиционных материалов с исходным (а) и механоактивированным (б) песком

Ранее проведенными исследованиями [10–13] установлена возможность повышения прочностных свойств мелкозернистых бетонов путем механоактивации заполнителя. Механоактивация кварцевого заполнителя положительно воздействует на формирование структуры при поздней кристаллизационной стадии цемента. Частицы молотого песка заполняют поры в структуре твердеющего цементного камня, спо-

Исследование кинетики набора прочности разработанных составов при сжатии проводили на образцах-кубах размером  $20 \times 20 \times 20 \text{ мм}$  в течение 28 суток нормального твердения. В состав цементно-песчаной смеси вводили углеродсодержащие компоненты (графит, антрацит, шунгит) и определяли влияние их массовой концентрации на физико-механические характеристики. В работе выявлено, что в области электрической проводимости при массовой доле углеродного компонента от 0,10 до 0,40 мас. предел прочности на сжатие снижается для графита, антрацита, шунгита соответственно с 8,1 до 0,6 МПа; с 8,7 до 0,9 МПа; с 9 до 1,38 МПа. Введение поверхностно-активных веществ на основе поликарбоксилатов и нафталинформальдегидов оказывает положительный эффект на регулирование электрических и прочностных характеристик резистивных материалов, позволяет снизить водоцементное отношение формовочных смесей и повысить плотность цементного камня. Полученные номограммы разработанных составов токопроводящих материалов представлены на рис. 2.

собствуют повышению его прочности, непроницаемости, долговечности цементного композита. В работе установлено, что применение механоактивированного кварцевого заполнителя позволяет увеличить прочность мелкозернистого электропроводного бетона с применением углеродсодержащих материалов (графита, антрацита, шунгита) на 40–50 % (рис. 3).

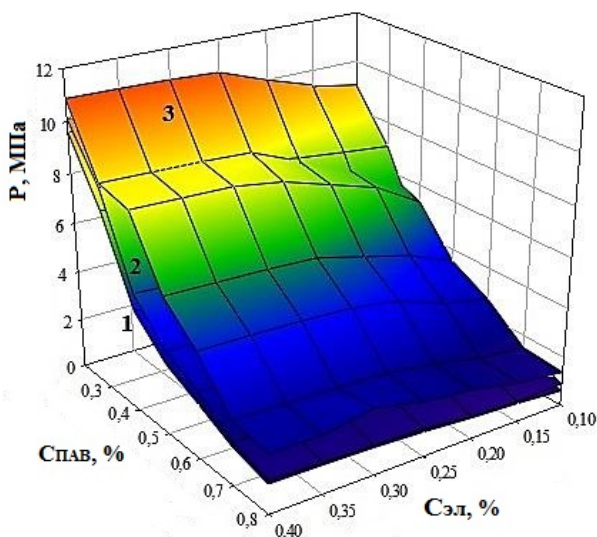


Рис. 2. Зависимость предела прочности на сжатие образцов резистивных материалов от содержания поликарбоксилатного пластификатора и токопроводящего компонента:  
1 – с графитом; 2 – с антрацитом; 3 – с шунгитом

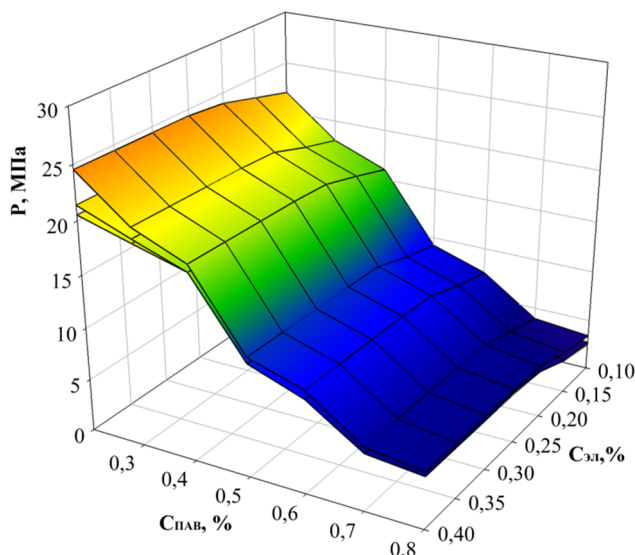


Рис. 3. Зависимость предела прочности на сжатие образцов резистивных материалов с механоактивированным кварцевым песком от содержания поликарбоксилатного пластификатора и токопроводящего компонента:  
1 – с графитом; 2 – с антрацитом; 3 – шунгитом

Также для увеличения предела прочности на сжатие в состав токопроводящей смеси ввели 3 % шунгита и 1 % хлорида железа (III). Применение хлорного железа в составе резистивного композита позволяет уменьшить водопроницаемость материала, а также способствует повышению предела прочности на сжатие и ускорению твердения бетона.

#### Выводы.

1. Повышение эффективности резистивных материалов на цементном вяжущем позволяет увеличить срок службы электрических нагревательных систем на их основе. С точки зрения

доступности, экономичности и эффективности наиболее перспективным является использование углеродсодержащих дисперсных материалов в качестве токопроводящей фазы.

2. Разработанный метод регулирования прочностных характеристик резистивных композитов обеспечивает возможность варьирования пределов прочности на сжатие материалов при всех значениях концентраций углеродного компонента.

3. Введение механоактивированного кварцевого заполнителя и модифицирующей добавки на основе эфиров поликарбоксилатов, хлорида железа и шунгита (с содержанием 0,4 мас. углерода) позволяет уменьшить водопроницаемость и увеличить прочность мелкозернистого электропроводного бетона в 2-2,5 раза.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лукутцова Н.П., Пашаян А.А., Хомякова Е.Н. Исследование влияния добавок на основе травильных растворов, содержащих соли железа, на структуру и прочность мелкозернистого бетона // Вестник МГСУ. 2016. № 1. С. 94–104.
2. Добшиц Л.М., Кононова О.В., Анисимов С.Н. Кинетика набора прочности цементного камня с модифицирующими добавками // Цемент и его применение. 2011. № 4. С. 104–107.
3. Дергунов С.А., Рубцова В.Н. Роль пластифицирующих добавок в формировании свойств цементно-песчаных систем // СтройПРОФИль. 2009. № 7. С. 13–17.
4. Болдырев В.В., Аввакумов Е.Г., Болдырева Е.В. Фундаментальные основы механической активации, механосинтеза и механохимических технологий. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 343 с.
5. Никифоров Л.А. Структура, механические и триботехнические свойства нанокомпозитов на основе модифицированного природными силикатами сверхвысокомолекулярного полиэтилена дис. ... к-та техн. наук: 05.17.06. Комсомольск-на-Амуре, 2016. С. 33–35
6. Евтушенко Е.И. Активационные процессы в технологиях строительных материалов. Некоторые элементы структурной динамики. Монография. Белгород: Изд-во БелГТУ, 2003. 195 с.
7. Лопанова Е.А. Функциональные токопроводящие материалы на основе графита и силикатов: дис.... канд. техн. наук. Белгород. 2005. 142 с.
8. Попельнюхов С.Н., Железняк А.Р., Шубин К.С., Передреев М.А. Преимущества и особенности механоактивации сырьевых материалов при производстве сухих строительных смесей // «ALITinform» международное аналитиче-

ское обозрение. 2011. № 4. С 72-78.

9. Трубицын М.А., Габрук Н.Г., Ле В.Т., Доан В.Д. Синтез и исследование физико-химических и биологических свойств кремний-содержащего гидроксиапатита // III Международная научно-практическая конференция «Новые технологии создания и применения биокерамики в восстановительной медицине»: сб. материалов / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск: ВТСНТ, 2013. С. 166-170.

10. Жерновский И.В., Строкова В.В., Бондаренко А.И. Структурные преобразования кварцевого сырья при механоактивации // Строительные материалы. 2012. № 10. С. 56–58

11. Горелов С.В. Электрическая проводимость резистивных композитов // Энергосбережение и водоподготовка. 2005. № 6. С. 64-67.

12. Машкин Н.А., Гутарева Н.А., Зибницкая Н.Е., Урусова Т.А. Влияние активирования цементно-песчаных суспензий на физико-механические свойства мелкозернистых бетонов // Известия вузов. Строительство. 2012. №11–12. С. 26–33.

13. Лотов В.А., Сударев Е.А., Кутугин В.А. Физико-химические процессы при активации цементно-песчаной смеси в центробежном смесителе // Известия вузов. Физика. 2011. Т. 54. №11/3. С. 346–349.

---

**Loponov A.N., Fanina E.A., Tomarovschenko O.N.**

**THE IMPACT OF PRESCRIPTION-TECHNOLOGICAL FACTORS  
ON PHYSICO-MECHANICAL CHARACTERISTICS OF FINE-GRAINED  
CONCRETE WITH THE CARBON PHASE**

*The article presents the research results of physical and mechanical characteristics of carbon-containing resistive materials based on cement binder. The regulation limit of the compressive strength of the composites was carried out using mechanochemical methods. Synthesized modifying additive on the basis of ether polycarboxylates, salts of iron and of shungite to reduce water-cement ratio and permeability of conductive fine-grained concrete, as well as to improve the strength characteristics of the compositions. Studied the morphology of tumors in the cement matrix.*

**Key words:** carbon, fine-grained concrete, resistive composites, electrically heated floors, compressive strength.

---

**Лопанов Александр Николаевич**, доктор технических наук, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

E-mail: aloponov@yandex.ru

**Фанина Евгения Александровна**, кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

E-mail: evgenia-@mail.ru

**Томаровщенко Оксана Николаевна**, аспирант кафедры безопасности жизнедеятельности.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

E-mail: ox.guzeeva@yandex.ru



## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ БАЗАЛЬТОВЫМИ ВОЛОКНАМИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ С УЧЁТОМ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА

Atomic08@yandex.ru

Асфальтобетоны подвержены трещинообразованию, шелушению, выкрашиванию, образованию колеи, волн и впадин. Введение в смесь небольших по размеру (дискретных) элементов позволяет добиться их равномерного распределения (дисперсии) в смеси, и получить “композитный” материал с более высокими физико-механическими показателями в готовом конструктивном элементе. Исследована технология производства композиционных дисперсно-армированных базальтовыми волокнами асфальтобетонных смесей с учётом влияния температурного режима.

**Ключевые слова:** технология производства композитов, композиционные дисперсно-армированные асфальтобетонные смеси, фибра, температурный режим, волокна, производство композиционного асфальтобетона.

**Введение.** Известно, что одним из способов повышения стойкости асфальтобетона к внешним нагрузкам является применение в его составе армирующих элементов, в качестве которых применяются волокна.

В настоящее время в России действуют методические рекомендации по технологии армирования асфальтобетонных покрытий добавками базальтовых волокон (фиброй) [1, 2]. Однако широкого применения базальтовая фибра не получила. По результатам проведенных исследований, а также зарубежным литературным источникам [3, 4] основная проблема применения в том числе и базальтовой фибры это отсутствие отработанной технологии ведения базальтовой фибры в состав смеси. В России широкого опыта изготовления на асфальтобетонных заводах смесей с фиброй на сегодняшний момент нет. За рубежом опыт применения фибры для армирования асфальтобетонных смесей нарабатывается [5, 6].

**Методология.** Для исследования влияния

температурного режима приготовления композиционных дисперсно-армированных асфальтобетонных смесей на качественные показатели композиционного асфальтобетона были приготовлены смеси с добавкой базальтовых волокон. Композиционные асфальтобетонные смеси приготавливались из следующих материалов: щебень гранитный фр. 5–15 мм; песок из отсеков дробления горных пород; песок речной мелкий; порошок минеральный МП-1; битум нефтяной дорожный БНД 60/90; фибра базальтовая с длиной нарезки 15 мм, 20 мм, 25 мм.

Композиционные дисперсно-армированные асфальтобетонные смеси готовились по стандартной методике с учётом необходимости введения базальтовой фибры в смесь разогретых до рабочих стандартных температур компонентов асфальтобетонной смеси. Компоненты смешивались в лабораторной мешалке, объёмом 6 л сконструированной по типу смесителя асфальтобетонного завода и моделирующей его работу (рис. 1).

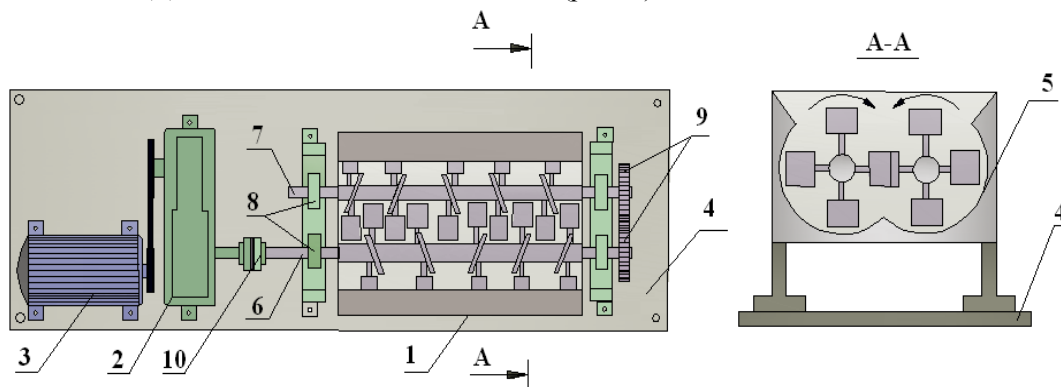


Рис. 1. Схема лабораторной мешалки

1 – корпус; 2 – редуктор; 3 – электродвигатель; 4 – станина; 5 – мешалка; 6 – ведущий вал; 7 – ведомый вал; 8 – подшипник; 9 – шестерня; 10 – муфта.

Встречное вращение валов мешалки обеспечивает передачу материала из зоны действия лопастей одного вала в зону лопастей другого вала. Благодаря этому достигается хорошее качество перемешивания смеси. Привод валов осуществляется от электродвигателя (3) через редуктор (2). Выгрузка готовой смеси осуществляется опрокидыванием корпуса (5) вместе с валом (7) вокруг ведущего вала (6). После изготовления из смесей изготавливались в необходимом количестве контрольные образцы для испытаний.

Добавка базальтовой фибры вносилась в подобранный состав асфальтобетонной смеси марки I типа Б по ГОСТ 9128-2013 [7] способом вдувания с одновременным перемешиванием в лабораторной мешалке с разогретой минеральной частью "по сухому" с последующим внесением и смешиванием с разогретым битумом до однородного состояния.

Масса готовой смеси (замеса) композиционной дисперсно-армированной асфальтобетонной смеси, обуславливалась необходимым количеством контрольных образцов для испыта-

ний, и в среднем оставляла: 24 шт.  $\times$  720 г = 17280 г для проведения полного комплекса испытаний по ГОСТ 12801-98 [8] (масса контрольного образца взята с запасом); 2 шт.  $\times$  10000 г = 20000 г для определения скорости образования колеи в слое при температуре 50 °С от движущегося колеса с давлением 0,6 МПа.

Из готовой композиционной дисперсно-армированной асфальтобетонной смеси в соответствии с методикой ГОСТ 12801 – 98 [8] изготавливались контрольные образцы. Уплотнение образцов, производилось прессованием на гидравлическом прессе в форме с внутренним диаметром 71,4 мм в течение 3 минут под давлением (40,0 $\pm$ 0,5) МПа.

**Основная часть.** Образец для испытаний на колеобразование размером 300 $\times$ 300 $\times$ 50 мм изготавливался уплотнением горячей смеси в форме на установке для моделирования условий нагружения дорожных покрытий, которая была разработана и запатентована (А.с. № 1216012 [9]) в Саратовском политехническом институте. Схема установки показана на рис. 2.

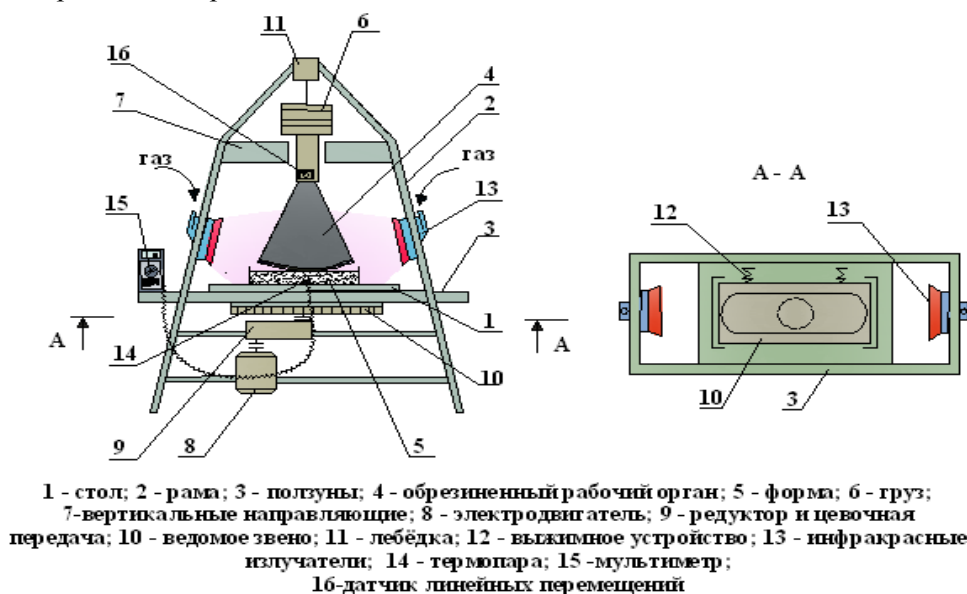


Рис. 2. Схема установки для моделирования условий нагружения дорожного покрытия

Установка состоит из смонтированного на раме (2) стола (1), перемещающегося в горизонтальной плоскости по ползунам (3), рабочего органа (4), выполненного в виде сектора с обремененной рабочей поверхностью, шарнирно закрепленного на грузе (6), помещенном в вертикальных направляющих (7), и формы (5) закреплённой на столе с помощью болтов. Привод стола выполнен в виде электродвигателя (8), редуктора (9) и цевочной передачи с внутренним зацеплением, ведомое звено (10) которой выполнено О-образным в плане и жестко закреплено на столе. На раме смонтированы газовые инфракрасные излучатели ГИ-1,0 (13) с помощью ко-

торых при испытаниях можно задавать стабильную температуру асфальтовых образцов соответствующую летним температурам дорожного покрытия. Инфракрасные излучатели обеспечивают облучение образца по всей длине хода формы.

Для контроля температуры асфальтовых образцов во время испытаний в стенке формы установлена (с возможностью касания асфальтового образца) термомпара (14) в виде биметаллической пластины, имеющая вывод на мультиметр Mastech M830 (15) с функцией определения температуры. Регулирование температуры асфальтовых образцов производится с помощью

газового регулятора за счёт изменения количества газа поступающего к излучателям (13). На оси обрезиненного рабочего органа (сектора) устанавливался датчик линейных перемещений (16), для определения глубины пластической деформации (колеи).

Требуемая плотность в образце достигалась подбором необходимого количества проходов обрезиненного рабочего органа (4) и давления, передающегося через него. Для установления режима уплотнения, необходимого для получения коэффициента уплотнения равного 1,0 (для смесей типа Б по СНИП 3.06.03 – 85 [10] не менее 0,99), на сформованном образце определялся показатель средней плотности, который затем сравнивался с плотностью для образца сформованного на гидравлическом прессе по ГОСТ 12801-98 [8].

Перед испытанием все контрольные образцы композиционного дисперсно-армированного асфальтобетона выдерживались при комнатной температуре не менее 12 часов. В процессе изготовления смесей были выявлены следующие особенности: с увеличением плотности композиционной дисперсно-армированной асфальтобетонной смеси, время на перемешивание уменьшалось (необходимая навеска фибры на замес вносилась быстрее); с увеличением длины нарезки базальтовой фибры смесь перемешивалась хуже, особенно это проявилось при длине нарезки 25 и 30 мм, при которых в смеси образовывались комья (сгустки), что может вызывать проблему при перемешивании и укладке в

производственных условиях. Оптимальной можно назвать базальтовую фибру с длиной нарезки 20 мм. На основании результатов испытаний образцов композиционного дисперсно-армированного асфальтобетона устанавливались составы композиционных смесей позволяющие обеспечить максимальные показатели качества.

Состав асфальтобетонной смеси марки I тип Б: гранитный щебень фр. 5-15 – 41,7 %; песок из отсеков дробления – 43,6 %; песок природный мелкий – 4,75 %; порошок минеральный МП-1 – 4,74 %; битум марки БНД 60/90 – 5,21 %. Основные показатели свойств данного состава приведены в таблице 1. Состав композиционной дисперсно-армированной асфальтобетонной смеси марки I типа Б с добавкой базальтовой фибры: гранитный щебень фр. 5-15 – 41,7 %; песок из отсеков дробления – 43,6 %; песок природный мелкий – 4,75 %; порошок минеральный МП-1 – 4,74 %; битум марки БНД 60/90 – 5,11 %; базальтовая фибра с длиной нарезки 15 мм – 0,4 %. Основные физико-механические показатели свойств данного состава приведены в таблице 2.

Помимо основных показателей, регламентированных ГОСТ 9128-2013 [7], для всех составов определен показатель - средняя скорость увеличения глубины колеи в слое при температуре 50 °С от движущегося обрезиненного сектора с давлением 0,6 МПа (полная и после стабилизации). Результаты испытаний приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

### Основные показатели физико-механических свойств асфальтобетона марки I, типа Б

Наименование показателя	Обозначение	Ед. изм.	Требования ГОСТ 9128-2013 для марки I типа Б от до	Фактические показатели физико-механических свойств
Предел прочности при сжатии при температуре 50 °С	$R_{50}^{сж.}$	МПа	1,3 -	1,70
Сдвигоустойчивость по коэффициенту внутреннего трения	$tg\varphi$		0,83 -	0,85
Сдвигоустойчивость по сцеплению при сдвиге при температуре 50 °С	$C_d$		0,38 -	0,6
Средняя скорость образования колеи, при нагрузке 0,6 МПа и температуре 50 °С,		мм/10000 проходов	- -	7,08

Технология приготовления горячих плотных асфальтобетонных смесей предполагает просушивание минеральных материалов при температурах до 180÷200 °С и использование вяжущего с температурой нагрева до 150÷160 °С, как это и было сделано при приготовлении смесей для исследований. Композиционные дисперсно-армированные асфальтобетонные смеси готовились при внесении базальтовой фибры способом вдувания. Базальтовая фибра

вдувалась на предварительно смешанные в необходимых пропорциях минеральные компоненты смеси, разогретые до температуры исследования с последующим внесением и перемешиванием вяжущего разогретого до температуры 130 °С. После чего смесь перемешивалась до однородного состояния в смесителе, изготовленном по типу смесителя асфальтобетонного завода.

Таблица 2

**Основные показатели физико-механических свойств композиционного дисперсно-армированного асфальтобетона марки I, типа Б с добавкой базальтовой фибры**

Наименование показателя	Обозначение	Ед. изм.	Требования ГОСТ 9128-2013 для марки I типа Б от до			Фактические показатели физико-механических свойств
Предел прочности при сжатии при температуре 50 °С,	R <sub>50 сж.</sub>	МПа	1,3		-	2,95
Сдвигоустойчивость по коэффициенту внутреннего трения,	tgφ		0,83		-	0,91
Сдвигоустойчивость по сцеплению при сдвиге при температуре 50 °С,	C <sub>л</sub>		0,38		-	0,69
Средняя скорость образования колеи, при нагрузке 0,6 МПа и температуре 50 °С,		мм/10000 проходов	-		-	3,00

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что высокие температурные режимы приготовления горячей плотной композиционной дисперсно-армированной базальтовой фиброй асфальтобетонной смеси не ухудшают качественные показатели асфальтобетона.

Ведение в состав асфальтобетонных смесей базальтовой фибры способствует увеличению показателей качества асфальтобетона.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А. с. 1216012 СССР, МКИ<sup>3</sup> В 28 В 13/02. Устройство для уплотнения строительных смесей в форме / А. Ф. Иванов, А. В. Потапов, Н. А. Горнаев, И. В. Михайлов (СССР). – № 3834339 ; заявл. 30.12.84 ; опубл. 07.03.86, Бюл. № 9. – 3 с.
2. ГОСТ 9128-2013 Смеси асфальтобетонные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия.
3. ГОСТ 12801-98 Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний.
4. Методические рекомендации по техно-

логии армирования асфальтобетонных покрытий добавками базальтовых волокон (фиброй) при строительстве и ремонте автомобильных дорог (Утверждено распоряжением Росавтодора № ОС-12-р от 11.01.2002).

5. СНиП 3.06.03-85 Автомобильные дороги
6. Технологическое обеспечение качества строительства асфальтобетонных покрытий. Методические рекомендации – Омск: СибАДИ. 2004.
7. Jeff Stempihar P.E. Fiber Reinforced Asphalt Concrete (FRAC) //Graduate Research Associate, 2010.
8. M. Aren Cleven Investigation of the properties of carbon fiber modified asphalt mixtures // Michigan technological university, 2000.
9. Rebecca Lynn Fitzgerald Novel Applications of Carbon Fiber for Hot Mix. Asphalt Reinforcement and Carbon-Carbon // Michigan technological university, 2000
10. Saeed Ghaffarpour Jahromi, Ali Khodaii Carbon fiber reinforced asphalt concrete // Department of Civil Engineering, Tehran, Iran.

**Andronov S.Y.**

### STUDY OF COMPOSITE TECHNOLOGIES GLASS FIBER BASALT ASPHALT MIXTURES TAKING INTO ACCOUNT THE INFLUENCE OF TEMPERATURE REGIME

*Asphalt concrete exposed to cracking, flaking, chipping, formation of ruts, waves and troughs. Introduction into a mixture of small size (discrete) components allows achieving their uniform distribution (dispersion) in the mixture and obtain a "composite" material having a high physical and mechanical properties in the finished structural member. Studied technology of composite dispersion-reinforced with basalt fibers asphalt mixtures, taking into account the influence of temperature.*

**Key words:** composites manufacturing technology, composite dispersion-reinforced asphalt mixture, fiber, temperature, fiber, composite asphalt concrete production.

**Андронов Сергей Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент.

Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.

Адрес: Россия, 410054, Саратов, ул. Политехническая 77.

E-mail: atomic08@yandex.ru

Володченко А.Н., канд. техн. наук, доц.,  
Строкова В.В., д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННО-ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ НЕТРАДИЦИОННОГО СЫРЬЯ

Atomic08@yandex.ru

Установлено, что глинистые породы незавершенной стадии минералообразования пригодны в качестве сырья для получения конструкционно-теплоизоляционных материалов автоклавного твердения. Высокая активность породообразующих минералов этого сырья ускоряют синтез новообразований и формирование рациональной микроструктуры цементирующего соединения, что обеспечивает высокие физико-механические свойства ячеистых бетонов. При этом за счет снижения давления и времени автоклавной обработки, а также упрощения технологии возможно сокращение затрат энергии на производство до 35 %.

**Ключевые слова:** глинистые породы, газобетонная смесь, автоклавная обработка, структурообразование, конструкционно-теплоизоляционные материалы.

Повышение эффективности строительства связано со снижением материалоемкости строительных конструкций и уменьшением их теплопроводности без существенной потери несущей способности. Для этого необходима разработка эффективных легких бетонов, которые сочетают высокую прочность с низкой теплопроводностью.

Наиболее оптимальным сочетанием несущей способности с низкой теплопроводностью обладают газобетоны конструкционно-теплоизоляционного назначения. Сырьем для их производства является кварцевый песок, известь и цемент. Исключение из состава вяжущего цемента и использование только извести приводит к снижению физико-механических характеристик ячеистого бетона, повысить которые можно за счет использования сырья, позволяющего изменить состав и морфологию новообразований. Для этого можно использовать техногенное алюмосиликатное сырье и, частности, глинистые породы незавершенной стадии минералообразования [1–14].

Целью работы является изучение свойств ячеистых бетонов конструкционно-теплоизоляционного назначения на основе глинистых пород незавершенной стадии минералообразования.

В качестве сырья для получения конструкционно-теплоизоляционных материалов использовали глинистую породу месторождения Курской магнитной аномалии (КМА) и две породы Архангельской алмазонасной провинции (ААП). По числу пластичности ( $I_p$ ) породы относятся к супеси: супесь КМА – 6,5, супесь ААП-1 – 3,5, супесь ААП-2 – 2,2.

По гранулометрическому составу супесь КМА алевроито-пелитовая порода. Количество пелитовой фракции составляет 22,63 мас. %, алевроитовой – 61,64 мас. %. В супеси ААП-1 преобладают псаммитовые частицы (77 мас. %), в супеси ААП-2 – алевроитовые (53,7 мас. %). Породы содержат большое количество кварца (32–36 мас. %).

Рентгенофазовым и термографическим анализ установлено, что глинистая фракция супеси КМА состоит преимущественно из гидрослюд и смешаннослойных минералов, а также присутствует монтмориллонит и каолинит. Глинистые минералы супеси ААП-1 представлены гидрослюдой, монтмориллонитом и смешаннослойными минералами, супеси ААП-2 – гидрослюдой, смешаннослойными минералами и каолинитом. Породы также содержат рентгеноаморфную фазу.

Сырьевые смеси готовили по разработанной методике [15–17] на основе глинистых пород и вяжущего, полученного совместным помолом породы и извести ( $S_{уд} = 500 \text{ м}^2/\text{кг}$ ), при этом высокая дисперсность пород ( $S_{уд} = 120\text{--}140 \text{ м}^2/\text{г}$ ) позволила исключить их предварительный помол. Предварительно было установлено, что оптимальное соотношение породы и извести  $C$  для супеси ААП-1 составило 2,0, для супеси КМА и супеси ААП-2 – 1,5.

Исследование свойств ячеистых бетонов в зависимости от содержания извести, давления автоклавирования и длительности изотермической выдержки проводили с использованием метода математического планирования эксперимента. Интервалы планирования содержания извести были выбраны с использованием разработанной методики расчета известково-



глинистого вяжущего [1, 18] и предварительных испытаний. Режимы автоклавной обработки выбирались с учетом изучения возможности сни-

жения давления и времени автоклавной обработки (табл. 1).

Таблица 1

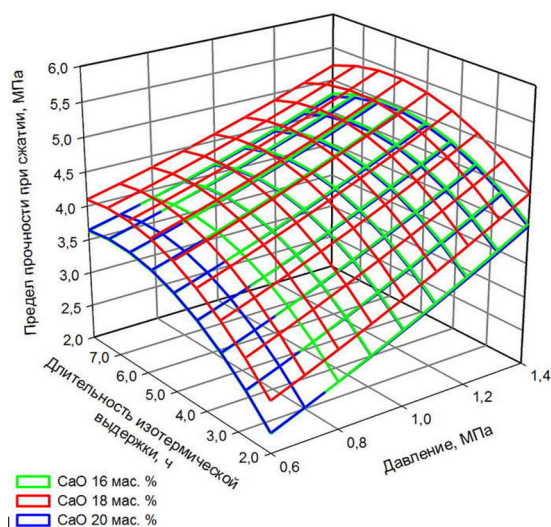
## Условия планирования эксперимента

Факторы		Уровни варьирования		
Натуральный вид	Код. вид	-1	0	+1
Содержание $\text{CaO}_{\text{акт}}$ , мас. % (для супеси КМА)	$x_1$	16	18	20
Содержание $\text{CaO}_{\text{акт}}$ , мас. % (для супеси ААП-1 и супеси ААП-2)	$x_1$	14	16	18
Давление автоклавирования, МПа	$x_2$	0,6	1,0	1,4
Длительность изотермической выдержки, ч	$x_3$	2	5	8

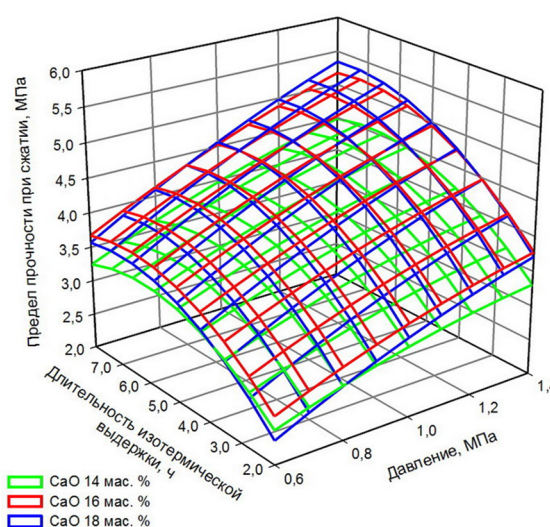
На основе результатов обработки экспериментальных данных построены зависимости предела прочности при сжатии ячеистых бетонов от содержания  $\text{CaO}_{\text{акт}}$ , длительности изотермиче-

ской выдержки и давления автоклавирования (рис. 1). Средняя плотность изделий составляла  $700 \text{ кг/м}^3$ .

а



б



в

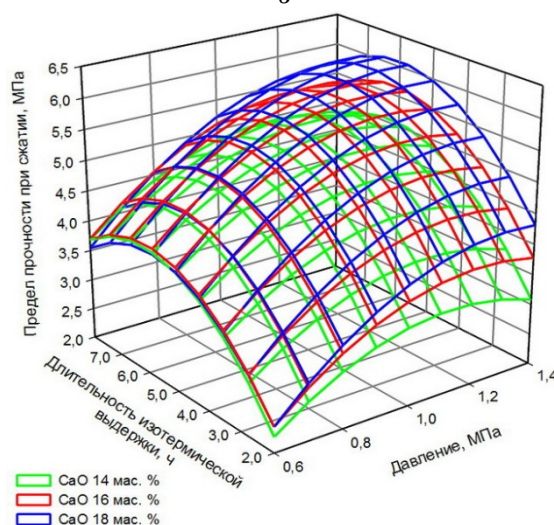


Рис. 1. Предел прочности при сжатии ячеистых бетонов на основе супеси КМА (а), супеси ААП-1 (б) и супеси ААП-2 (в) в зависимости от содержания  $\text{CaO}_{\text{акт}}$ , давления автоклавирования и длительности изотермической выдержки

Максимальную прочность ячеистый бетон набирает при активности смеси 18 мас. % для супеси КМА и 16 мас. % для супеси ААП. Очевидно, этого содержания  $\text{CaO}_{\text{акт}}$  достаточно для синтеза рациональной структуры цементирующего соединения.

При повышении давления автоклавирования с 0,6 до 1,4 МПа предел прочности при сжатии изделий возрастает, при этом прирост прочности при увеличении давления тем больше, чем меньше продолжительность автоклавирования. Оптимальная для набора максимальной прочности продолжительность изотермической выдержки составляет 5 ч.

Использование в качестве сырья глинистых пород повышает прочность ячеистых бетонов в сравнении с изделиями на традиционном сырье. Например, предел прочности при сжатии известково-песчаных (контрольных) образцов с содержанием  $\text{CaO}_{\text{акт}}$  14 мас. % и автоклавированных при давлении 1,0 МПа и 5 ч изотермической выдержки составил 3,20 МПа. При исполь-

зовании в качестве сырья супеси КМА, супеси ААП-1 и супеси ААП-2 прочность составила соответственно 3,62, 3,82 и 4,2 МПа, что на 13–31 % выше значений известково-песчаных ячеистых бетонов.

Цементирующее соединение известково-песчаных ячеистых бетонов формируется в системе  $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ . При использовании глинистых пород фазообразование происходит в более сложной системе  $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$ . При этом образуются низкоосновные гидросиликаты кальция, тоберморит, гидрогранаты.

В структуре цементирующего соединения ячеистых бетонов на основе супеси КМА при изотермической выдержке 5 ч наблюдаются тонкие пластинки тоберморита (рис. 2, а), которые также идентифицируются на рентгенограмме по отражениям 11,38–11,43 Å. Аномальное отклонение от структуры тоберморита 11,3 Å связано, по-видимому, с замещением ионов  $\text{Si}^{4+}$  на  $\text{Al}^{3+}$ , что уплотняет его структуру.

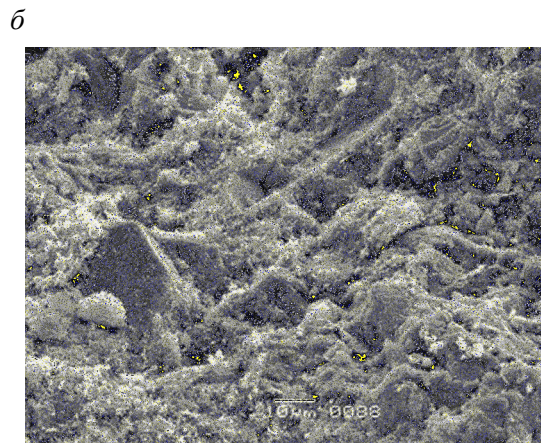
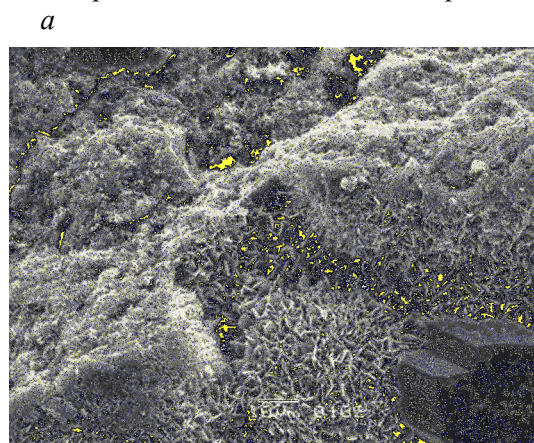


Рис. 2. Микроструктура ячеистого бетона на основе супеси КМА, автоклавированного при давлении 1 МПа, РЭМ:  $\times 1000$   
а – 5 ч изотермической выдержки; б – 8 ч изотермической выдержки

При увеличении длительности гидротермальной обработки образовавшаяся структура гидросиликата становится нестабильной и происходит перекристаллизация. На рис. 2, б отмечаются отдельные фрагменты кристаллов, которые связаны гелевидными образованиями. Структура цементирующего соединения становится рыхлой и прочность его снижается. Можно сделать вывод, что рациональная микроструктура новообразований, обеспечивающая наибольшую прочность, формируется в течение 5 ч изотермической выдержки.

Подобный фазовый состав новообразований формируется в ячеистых бетонах на основе супеси ААП-1 и супеси ААП-2. Однако прочностные показатели ячеистых бетонов на основе этих пород различаются. Это связано, вероятно,

с тем, что за счет индивидуального состава глинистых пород формируется цементирующее соединение с разным соотношением минеральных фаз.

Синтез более сложного фазового состава цементирующего соединения приводит к снижению его теплопроводности в сравнении с цементирующим соединением на основе традиционного известково-песчаного вяжущего. За счет этого снижается теплопроводность межпоровых перегородок и, соответственно, теплопроводность ячеистого бетона на основе глинистых пород.

Таким образом, использование в качестве сырья для производства конструкционно-теплоизоляционных ячеистых бетонов глинистых пород ускоряет синтез цементирующих



соединений, оптимизируется их состав и микроструктура что существенно повышает физико-механические показатели изделий. При этом время изотермической выдержки сокращается в 2 раза в сравнении с ячеистыми бетонами на основе традиционного сырья, за счет чего возможно снижение энергозатрат на производство.

На основе полученных результатов исследований предложены составы газобетонных смесей для получения конструкционно-теплоизоляционного ячеистого бетона с маркой по средней плотности D700 и D500. Для получения ячеистого бетона марки D500 изучаемые породы необходимо предварительно измельчать до удельной поверхности 250 м<sup>2</sup>/кг.

Предел прочности при сжатии известково-песчаных ячеистых бетонов марки по средней плотности D700 составил 4,1 МПа (табл. 2). Использование в качестве сырья глинистых пород

повысило прочность ячеистого бетона. Для изделий на основе супеси ААП-1 предел прочности при сжатии составил 4,5 МПа, что на 10 % выше прочности известково-песчаных. Максимальной прочностью обладает ячеистый бетон на основе супеси ААП-2 – 5,4 МПа, что на 32 % выше прочности известково-песчаных. Предел прочности при сжатии известково-песчаных ячеистых бетонов марки по средней плотности D500 составил 2,5 МПа (см. табл. 2). Максимальное повышение прочности (36 %), как и для ячеистого бетона марки D700, обеспечивает супесь ААП-2, минимальное (15 %) – супесь ААП-1. Коэффициент теплопроводности ячеистого бетона в зависимости от средней плотности находится в пределах 0,10–0,15 Вт/(м·°C), морозостойкость ячеистых бетонов составляет не менее 25 циклов.

Таблица 2

**Свойства конструкционно-теплоизоляционных ячеистых бетонов на основе глинистого сырья**

Порода	Состав вяжущего, мас. %					Отношение кремнеземистого компонента к вяжущему (С)	Содержание СаО <sub>акт</sub> , мас. %	Предел прочности при сжатии, МПа	Водонасыщение W <sub>нас</sub> через 72 ч испытаний, в % по массе	Влажностная усадка, мм/м	Марка по морозостойкости, F	Коэффициент тепло-проводности, Вт/(м·°C)
	Известь	Супесь ААП-1	Супесь ААП-2	Супесь КМА	Песок кварцевый							
$S_{уд} = 120\text{--}140 \text{ м}^2/\text{кг}$	D700											
Песок кварцевый	40	–	–	–	60	1,5	16	4,10	45,1	0,50	15	0,17
Супесь ААП-1	40	60	–	–	–	2,0	16	4,50	43,3	0,45	25	0,14
Супесь ААП-2	40	–	60	–	–	1,5	16	5,40	41,5	0,40	25	0,15
Супесь КМА	45	–	–	55	–	1,5	18	4,60	42,9	0,45	25	0,15
$S_{уд} = 250 \text{ м}^2/\text{кг}$	D500											
Песок кварцевый	40	–	–	–	60	1,5	16	2,5	55,5	0,50	25	0,12
Супесь ААП-1	40	60	–	–	–	2,0	16	2,85	53,8	0,52	25	0,10
Супесь ААП-2	40	–	60	–	–	1,5	16	3,40	52,5	0,45	25	0,11
Супесь КМА	45	–	–	55	–	1,5	16	2,90	55,1	0,51	25	0,12

Таким образом, глинистые породы незавершенной стадии минералообразования пригодны в качестве сырья для получения конструкционно-теплоизоляционных автоклавных ячеистых бетонов. Высокая активность породообразующих минералов этого сырья ускорят синтез новообразований и формирование рациональной микроструктуры цементирующего соединения, что обеспечивает высокие физико-механические свойства ячеистых бетонов. При

этом за счет снижения давления и времени автоклавной обработки, а также упрощения технологии возможно сокращение затрат энергии на производство до 35 %.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесовик В.С. Повышение эффективности производства строительных материалов с уче-

том генезиса горных пород. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. 526 с.

2. Лесовик В.С. Геоника (геомиметика). Примеры реализации в строительном материаловедении. Белгород, 2014.

3. Лесовик В.С., Сулейманова Л.А., Кара К.А. Энергоэффективные газобетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. № 3. С. 10–20.

4. Кара К.А. К вопросу о технико-экономической эффективности неавтоклавного ячеистого бетона // Региональная архитектура и строительство. 2016. № 4 (29). С. 20–27.

5. Сулейманова Л.А., Кара К.А. Газобетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства. Белгород, 2011.

6. Лесовик В.С., Володченко А.А. Влияние состава сырья на свойства безавтоклавных силикатных материалов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 1. С. 10–15.

7. Алфимова Н.И. Вишневская Я.Ю., Трунов П.В. Композиционные вяжущие и изделия с использованием техногенного сырья. Saarbrücken. LAP LAMBERT, 2013. 127 с.

8. Алфимова Н.И., Шаповалов Н.Н. Материалы автоклавного твердения с использованием техногенного алюмосиликатного сырья // Фундаментальные исследования. 2013. № 6-3. С. 525–529.

9. Алфимова Н.И., Шаповалов Н.Н. Повышение водостойкости силикатных материалов за счет введения техногенного алюмосиликатного сырья // «Современная наука: тенденции развития»: IV Междунар. науч.-практ. конф., Краснодар, 26 марта 2013 г.: Сборник научных трудов. Т.2. Краснодар, 2013. С. 72–73.

10. Volodchenko A.A., Lesovik V.S., Volodchenko A.N., Zagorodnjuk L.H. Improving the efficiency of wall materials for «green» building through the use of aluminosilicate raw materials // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10. № 24. С. 45142–45149.

11. Строкова В.В., Алфимова Н.И., Черкасов В.С., Шаповалов Н.Н. Прессованные материалы автоклавного твердения с использованием отходов производства керамзита // Строительные материалы. 2012. № 3. С. 14–15.

12. Алфимова Н.И. Вишневская Я.Ю., Трунов П.В. Оптимизация условий твердения композиционных вяжущих. Saarbrücken. LAP LAMBERT, 2012. 97 с.

13. Алфимова Н.И. Прессованные материалы автоклавного твердения с использования техногенного сырья // [Электронный ресурс]: Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 24 мая 2011 г. БГТУ. Белгород, 2011.

14. Volodchenko A.A., Lesovik V.S., Zagorodnjuk L.H., Volodchenko A.N. Influence of the inorganic modifier structure on structural composite properties // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10. № 19. С. 40617–40622.

15. Володченко А.Н., Лесовик В.С., Алфимов С.И., А.А. Володченко А.А. Регулирование свойств ячеистых силикатных бетонов на основе песчано-глинистых пород // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 10. С. 4–9.

16. Лесовик В.С., Володченко А.Н., Алфимов С.И., Жуков Р.В., Гаранин В.К. Ячеистый бетон с использованием попутно-добываемых пород Архангельской алмазоносной провинции // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 2. С. 13–18.

17. Володченко А.Н., Лесовик В.С. Автоклавные ячеистые бетоны на основе магнезиальных глин // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. № 5. С. 14–21.

18. Володченко А.Н. Оптимизация состава сырьевой смеси силикатных материалов на основе известково-глинистого вяжущего // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2003. № 5. С. 237–240.

---

**Volodchenko A.N., Strokov V.V.**

**FEATURES OF TECHNOLOGY FOR PRODUCING  
CONSTRUCTIONAL HEAT INSULATING CELLULAR CONCRETE  
BASED ON NONCONVENTIONAL RAW MATERIALS**

*It was found that the clay rocks unfinished stage mineral suitable as a raw material for thermal insulation materials construction-autoclaved. High activity of raw rock-forming minerals accelerate the synthesis of tumors and the formation of a rational connection cementitious microstructure that provides high physical and mechanical properties of porous concrete. At the same time by reducing the pressure and time of autoclaving and simplify technology possible reduction of energy production costs by 35%.*

**Key words:** clay rocks, gas-silicate mixture, autoclaved aerated concrete, structure formation, construction-insulating materials.

---

**Володченко Анатолий Николаевич**, кандидат технических наук, профессор, кафедры теоретической и прикладной химии.

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

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

E-mail: vvstrokova@gmail.com

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

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

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

E-mail: vvstrokova@gmail.com

# МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.12737/24018

Романович А.А., д-р техн. наук, проф.,  
Воронов В.П., канд. техн. наук, проф.,  
Мещеряков С.А., инженер

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
Апухтина И.В., асс.  
Белгородский государственный университет

## АГРЕГАТ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ДАВЛЕНИЕМ И ДЕЗАГРЕГАЦИИ СПРЕССОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ\*

AlexejRom@yandex.ru

В статье приводится описание конструкции опытно-промышленной установки ПВИ включающей в себя загрузочный бункер, установленные на раме конические валки и дезагломерирующее устройство, которое состоит из дополнительных валков, имеющих обратную основным валкам конусность позволяет совместить в себе процессы измельчения и дезагрегации спрессованных материалов. Теоретически изучено осуществление направленного движения спрессованного в пластины материала от основных к дополнительным валкам дезагломерирующего устройства. Представлен анализ графической зависимости построенной по полученным уравнениям для линейного размера зоны захвата дезагрегирующими валками пластин спрессованного материала. Сделан вывод, что интенсивное изменение угла находится на интервале от нуля до 0,25 метра, что должно быть учтено при конструировании пресс-валкового измельчителя с устройством для дезагломерации материалов.

**Ключевые слова:** пресс-валковый измельчитель, спрессованный материал, направленное движение.

**Введение.** В последние годы при измельчении материалов различной прочности во многих отраслях промышленности широко используются пресс-валковые измельчители (ПВИ), работающие по различным технологическим схемам. Анализ научно-технической литературы [1–3] показывает, что при измельчении известняка, клинкера, шлаков, извести, кварца, углей, рудных материалов ПВИ используется как в открытом, так и в замкнутом цикле измельчения, при этом достигается снижение удельных энергозатрат в различных помольных комплексах на 20–40 % и повышение его производительности на 15–40 %.

Проведенный анализ структуры материалов, измельченных в ПВИ показал, что в нем осуществляется значительная часть процесса их помола. Однако обработанный давлением между валками материал имеет товарную форму в виде спрессованных пластин, поэтому для последующего его эффективного помола необходимы как минимум два различных силовых воздействия, что достаточно сложно создать в одном агрегате.

За рубежом широкое распространение получили технологические помольные схемы, включающие в себя ПВИ, молотковую дробилку или первую камеру шаровой мельницы, исполь-

зуемые для дезагломерации спрессованных пластин [4–7]. Реализация таких схем позволяет повысить производительность на 30 % и на 15–18 % снизить удельный расход электроэнергии. Однако применение дополнительного агрегата для дезагломерации спрессованного материала влечет за собой повышение затрат на его содержание и эксплуатацию, а первой камеры мельницы для разрыхления агломерата без мелющих тел или с небольшим их количеством приводит к не эффективному использованию объема и возможности помольного агрегата [8–10].

**Методология:** Рациональное решение данной проблемы заключается в разработке и создании пресс-валкового агрегата совмещающего в себя процессы измельчения материалов давлением и эффективного разрушения спрессованных пластин.

**Основная часть.** Проведенный анализ измельченного в ПВИ с коническими валками материала позволил установить, что он представляет собой спрессованные пластины, имеющие анизотропную текстуру с максимальной прочностью в направлении приложения усилия измельчения (рис.1), что требует особых условий его деагломерации и помола.

Проведенные экспериментальные исследования по изучению влияния давления измельче-

ния на их величину усилий дезагломерации спрессованных пластин (рис. 2), позволили установить, что с увеличением давления прессования возрастает не только степень измельчен-



Рис. 1. Форма клинкера, предварительно деформированного в ПВИ

Так, например, при измельчении клинкера давлением равным 240 МПа, усилия необходимые на дезагломерацию спрессованных пластин при их приложении в направлении прессования материала равны  $P_{\text{дез прод}} = 22$  МПа, а в перпендикулярном –  $P_{\text{дез попер}} = 2,5$  МПа, что существенно ниже. Это свидетельствует о том, что для эффективного разрушения измельченных и спрессованных в пластины в ПВИ материалов целесообразно прилагать усилия в направлении перпендикулярном силовому воздействию.

С учетом полученных результатов исследований нами разработана опытно-промышленная конструкция ПВИ с устройством для дезагломе-

ности материала  $E_{\text{изм}}$ , но и прочность пластин. Причем для их разрушения в зависимости от направления требуются различные по величине усилия.

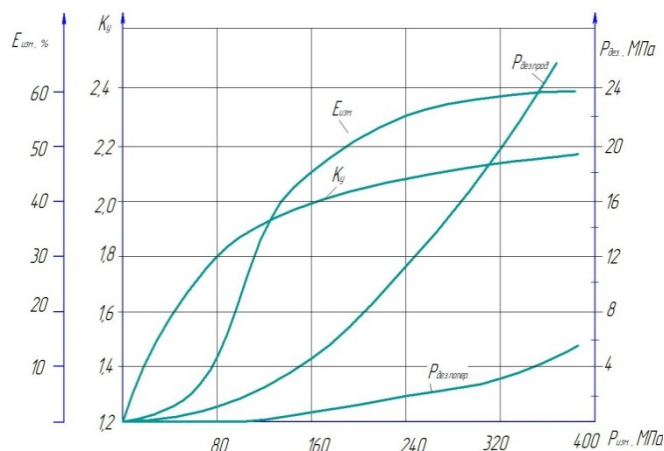


Рис. 2. Влияние давления измельчения клинкера на величину усилий дезагломерации его спрессованных

рации измельченных и спрессованных в ленту материалов. Данная конструкция позволяет совместить в себе процессы измельчения и дезагрегации спрессованных материалов в направлении их наименьшей прочности, и тем самым повысить эффективность от использования помольного агрегата (рис. 3).

Пресс-валковый измельчитель с устройством для дезагломерации включает в себя загрузочный бункер 1, установленные на раме конические валки 2 и дезагломерирующее устройство, которое состоит из дополнительных валков 3, имеющих конусность обратную основным валкам.

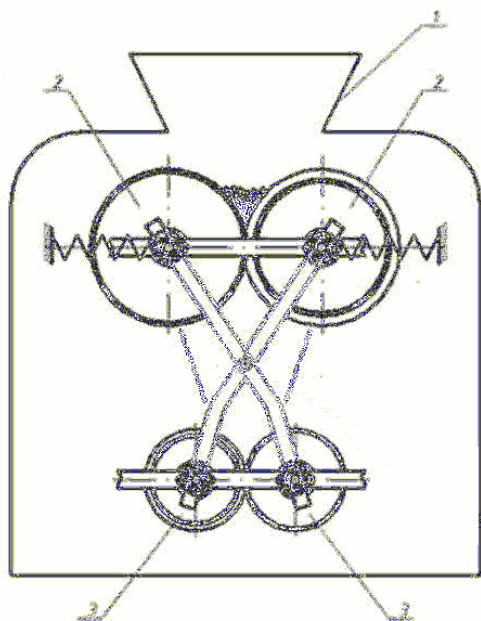


Рис. 3. Пресс-валковый измельчитель с устройством для дезагломерации материалов: а) схема, б) опытно-промышленная установка

Такая форма дополнительных и основных валков осуществляет противоположно направленное силовое воздействие на материал при его измельчении и дезагломерации спрессованных пластин, что позволяет их разрушить с меньшими энергзатратами. Однако для реализации данного процесса, должно осуществляться направленное движение спрессованного в пластины материала от основных к дополнительным валкам дезагломерирующего устройства.

Рассмотрим процесс поступления анизотропных пластин спрессованного материала к дополнительным валкам ПВИ рис.4.

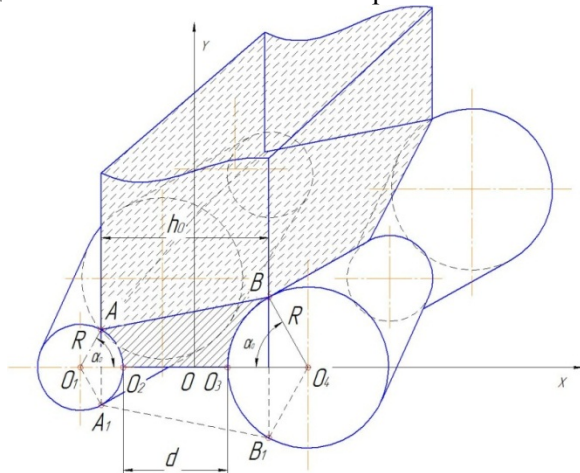


Рис. 4. Расчетная схема для определения площади разрушаемой пластины материала

Предположим, что движение пластин спрессованного материала в зону дезагрегации осуществляется с постоянством модуля скорости  $|\vec{V}|$ , а именно:

$$(\vec{V})^2 = V_0^2 = \text{const}, \quad (1)$$

где  $V_0$  – абсолютная величина скорости движения пластин спрессованного материала к зоне измельчения.

Согласно расчетной схеме, представленной на рисунке 4, вектор скорости  $\vec{V}$ , будет иметь следующие компоненты:

$$\vec{V} = \{V_x, 0, V_z\}, \quad (2)$$

$$V_x = V_0 \sin \theta, \quad (3)$$

$$V_z = V_0 \cos \theta, \quad (4)$$

где  $\theta$  – угол между вектором скорости и положительном направлении оси «OZ» в плоскости «XOZ».

При движении частиц материала к зоне дезагрегации вдоль оси «OX» происходит изменение угла « $\theta$ »:

$$\theta = \theta(x). \quad (5)$$

$$\delta E = \rho \vartheta_0^2 H L_y \int_{-Lx}^{Lx} (-\cos \theta \cdot \sin \theta \cdot \delta \theta + \alpha \frac{d\theta}{dx} \cdot \delta (\frac{d\theta}{dx})) dx = \rho \vartheta_0^2 H L_y [-\int_{-Lx}^{Lx} \cos \theta \cdot \sin \theta \delta \theta \cdot dx + \alpha \int_{-Lx}^{Lx} \frac{d\theta}{dx} \cdot \delta (\frac{d\theta}{dx}) dx]. \quad (14)$$

Энергию движения анизотропных частиц материала в зону дезагрегации представим в следующем виде:

$$E = \iiint W \left( \theta, \frac{d\theta}{dx} \right) dV, \quad (6)$$

где  $W \left( \theta, \frac{d\theta}{dx} \right)$  – плотность энергии единицы объема движущихся анизотропных пластин спрессованного материала, которую можно записать в виде:

$$W \left( \theta, \frac{d\theta}{dx} \right) = W_1(\theta) + W_2 \left( \frac{d\theta}{dx} \right), \quad (7)$$

$$W_1(\theta) = \frac{\rho v_z^2}{2}, \quad (8)$$

$$W_2 \left( \frac{d\theta}{dx} \right) = \frac{\alpha \rho v_0^2}{2} \left( \frac{d\theta}{dx} \right)^2, \quad (9)$$

где  $\rho$  – плотность частицы материала.

Соотношение (8) представляет плотность кинетической энергии движения спрессованных пластин материала вдоль оси «OZ», а (9) представляет собой плотность энергии связанной с поворотом вектора скорости движения пластин вдоль оси «OX». Как следует из (9) данное значение плотности энергии пропорционально квадрату производной их вектора скорости.

Величину коэффициента пропорциональности « $\alpha$ » (и его смысл определим позже).

Постановка (7) в (6) с учетом (8) и (9) приводит к следующему результату:

$$E = \iiint \left\{ \frac{\rho v_0^2}{2} \cos^2 \theta + \frac{\alpha \rho v_0^2}{2} \left( \frac{d\theta}{dx} \right)^2 \right\} dV. \quad (10)$$

Для выполнения конкретного расчета введем декартовую трехмерную систему координат «XOY» с центром в точке «O» (рис. 4). В качестве элементарного объема в выбранной системе координат, будет служить соотношение:

$$dV = dx dy dz. \quad (11)$$

Подстановка (11) в (10) приводит к следующему соотношению:

$$E = \frac{\rho \vartheta_0^2}{2} \int_{-Lx}^{Lx} dx \int_0^{Ly} dy \int_0^H \{ \cos^2 \theta + \alpha \left( \frac{d\theta}{dx} \right)^2 \} dz \quad (12)$$

Интегрирование выражения (12) по переменным «z» и «y» приводит к следующему соотношению:

$$E = \frac{\rho \vartheta_0^2 H L_y}{2} \int_{-Lx}^{Lx} \{ \cos^2 \theta + \alpha \left( \frac{d\theta}{dx} \right)^2 \} dx. \quad (13)$$

На основании соотношения (13) найдем функциональную зависимость (5), которая отвечала минимальному значению функционала (13) Для этого вычислим вариацию от (13):

Во втором интеграле выражения (14) произ-

$$\alpha \int_{-Lx}^{Lx} \frac{d\theta}{dx} \cdot \delta \left( \frac{d\theta}{dx} \right) dx = \alpha \int_{-Lx}^{Lx} \frac{d\theta}{dx} \cdot \frac{d}{dx} (\delta\theta) \cdot dx = \alpha \left\{ \frac{d\theta}{dx} \cdot \delta\theta \int_0^L - \int_{-Lx}^{Lx} \frac{d\theta}{dx^2} \delta\theta \cdot dx \right\} \quad (15)$$

Если учесть обращение в нуль вне интегрального слагаемого в (15) на верхнем и нижнем пределах, тогда (15) применяет вид:

$$\alpha \int_{-Lx}^{Lx} \frac{d\theta}{dx} \cdot \delta \left( \frac{d\theta}{dx} \right) dx = -\alpha \int_{-Lx}^{Lx} \frac{d^2\theta}{dx^2} \delta\theta dx. \quad (16)$$

Подстановка (16) в (14) приводит к следующему результату:

$$\delta E = \rho \theta_0^2 H L_y \int_{-Lx}^{Lx} (-\sin\theta \cos\theta - \alpha \frac{d^2\theta}{dx^2}) \delta\theta \cdot dx. \quad (17)$$

Минимальному значению энергии (17) соответствует равенство:

$$\delta E = 0. \quad (18)$$

Применение соотношения (18) к (17) позволяет получить следующее дифференциальное уравнение:

$$\alpha \frac{d^2\theta}{dx^2} + \sin\theta \cdot \cos\theta = 0. \quad (19)$$

Искомое решение уравнения (19) должно удовлетворять следующим граничным условиям:

$$\text{при } x = \pm L_x, \frac{d\theta}{dx} = 0, \theta = \frac{\pi}{2}, \quad (20)$$

$$\text{при } x = 0 \theta = \pi. \quad (21)$$

Умножим каждый элемент уравнения (19) на величину  $\frac{d\theta}{dx}$ :

$$\alpha \frac{d^2\theta}{dx^2} \cdot \frac{d\theta}{dx} + \sin\theta \cdot \cos\theta \cdot \frac{d\theta}{dx} = 0. \quad (22)$$

В результате несложных математических преобразований уравнение (22) можно привести к следующему виду:

$$\int \frac{d\theta}{\cos\theta} = - \int \frac{d(\frac{\pi}{2}-\theta)}{\sin(\frac{\pi}{2}-\theta)} = - \int \frac{d(\frac{\pi}{2}-\theta)}{2 \sin(\frac{\pi}{4}-\frac{\theta}{2}) \cos(\frac{\pi}{4}-\frac{\theta}{2})} = - \int \frac{d(\frac{\pi}{4}-\frac{\theta}{2})}{\sin(\frac{\pi}{4}-\frac{\theta}{2}) \cos(\frac{\pi}{4}-\frac{\theta}{2})} = - \int \frac{d(\frac{\pi}{4}-\frac{\theta}{2})}{\cos^2(\frac{\pi}{4}-\frac{\theta}{2})} = - \int \frac{d(tg(\frac{\pi}{4}-\frac{\theta}{2}))}{tg(\frac{\pi}{4}-\frac{\theta}{2})} = - \ln \left| tg \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{2} \right) \right|. \quad (30)$$

Подстановка (30) в (29) приводит к следующему результату:

$$- \ln \left| tg \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{2} \right) \right| = \pm \frac{x}{\sqrt{\alpha}} + C_2. \quad (31)$$

Применение граничного условия (21) к соотношению (31) приводит к соотношению:

$$C_2 = 0. \quad (32)$$

Постановка (32) в (31) приводит к равенству:

$$tg \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{2} \right) = \exp \left( \mp \frac{x}{\sqrt{\alpha}} \right). \quad (33)$$

На основании (33) коэффициент « $\alpha$ » имеет размерность квадрата длины, а величина  $\sqrt{\alpha}$  в (33) определяет зону наиболее интенсивного

ведем интегрирование по частям:

$$\frac{d}{dx} \left[ \alpha \left( \frac{d\theta}{dx} \right)^2 + \sin^2\theta \right] = 0. \quad (23)$$

Интегрирование соотношения (23) приводит к следующему результату:

$$\alpha \left( \frac{d\theta}{dx} \right)^2 + \sin^2\theta = C_1. \quad (24)$$

Для нахождения постоянной интегрирования « $C_1$ » применим (20) к соотношению (24) в результате находим, что:

$$C_1 = 1. \quad (25)$$

Постановка (25) в (24) позволяет получить следующее соотношение:

$$\alpha \left( \frac{d\theta}{dx} \right)^2 = \cos^2\theta. \quad (26)$$

На основании (26) находим, что:

$$\sqrt{\alpha} \frac{d\theta}{dx} = \pm \cos\alpha. \quad (27)$$

Выражение (27) представляет собой дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными. Разделение переменных приводит к следующему уравнению:

$$\frac{d\theta}{\cos\theta} = \pm \frac{dx}{\sqrt{\alpha}}. \quad (28)$$

Интегрирование уравнения (28) приводит к следующему соотношению:

$$\int \frac{d\theta}{\cos\theta} = \pm \frac{x}{\sqrt{\alpha}} + C_2. \quad (29)$$

Вычисление интеграла в выражении (29) позволяет получить следующее соотношение:

изменения угла « $\theta$ ». Поэтому в качестве величины « $\alpha$ » можно принять следующие равенство:

$$\alpha = \Delta^2, \quad (34)$$

где  $\Delta$  – линейный размер зоны захвата валками частиц материала.

Разрешая уравнения (33) относительно угла « $\theta$ » с учетом (34) можно получить следующие аналитические выражения определяющие изменение угла поворота вектора скорости пластин спрессованного материала при их движении к дополнительным валкам ПВИ:

$$\theta(x) = \frac{\pi}{2} - 2 \arctg \left( e^{\frac{-x}{\Delta}} \right), \text{ если } x \geq 0, \quad (35)$$

и



$$\theta(x) = \frac{\pi}{2} - 2 \arctg \left( e^{\frac{x}{\Delta}} \right), \text{ если } x \leq 0. \quad (36)$$

На рисунке 5 приведена графическая зависимость соотношения (35) и (36) для линейного размера зоны захвата дезагрегирующими валками пластин спрессованного материала  $\Delta = 0,25$

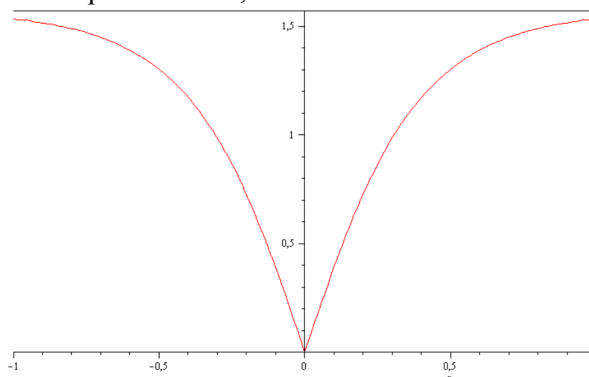


Рис. 5. График изменения направления движения материала к дезагломерирующим валкам агрегата

Таким образом, разработана опытно-промышленная конструкция ПВИ включающая в себя загрузочный бункер, установленные на раме конические валки и дезагломерирующее устройство, которое состоит из дополнительных валков, имеющих обратную основным валкам конусность, позволяет совместить в себе процессы измельчения и дезагрегации спрессованных материалов. Создавая тем самым, силовое воздействие в направлении наименьшей прочности спрессованных пластин, что позволяет повысить эффективность от использования агрегата. Анализ графической зависимости построенной по полученным уравнениям (35) и (36) для линейного размера зоны захвата дезагрегирующими валками пластин спрессованного материала, представленной на рисунке 5, позволил сделать вывод, что интенсивное изменение угла  $\theta(x)$  происходит на интервале от нуля до 0,25 метра. Это должно быть учтено при конструировании пресс-валкового измельчителя с устройством для дезагломерации материалов.

*\*Работа выполнена в рамках Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова на 2012–2016 годы.*

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шонерт К., Кноблах О. Измельчение цемента в валковом измельчителе в постели материала // Zement-kalk gips 1986. Т. 37. №1 p.1–9.
2. 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.
3. Romanovich A.A. Performance review and principal directions for development of a grinding equipment in cement factory // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2014. Т. 9. № 1 С. 2367–2370.
4. Скобло Л.И. Дайджест по материалам журнала Zement-Kalk-Gips №12 1996г. и №3, №4 1997г. // Цемент и его применение. 1997. №3. С. 41–43.
5. Романович А.А., Воробьев Н.Д., Апухтина И.В. Определение усилия уплотнения материалов в валковом устройстве // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 7. С. 107–111.
6. Романович А.А. Исследование процесса предуплотнения анизотропных материалов в пресс-валковом измельчителе // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. № 11. С. 56–60.
7. Sevost'yanov V.V., Targonskii I.I., Romanovich A.A., Goncharov A.A. Energy saving milling aggregates with internal recycling of the milled materials // Glass and Ceramics. 1993. Т. 50. № 4. С. 180–184.
8. Маркворт Л., Венцель Д. Технология и оборудование для обогащения полезных ископаемых // Горная промышленность. 2005. 27–29.
9. Romanovich A.A., Bogdanov V.S., Romanovich L.G., Romanischin D.V. Determination of power mill spent on the creation of the longitudinal motion of the grinding load // Journal of Applied Engineering Science. 2015. Т. 13. № 3. С. 155–160.
10. Romanovich L.G., Romanovich M.A., Vybornova V.V., Riapukhina V.N. Small businesses is a sphere of innovation in the age of globalization // Journal of Applied Engineering Science. 2014. Т. 12. № 4. С. 297–301.

---

**Romanovich A.A., Voronov V.P., Meshcheryakov S.A., Apukhtina I.V.**  
**ASSEMBLY FOR GRINDING PRESSURE AND DISAGGREGATION**  
**PRESSED MATERIALS**

*The article describes the design of a pilot plant PVI includes a feed hopper mounted on the frame of the conical rolls and designersusa device, which consists of additional rolls with a reverse taper rolls the main. allows to combine the processes of comminution and disaggregation of compressed materials. We theoretically studied the implementation of directional movement pressed into the plate material from the main to the additional rolls desagglomeration device. Presents an analysis of the graphic curves constructed according to the obtained equations for the linear size of the capture zone dezagregarea rolls plates of pressed material. It is concluded that the intensive change of the angle is on the interval from zero to 0.25 meters, which should be taken into account when designing the press roller cutter device for desagglomeration materials.*

**Key words:** *press roller chopper, pressed material, directional movement.*

---

**Романович Алексей Алексеевич**, доктор технических наук, проф. кафедры подъемно-транспортных и дорожных машин.

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

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

E-mail: AlexejRom@yandex.ru

**Воронов Виталий Павлович**, кандидат технических наук, проф. кафедры механическое оборудование и технология машиностроения.

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

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

**Мещеряков Сергей Анатольевич**, инженер кафедры подъемно-транспортных и дорожных машин.

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

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

E-mail: ms4488@mail.ru

**Апукhtина Инна Васильевна**, ассистент кафедры общей математики.

Белгородский государственный университет

Адрес: Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

Афонин А.Н., д-р техн. наук, проф.,  
Алейников А.Ю., ст. преп.,  
Гладышев А.Р., магистрант,  
Попова А.В., магистрант

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗВЕНЬЯМИ ЗМЕЕПОДОБНОГО РОБОТА\*

afonin@bsu.edu.ru

В работе приведена математическая модель модульной системы управления звеньями змееподобного робота для реализации волнового движения, учитывающая моменты внешних сил, создаваемых смежными звеньями и внешние возмущения. В качестве модели электрического привода постоянного тока использовано дифференциальное уравнение второго порядка, связывающее подаваемое на электродвигатель напряжение  $u(t)$ , момент нагрузки  $M_n(t)$  и выходной угол поворота вала  $\theta(t)$ . Рассчитаны передаточные функции отдельных звеньев, и получена передаточная функция системы управления в целом.

**Ключевые слова:** змееподобный робот, математическая модель движения, распределенная система управления, датчик, навигация, система энергообеспечения.

**Введение.** В настоящее время всё большее значение приобретают системы мониторинга и диагностики трубопроводов, а также их ремонта с помощью мобильных робототехнических комплексов. [1] Актуальной задачей в этом направлении является создание змеевидного мобильного робота. Змееподобные роботы обладают возможностью перемещаться в разных средах по сильно пересеченной местности, а также в ограниченном пространстве. Их областями применения могут быть: контроль трубопроводов, ликвидация последствий чрезвычайных ситуа-

ций и проведение поисково-спасательных работ; геологические изыскания; сельское хозяйство и т.д.

**Основная часть.** Принцип действия мобильного змееподобного робота основан на подражании движениям змеи. [2] Перемещение такого робота в пространстве осуществляется за счет волнообразного движения его тела, состоящего из отдельных звеньев.

3D модель механической конструкции змееподобного робота представлена на рисунке 1.

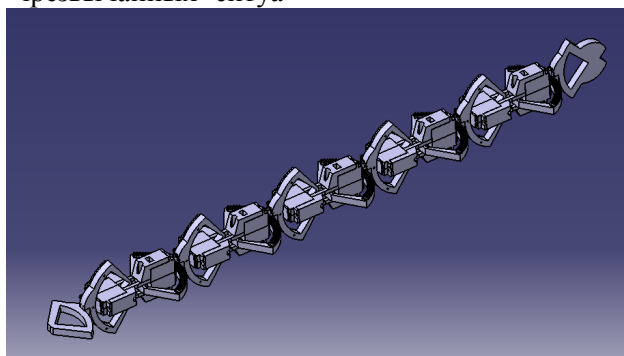


Рис. 1. 3D модель конструкции змееподобного робота

Основой механической конструкции является набор 5 звеньев, расположенных перпендикулярно друг относительно друга. Каждое из звеньев имеет на себе сектор конического зубчатого колеса. Сервоприводы имеют на своих осях конические шестерни, зацепляясь которыми с зубчатыми секторами на перпендикулярных оси привода звеньях, они обеспечивают поворот звеньев друг относительно друга. [3]

Механическая конструкция макета имеет 5 одинаковых звеньев с двумя перпендикулярно

закрепленными сервоприводами в каждом, голову и хвост.

Схема системы управления звеньями змееподобного робота представлена на рисунке 2.

Математическая модель системы управления звеньями змееподобного робота состоит из:

- задатчика змеинового изгиба, в простейшем случае представляющего собой гармоническую функцию, по которой рассчитываются углы поворота отдельных звеньев;
- корректирующего устройства, которое изменяет распределение углов поворота вдоль

тела змееподобного робота, тем самым передавая функции поврежденного звена рабочим звеньям, в соответствии с планируемыми к разработке на следующем этапе алгоритмами;

- набора систем автоматического управления (регулирования) двигателями постоянного тока отдельных звеньев.

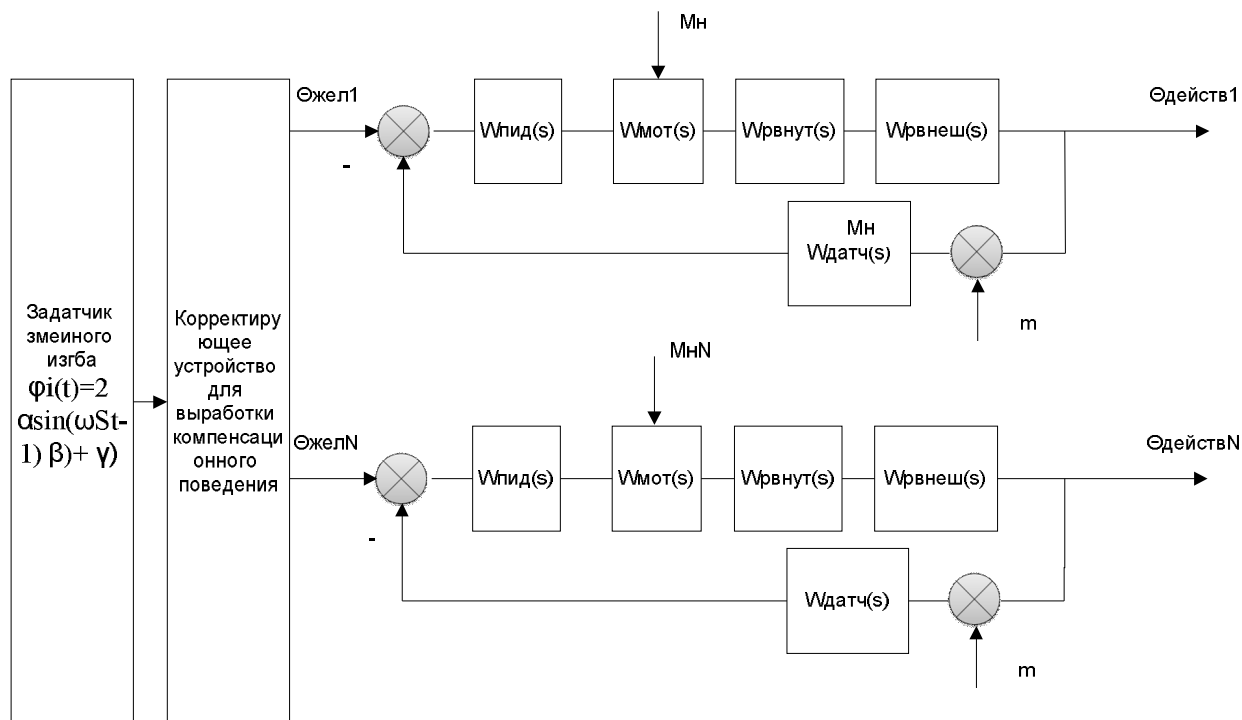


Рис. 2. Схема системы управления звеньями змееподобного робота

Задающим воздействием [4,5] для систем управления являются углы  $\theta_{\text{жел}}(t)$ , а управляемой величиной является  $\theta_{\text{действ}}(t)$ .

Также, в математической модели системы предусмотрено два внешних возмущающих [5,6] воздействия: момент внешних сил, в том числе нагрузки  $M_n(t)$ , обусловленный воздействием смежных звеньев робота, сил трения и пр., и шум измерения угла текущего (действительного) угла поворота  $m(t)$ , обусловленного наличием различных наводок. Технически, значением  $m(t)$  можно пренебречь.

На первый взгляд, момент нагрузки имеет стохастический характер  $M_n(t)$ , в связи с наличием в работе достаточно большого числа звеньев и практически случайным влиянием препятствий на движение робота. Однако, технически, момент нагрузки может быть косвенно определен по току, потребляемому конкретным сервоприводом, и таким образом, учтен при управлении движением, а также при выработке компенсационного поведения на следующем этапе работы.

В связи с тем, что звенья робота жестко связаны между собой, движение ближайших звеньев будет влиять на соседнее, причем не только в сторону увеличения момента нагрузки  $M_n$ , но и его уменьшения, создавая при этом

множественные обратные связи между системами управления отдельными звеньями по моменту нагрузки. Однако, исходя из того, что чем дальше звено располагается от рассматриваемого, тем, очевидно, влияние будет уменьшаться в связи с воздействием сил трения и тяжести.

В качестве регулятора по рассогласованию предполагается использование ПИД [6] регулятора с передаточной функцией  $W(\text{пид})(s)$ . Передаточная функция двигателя постоянного тока представлена функцией  $W_{\text{мот}}(s)$ , внешний и внутренний редуктор представлены соответственно функциями  $W_{\text{рвнут}}(s)$  и  $W_{\text{рвнеш}}(s)$ , передаточная функция датчика представлена функцией  $W_{\text{датч}}(s)$ .

Как физический объект электродвигатель постоянного тока описывается дифференциальным уравнением вращательного движения в абсолютных единицах:

$$\frac{J d\omega(t)}{dt} = M(t) - M_n(t) \quad (1)$$

где  $J$  – суммарный момент инерции якоря и нагрузки;  $M(t)$  – вращательный (электромагнитный) момент, создаваемый двигателем;  $M_n(t)$  – момент внешних сил, в том числе нагрузки, обусловленный воздействием смежных звеньев робота, сил трения и пр.;

Электромагнитный момент рассчитывается по формуле:

$$M(t) = C_M \Phi i(t) \quad (2)$$

где  $C_M$  – коэффициент;  $\Phi$  – магнитный поток;  $i(t)$  – ток якоря двигателя;

Схема электрическая принципиальная модели двигателя приведена на рисунке 2.

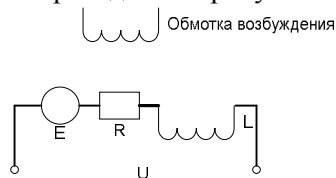


Рис. 2. Схема электрическая принципиальная модели двигателя

Взаимосвязь тока якоря двигателя и напряжения, подаваемого на двигатель описывается уравнением:

$$u(t) = e(t) + Ri(t) + \frac{Ldi}{dt} \quad (3)$$

где  $R$  – активное сопротивление цепи якоря электродвигателя;  $L$  – индуктивность катушки цепи якоря;  $i$  – ток в цепи якоря.

После преобразования Лапласа уравнение (3) примет вид:

$$u(s) = e(s) + Ri(s) + Lsi(s) \quad (4)$$

откуда выражение для связи изображений тока и напряжения примет вид:

$$i(s) = \frac{u(s) - e(s)}{R + Ls} \quad (5)$$

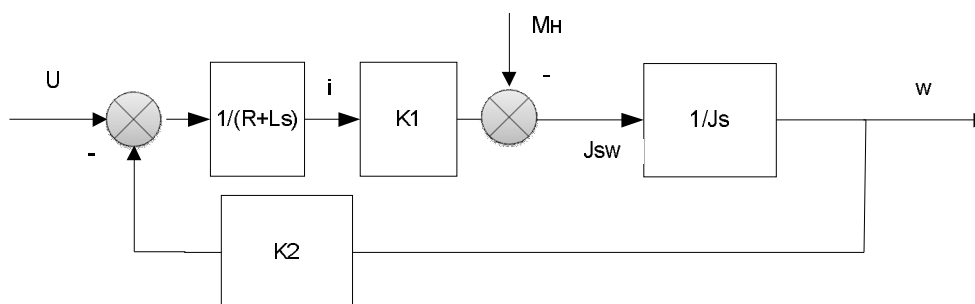


Рис. 3. Математическая модель двигателя с управляемой величиной  $\omega(t)$

Формула для угловой скорости имеет вид:

$$\omega(t) = \frac{d\theta}{dt} \quad (12)$$

Изображение Лапласа для (12) будет иметь вид:

$$\omega(s) = s\theta(s) \quad (13)$$

или

Расчет электродвижущей силы  $e(t)$  осуществляется через уравнение:

$$e(t) = C_\omega \Phi \omega(t) \quad (6)$$

где  $C_\omega$  – коэффициент связи между скоростью и ЭДС.

После проведения преобразования Лапласа выражение (6) примет вид:

$$e(s) = C_\omega \Phi \omega(s) \quad (7)$$

Для удобства проведения дальнейших преобразований введем коэффициенты:  $k1 = C_M \Phi$  и  $k2 = C_\omega \Phi$ .

С учетом введенных коэффициентов и выражения (7), выражение (5) примет вид:

$$i(s) = \frac{u(s) - k2\omega(s)}{R + Ls} \quad (8)$$

После проведения преобразования Лапласа выражение (2) примет вид:

$$M(s) = C_M \Phi i(s) \quad (9)$$

С учетом введенных коэффициентов выражение (9) примет вид:

$$M(s) = k1 i(s) \quad (10)$$

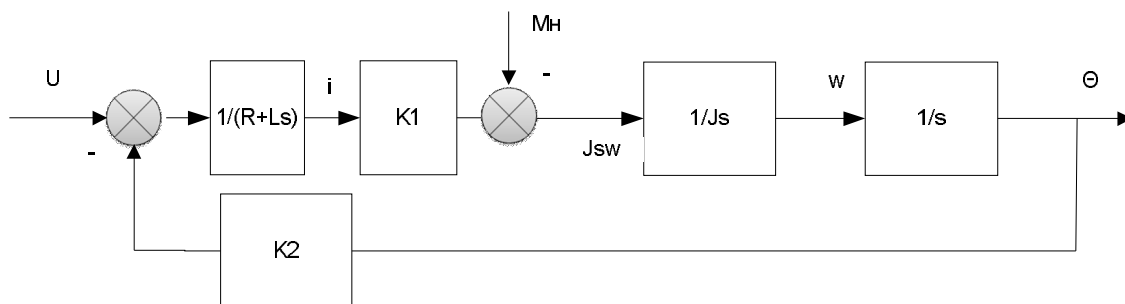
После проведения преобразования Лапласа выражения (1) и с учетом выражения (10) имеем:

$$Js\omega(s) = k1 i(s) - M_n(s) \quad (11)$$

Таким образом, на основе (8) и (11) получим математическую модель двигателя, на вход которого подается напряжение  $U(t)$ , а на выходе – частота вращения  $\omega(t)$  (рис. 3.)

$$\theta(s) = \frac{\omega(s)}{s} \quad (14)$$

Таким образом, математическая модель (рис.3), где выходом будет угол  $\theta(t)$ , а возмущающее воздействие будет  $U(t)$  примет вид (рис. 4.)

Рис. 4. Математическая модель двигателя с выходом  $\theta(t)$  относительно воздействия  $U(t)$ 

Произведем расчет передаточной функции модели замкнутой системы относительно управляемой величины  $\theta(t)$  по задающему воздействию  $U(t)$ . [6]

Для этого, сначала рассчитаем передаточную функцию разомкнутой системы, при этом полагая, что возмущающее воздействие  $M_n=0$  (согласно принципу суперпозиции):

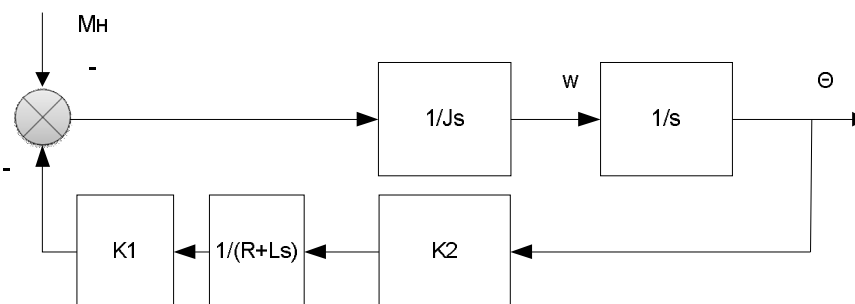
$$W(s)_{\text{мот. разомкн}} = \frac{\left(\frac{1}{R+Ls}K_1\right) \cdot \frac{1}{s}}{Js} \quad (15)$$

Таким образом, передаточная функция замкнутой системы примет вид:

$$W(s)_{\text{мот}} = \frac{\left(\frac{\left(\frac{1}{R+Ls}K_1\right) \cdot \frac{1}{s}}{Js}\right)}{1+K_2\left(\frac{1}{R+Ls}K_1\right) \cdot \frac{1}{s}} \quad (16)$$

Произведем расчет передаточной функции замкнутой системы относительно управляемой величины  $\theta(t)$  по возмущающему воздействию  $M_n(t)$ .

При  $U(t) = 0$  структурная схема примет вид, представленный на рисунке 5.

Рис. 5. Математическая модель двигателя с выходом  $\theta(t)$  относительно воздействия  $M_n(t)$ 

Передаточная функция замкнутой системы относительно управляемой величины  $\theta(t)$  по возмущающему воздействию  $M_n(t)$  примет вид:

$$W(s)_{\text{мот}} = \frac{\frac{1}{Js} \cdot \frac{1}{s}}{1 + \frac{1}{Js} \cdot \frac{1}{s} \cdot K_1 \cdot \frac{1}{R+Ls} \cdot K_2} \quad (17)$$

Аналогичным образом определим передаточную функцию  $W_n(s)$  для N-го звена системы управления змееподобного робота (внешние возмущения опустим):

$$W_n(s) = \frac{W_{\text{пид}}(s) \cdot W_{\text{мот}}(s) \cdot W_{\text{пвнут}}(s) \cdot W_{\text{пвнеш}}(s)}{1 + W_{\text{пид}}(s) \cdot W_{\text{мот}}(s) \cdot W_{\text{пвнут}}(s) \cdot W_{\text{пвнеш}}(s) \cdot W_{\text{датч}}(s)} \quad (18)$$

**Заключение.** В процессе выполнения работы получена математическая модель системы управления змееподобным роботом, представляющая собой набор уравнений, описывающих поведение системы при отработке задающего воздействия в виде желаемого угла поворота отдельных звеньев, а также возмущающих воздействий, в виде момента нагрузки для каждого звена.

Данная модель учитывает наличие жесткой связи между отдельными звеньями, которая

приводит к влиянию поведения смежных звеньев на соседние посредством изменения момента нагрузки, причем не только в сторону увеличения но и его уменьшения, создавая при этом множественные обратные связи между системами управления отдельными звеньями по моменту нагрузки. Исходя из того, что чем дальше звено располагается от рассматриваемого, тем, очевидно, влияние будет уменьшаться в связи с воздействием сил трения и тяжести.

Модель будет использована при построении системы управления змееподобным роботом в условиях повреждения звеньев.

*\*Работа выполнена в рамках проекта №2014/420-723. (Разработка конструкции, технологии изготовления и программного обеспечения мобильного робототехнического устройства).*

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Manabu Ono and Shigeo Kato, A study of an eartworm type inspection robot movable in long pipes, International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol. 7. 2010. pp. 095-090.

2. Hirose S. Biologically Inspired Robots: Snakelike Locomotors and Manipulators: Oxford University Press, 1993. 240p.

3. Алейников А.Ю., Афонин А.Н. Мобильное робототехническое устройство с волнообразным способом передвижения // Матер. 4-й Междунар. научно-практ. конф. «Современные

материалы, техника и технология». Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2014. С. 23–26.

4. Дядик В.Ф., Байдали С.А., Криницын Н.С. Теория автоматического управления: учебное пособие. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. 196 с.

5. Бесекерский В.А., Герасимов А.Н., Порфирьев Л.Ф., Фабрикант Е.А., Фёдоров С.М., Цветков В.И.. 1972 г. Линейные системы автоматического управления. Дифференциальные уравнения и передаточные функции звеньев и автоматических систем. Частотные характеристики динамических звеньев и систем автоматического регулирования.

6. Страшинин Е.Э. Основы теории автоматического управления, Часть 1. Линейные непрерывные системы управления: учебное пособие. Екатеринбург: УГТУ, 2000

---

**Afonin A.N., Aleynikov A.U., Gladishev A.R., Popova A.V.**

### DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL OF THE CONTROL SYSTEM OF LINKS OF THE SNAKE LIKE ROBOT

*The mathematical model of a modular control system of links of the snake like robot for realization of the wave movement considering the moments of the external forces created by adjacent links and external indignations is given in work. As model of the electric drive of a direct current the differential equation of the second order connecting tension of  $u(t)$  given on the electric motor, the moment of loading of  $M_n(t)$  and an output angle of rotation of a shaft  $\theta(t)$  is used. Transfer functions of separate links are calculated, and transfer function of a control system in general is received.*

**Key words:** snake like robot, mathematical model of the movement, distributed control system, sensor, navigation, system of power supply.

---

**Афонин Андрей Николаевич**, доктор технических наук, профессор кафедры материаловедения и нанотехнологий.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

Адрес: Россия, 308007, Белгород, ул. Студенческая, д. 14

E-mail: afonin@bsu.edu.ru

**Алейников Андрей Юрьевич**, руководитель СКБ ИИТиЕН, старший преподаватель кафедры материаловедения и нанотехнологий.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет.

Адрес: Россия, 308007, Белгород, ул. Студенческая, д. 14

E-mail: aleinikov@bsu.edu.ru

**Гладышев Андрей Романович**, магистрант 2-го года обучения, техник-проектировщик.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет.

Адрес: Россия, 308007, Белгород, ул. Студенческая, д. 14

E-mail: 1173079@bsu.edu.ru

**Попова Анастасия Владимировна**, магистрант 2-го года обучения

Белгородский государственный национальный исследовательский университет.

Адрес: Россия, 308007, Белгород, ул. Студенческая, д. 14

E-mail: 1137828@bsu.edu.ru



Бойчук И.П., канд. техн. наук, доц.,  
Перелыгин Д.Н., ст. преп.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГАЗОПЫЛЕВОЙ ПОТОК В ВИХРЕ-АКУСТИЧЕСКОМ ДИСПЕРГАТОРЕ

igor\_boichuk@mail.ru

*В статье рассмотрено движение газодисперсного потока в камере вихре – акустического диспергатора. Проведено моделирование акустического воздействия на течение закрученного потока. Показано, что акустическое воздействие на течение потока приводит к его торможению. При этом течение потока в пограничном слое принимает колебательный характер. Моделирование позволило установить характер распределения акустических колебаний при использовании одиночных и последовательно расположенных генераторов акустических волн, усиливающийся эффект их торможения.*

**Ключевые слова:** вихре- акустический диспергатор, акустическое воздействие, течение около каверны.

**Введение.** Переработка отходов горноперерабатывающих производств, как правило, связана с потребностями смежных отраслей в сырьевых материалах. Результаты многочисленных исследований по комплексной переработке различных техногенных материалов подтвердили технико-экономическую целесообразность их использования для обеспечения ресурсосбережения и получения новых видов продукции [1–3].

Одним из наиболее перспективных направлений утилизации промышленных отходов является их комплексное использование в производстве строительных материалов, что позволяет до 40 % удовлетворить потребности в сырье этой важнейшей отрасли промышленности. Применение отходов промышленности позволяет на 10–30 % снизить затраты на изготовление строительных материалов по сравнению с производством их из природного сырья. Экономия капитальных вложений при этом составляет 35–50 % [4–5].

В современной технологии производства строительных материалов тонкодисперсные порошки являются одним из основополагающих компонентов, которые существенным образом влияют на качество готовой продукции [6]. Тонкость помола материалов имеет важное значение для интенсификации различных технологических процессов. Однако получение высокодисперсного продукта затруднено вследствие повышенных энергозатрат на измельчение материалов, а также их абразивности при интенсивном истирающем воздействии, которое вызывает высокий износ мелющих тел и других частей помольного агрегата. Это приводит к повышению стоимости процесса измельчения, а также к получению некачественного, загрязненного продукта [7, 8]. Согласно данным [9–10] энерго-

затраты на измельчение различных материалов достигают 20 % от общего энергопотребления на производство продукции.

Наиболее перспективным методом для тонкого и сверхтонкого помола различных материалов, используемых в малотоннажных и инновационных технологиях, является струйный метод измельчения [11–14]. Однако при всех преимуществах данного метода остаются не решенными проблемные задачи снижения энергоемкости процесса, абразивного износа рабочих органов, повышение эффективности аспирационной системы и др.

На наш взгляд, одним из перспективных типов струйных мельниц являются вихре-акустические диспергаторы с комплексным динамическим воздействием на измельчаемый материал. В таких мельницах измельчение исходного материала интенсифицируется за счет создания зон звуковых и ультразвуковых колебаний, поперечных к вращающемуся газодисперсному потоку [15–18], что приводит к усталостному разрушению измельчаемых частиц и получению высокодисперсного продукта.

Для интенсификации процесса разрушения частиц в систему вводят излучатели звука – динамические (вращающиеся) и статические (свистковые) сирены. К статическим сиренам относятся, в частности, такие генераторы акустических колебаний как виброструйные свистки. В случае наличия генераторов колебаний процесс движения газодисперсной фазы в камере диспергатора приводит к возникновению акустического излучения. В литературе [19–20] указывается, что акустическое излучение может оказывать влияние на движение закрученного потока с частицами. Это влияние приводит, с одной стороны, к силовому воздействию на частицу и к воздействию на поток с другой.

**Силовое воздействие на частицы** сводится к следующим вариантам. Во первых, происходит поглощение частицами звукового излучения. Излучения больших частот лучше поглощаются мелкими частицами твердой фазы, а малых частот – крупными [21]. Поглощение увеличивает уровень напряжения в частицах. Такие эффекты полезны для разрушения частиц при ударе или даже их саморазрушения. Акустические возмущения вносят в процесс разрушения дополнительные механизмы [22]. Во-вторых, происходит воздействие на частицу знакопеременной нагрузки от звукового излучения. Акустическое излучение приводит к воздействию на частицу различных сил: силы радиационного дрейфа, обусловленной действием радиационного давления; силы дрейфа, обусловленной периодическим изменением вязкости среды; силы, обусловленной разностью плотностей частицы и несущей среды [21]. Такое воздействие приводит к тому, что частицы менее 0,01 мм, которые двигаются в некотором удалении от стенки, могут вовлекаться в колебательное движение высокоскоростного потока под действием волн сжатия и разряжения [21]. Под действием этих волн частицы испытывают чередующиеся сжимающие и растягивающие напряжения [23]. Все это ведет к усилению внутреннего напряженно-деформированного состояния частиц, способствует умножению и росту микродефектов внутренней структуры частиц и их разрушению [24]. При этом успешно используется физическое свойство твердых кристаллических материалов - их усталостная прочность ниже статиче-

ской прочности [25], т. е. для ускорения процесса усталостного объемного разрушения частиц кроме увеличения квазистатических (безударных) периодических нагрузок выгодно увеличивать как частоту, так и амплитуду высокочастотных циклических возмущений параметров потока в области измельчения.

**Воздействие на поток.** Воздействие акустических колебаний на течение ведет к изменению значения коэффициента сопротивления трения. Колебательное движение возле стенки приводит к увеличению расхода энергоносителя по сечению. Следовательно, значение коэффициента сопротивления трения должно быть меньше, чем у плоской полуограниченной струи. У потока при воздействии акустических колебаний торможение полуограниченной закрученной струи идет намного медленнее, а уменьшение коэффициента сопротивления трению делает профиль скорости вдоль стенки более пологим в сравнении с потоком без воздействия акустических колебаний [26]. Это приводит к снижениям потерь энергии, увеличению расхода и уменьшению количества ударов частиц о стенки камеры.

**Определение аэродинамических характеристик потока.** Основное течение (ядро потока). Так как вихревая камера представляет собой цилиндр с вращающимся в ней газом, то движение потока воздуха может быть описано уравнениями Навье-Стокса совместно с уравнением неразрывности в цилиндрической системе координат.

$$\frac{\partial V_r}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{V_\varphi}{r} \frac{\partial V_r}{\partial \varphi} + V_z \frac{\partial V_r}{\partial z} - \frac{V_\varphi^2}{r} = F_r - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial V_r}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_r}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 V_r}{\partial z^2} - \frac{V_r}{r^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi} \right), \quad (1)$$

$$\frac{\partial V_\varphi}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} + \frac{V_\varphi}{r} \frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi} + V_z \frac{\partial V_\varphi}{\partial z} + \frac{V_r V_\varphi}{r} = F_\varphi - \frac{1}{\rho r} \frac{\partial p}{\partial \varphi} + \nu \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_\varphi}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 V_\varphi}{\partial z^2} - \frac{V_\varphi}{r^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial V_r}{\partial \varphi} \right), \quad (2)$$

$$\frac{\partial V_z}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_z}{\partial r} + \frac{V_\varphi}{r} \frac{\partial V_z}{\partial \varphi} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} = F_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial V_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_z}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} \right), \quad (3)$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r V_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0, \quad (4)$$

где  $t$  – время,  $r, \varphi, z$  – цилиндрические координаты,  $V_r, V_\varphi, V_z$  – компоненты вектора скорости,  $p$  – давление,  $\rho$  – плотность,  $\nu$  – вязкость.

Предположим, что вихревую камеру заполняет вязкая жидкость, которая вращается вокруг центральной оси с постоянной угловой скоростью. Согласно [26], течение жидкости в вихревой камере можно принять ламинарным и установившимся с отсутствующими массовыми силами, а движение двухфазного потока можно

рассматривать как движение единой жидкости со свойствами несущего потока.

При этих предположениях из системы (1)-(4) получим систему

$$\frac{dp}{dr} = \rho \frac{V_\varphi^2}{r}, \quad (5)$$

$$\frac{d^2 V_\varphi}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dV_\varphi}{dr} - \frac{V_\varphi}{r^2} = 0, \quad (6)$$

решением которой для тангенциальной скорости и давления являются уравнения [26]

$$V_{\varphi}(r) = V_{\varphi \max} \left( \frac{r}{R_c} \right)^{\frac{k}{k-1}}, p(r) = \frac{\rho}{2} \frac{k-1}{k} \left( \frac{r}{R_c} \right)^{\frac{2k}{k-1}} V_{\varphi \max}^2 + p_0 \quad (7)$$

где  $k = c_p / c_v$ , а  $R_c$  – радиус вихревой камеры.

Формулы (7) описывает общую структуру характерных для вынужденного вихря течений. Распределение скорости  $v_{\varphi}(r)$  показано на рис. 1.

**Пограничный слой.** Распределение скорости в пристенном течении определяется из теории Кармана и для установившегося течения определяется соотношением [27]

$$V_x = U \left( \frac{3}{2} \frac{y}{\delta} - \frac{1}{2} \left( \frac{y}{\delta} \right)^3 \right) \quad (11)$$

где  $\delta$  – толщина пограничного слоя,  $U = (V_x)_{y=\delta}$  – скорость на границе пограничного слоя. На рис. 2 и 3 показаны распределение скорости в пограничном слое и профиль скорости в вихревой камере.

Известно [26], что основное влияние на течение звуковая волна оказывает в пограничном слое. Плоская звуковая волна, создаваемая генератором акустических колебаний, имеет вид [28]

$$v_x = v_{0x}(y) \cos(\omega t - kx), v_y = v_{0y}(y) \cos(\omega t - kx). \quad (12)$$

$$v_x = U \left( \frac{3}{2} \mu - \frac{1}{2} (\mu)^3 \right) - \frac{v_0^2}{4c_0} (\mu - \mu^2) \sin(2kx),$$

где  $c_0$  – скорость звука.

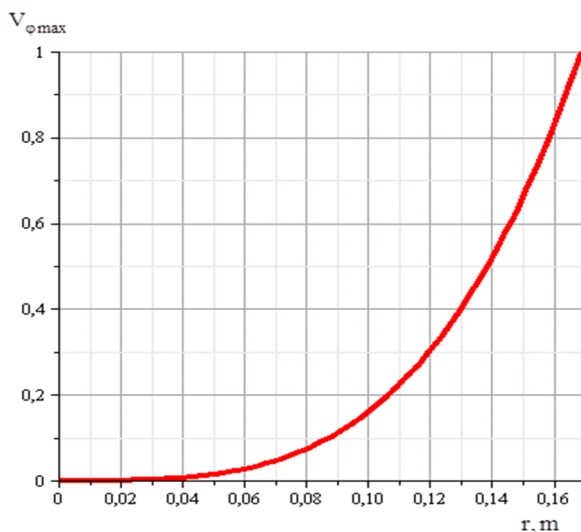


Рис. 1. Распределение тангенциальной скорости по радиусу камеры

где  $x, y$  – декартовы координаты,  $k$  – волновое число,  $\omega$  – круговая частота.

В тонком пограничном слое воздействие звуковой волны на основное течение приводит к изменению скорости течения. В стоячей волне звуковая волна в пограничном слое вызывает течение, сводящееся к образованию вихрей определенной величины [28]. Скорость такого течения определяется формулой

$$v_x = -\frac{v_0^2}{4c_0} (\mu - \mu^2) \sin(2kx), v_y = -\frac{v_0^2}{4c_0} k \delta \mu^2 \cos(2kx), \quad (13)$$

где  $\mu = \frac{y}{\delta}$ .

По данным Акунова В. Г. [29] в однофазной струе образуется от 10 до 15 стоячих волн. Поэтому течение (13), вызванное в пограничном слое звуковой волной, накладываясь на течение (11), будет приводить, по всей вероятности, к уменьшению скорости. При этом расположенные подряд несколько генераторов акустических колебаний будут приводить к большему торможению потока по сравнению с одиночным.

Сложение (11) и (13) даст скорость в пограничном слое при наложении на основной поток течения, вызванного звуковой волной

$$v_y = -\frac{v_0^2}{4c_0} k \delta \mu^2 \cos(2kx). \quad (19)$$

Поле скоростей (19) представлено на рис. 4. На рис. 4–6 показан характер течения в пограничном слое.

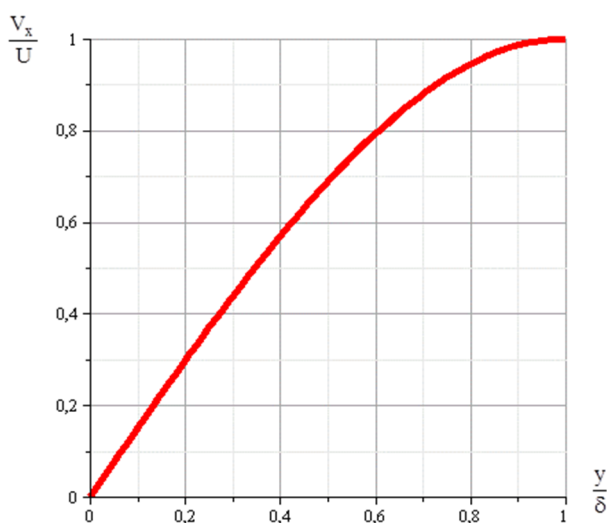


Рис. 2. Распределение тангенциальной скорости в пограничном слое

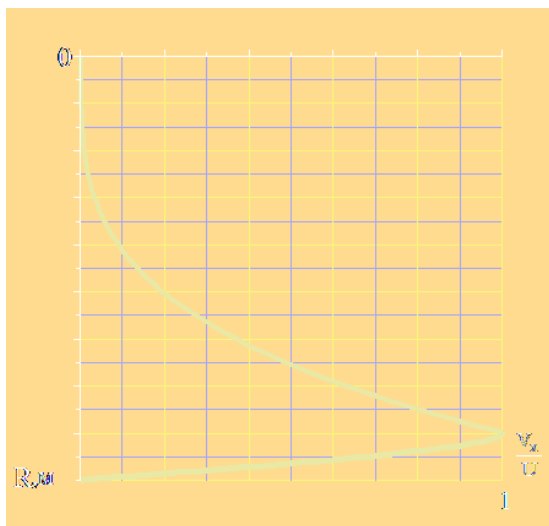


Рис. 3. Профиль скорости в вихревой камере

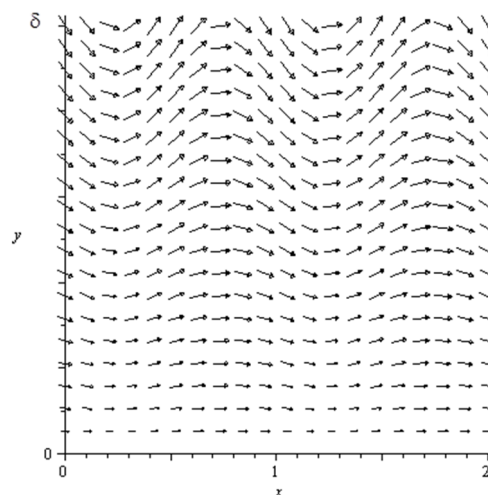
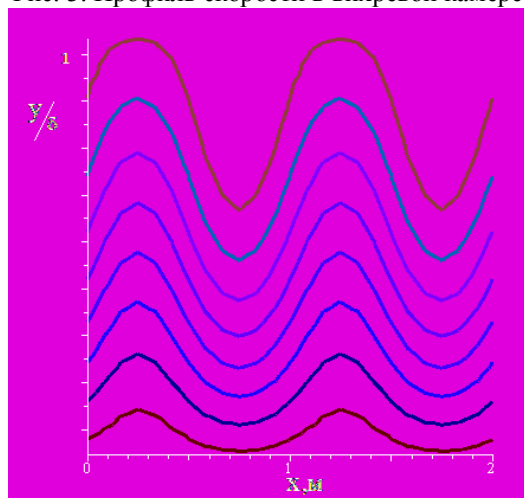
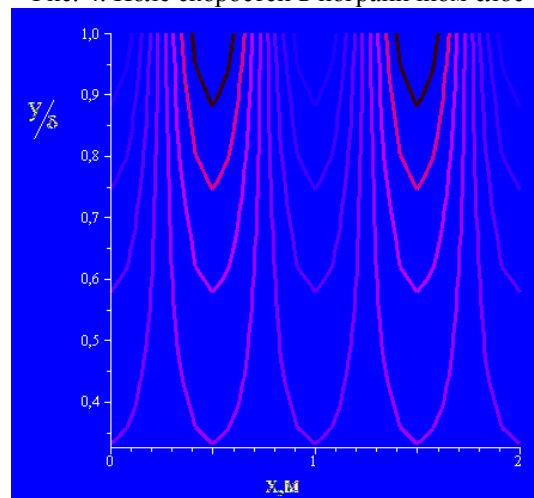


Рис. 4. Поле скоростей в пограничном слое

Рис. 5. Распределение скорости  $v_x$  в пограничном слоеРис. 6. Распределение скорости  $v_y$  в пограничном слое

**Движения потока в зонах разряжения-сжатия.** Акустические генераторы, являющиеся источником упругих колебаний, представляют собой каверны круглой или прямоугольной формы (рис.7). Для течений около и внутри двумерных каверн характерен отрыв потока у

передней стенки и присоединение его у задней [30]. Внутри каверны при этом возникает возвратно-циркуляционное течение. При этом в каверне возникают зоны вторичных отрывов потока. Это течение зависит от геометрических параметров каверны.

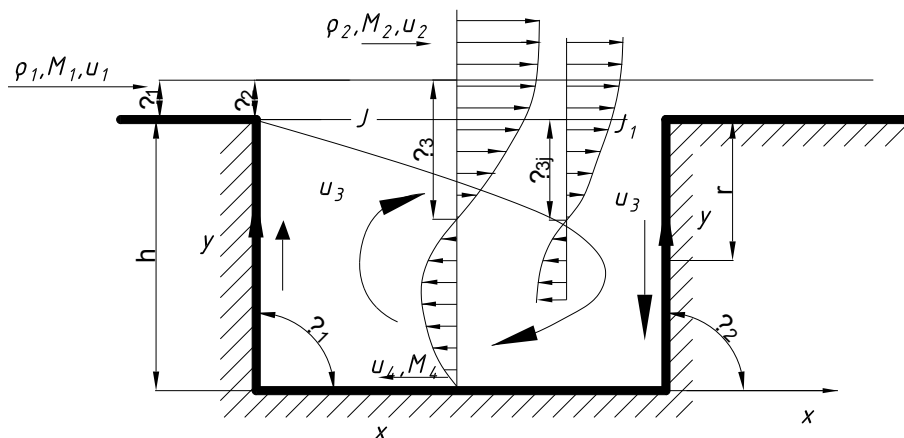


Рис. 7. Схема течения потока в камере резонатора

В трехмерных течениях также наблюдаются возвратные течения, подобные двумерным. Отличительной особенностью является наличие на боковых стенках топологических структур типа «фокус» [31]. При этом фокус может быть устойчивым и неустойчивым. Устойчивый фокус распространяется от стенки в поток как концентрическая вихревая линия, обладающая значительной энергией. Неустойчивый фокус – присоединение вихревого жгута к стенке. Наличие данных структур говорит о том, что течение газа внутри каверны происходит вокруг вихря. Однако, поскольку через вихрь происходит значительное перетекание массы между стенками, то это свидетельствует о поперечном течении внутри каверны. Такое течение взаимодействует с основным потоком и приводит к возникновению торообразного вихря. Этот вихрь поддерживает состояние трехмерности потока, воздействует на сдвиговый слой и приводит к несимметричному затеканию потока в каверну.

Как подтверждают эксперименты, течение внутри камеры является нестационарным, а

процесс можно описать следующим образом [31]. Затекание потока в каверну около задней стенки приводит к появлению возвратного течения. Это течение взаимодействует с боковыми стенками, вызывая формирование поперечного вихря. Данный вихрь способствует затеканию в отрывную область высокоэнергетической струи газа.

Фокусный вихрь, взаимодействуя с боковыми стенками камеры, приводит к образованию торообразного вихря. После этого происходит процесс выброса газа из каверны и картина повторяется.

**Численное моделирование течения в камере диспергатора.** Для проверки сделанных предположений о влиянии числа генераторов на поток было выполнено численное моделирование квазистационарного трехмерного течения закрученного потока в камере вихре - акустического диспергатора. Картина течения около каверны, полученная в результате численного моделирования, показана на рис.8.

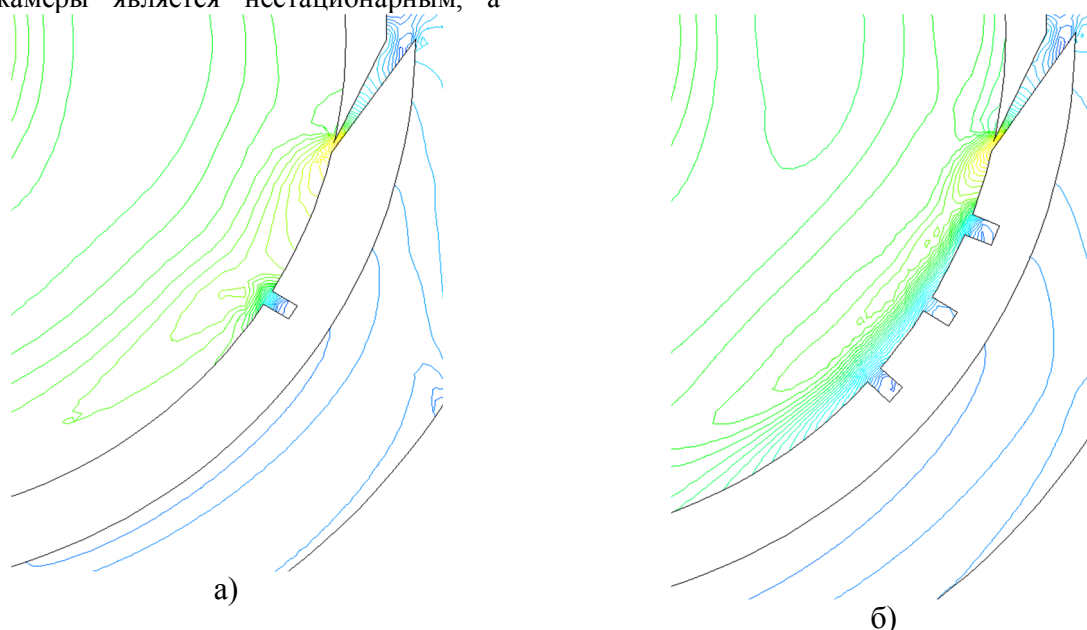


Рис. 8. Картина течения около а) одной и б) трех каверн

Из рисунков видно, что расположенные подряд несколько каверн значительно больше тормозят поток по сравнению с одной каверной.

**Закключение.** В работе выполнено моделирование акустического воздействия на течение закрученного потока в вихре – акустическом диспергаторе. Установлено, что акустическое воздействие на течение потока приводит к его торможению. При этом течение потока в пограничном слое принимает колебательный характер.

Моделирование позволило установить характер распределения акустических колебаний при использовании одиночных и последователь-

но расположенных генераторов акустических волн, усиливающийся эффект их торможения.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований реализованы в производственных условиях при испытании опытно-промышленной технологической линии.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мосинец В.Н., Грязнов М.В. Горные работы и окружающая среда. М.: Мысль, 1978. 293 с.
2. Ласкорин Б.И., Барский Л.А., Персиц В.З. Безотходная технология переработки мине-

рального сырья. Системный анализ. М.: Недра, 1984. 334 с.

3. Ситтиг М. Извлечение металлов и неорганических соединений из отходов, пер.сангл. М.: Металлургия, 1985. 408 с.

4. Доненов Б. Минеральные ресурсы в современной экономике Казахстана НТЦМИ: отчет. Алматы, 2004. 136 с.

5. Голиков В.И. Цидаев Т.С., Цидаев Б.С. Хвосты обогащения металлургических руд как сырье для производства строительных материалов // Сухие строительные смеси. 2015. №4. С. 21–25.

6. Львов В.В. Новые технологии в тонком и сверхтонком измельчении минерального сырья. Записки Горного института. 2013. Т.202. С. 115–117.

7. Березовский С.Н. Березовский Н.И. Комплексное освоение, использование сырья и вскрышных пород для производства строительных материалов // Вестник Белорусско-Российского университета. 2009. №3. С. 155–161.

8. Перелыгин Д.Н., Севостьянов В.С., Бойчук И.П., Кузнецов И.А. Исследование ударного контакта абразивных частиц с футеровкой вихре-акустического диспергатора. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. №2. С. 122–125.

9. Гончаров С.А., Ананьев П.П. Энергосбережение при подготовке руд к обогащению на железорудных и золоторудных горно-обогатительных комбинатах // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2009. №3. С. 91–95.

10. Ракаев А.И. Шумилов П.А. Закономерности измельчения бедных медно-никелевых руд в барабанных мельницах // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2009. Т. 12. №4. С.638–643.

11. Постникова И.В., Блиничев В.Н. Кравчик Я. Струйные мельницы // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2005. №2(42). 144–151.

12. Кравченко В.П. Активация доменных шлаков // Вестник Приазовского государственного технического университета. Технические науки. 2010. №2. С. 17–20.

13. Федотов К.В., Дмитриев В.И. Изменение технологических свойств руды при измельчении в противоточно-вихревых струях // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2010. С.129–132.

14. Гарабажиу А.А. Разработка и исследование вихревой мельницы с непрерывной проточной классификацией готового продукта: Автореф. дисс. канд. техн. наук / Минск, 2000.

15. Патент РФ №2226432. Вихреакустический диспергатор. Севостьянов В.С., Лесовик В.С., Перелыгин Д.Н., Горлов А.С., Нечаев С.П. 10.04.2004, Бюл. №10

16. Патент РФ №2250138. Вихреакустический диспергатор. Гридчин А.М., Севостьянов В.С., Лесовик В.С., Горлов А.С., Перелыгин Д.Н., Федоренко Б.З. 20.04.2005, Бюл. №11.

17. Патент РФ №2317147. Вихреакустический диспергатор-смеситель (варианты). Севостьянов В.С., Гридчин А.М., Нечаев С.П., Лесовик В.С., Горлов А.С., Перелыгин Д.Н. 28.02.2008. Бюл. №5

18. Севостьянов В.С., Перелыгин Д.Н., Уральский В.И., Горлов А.С., Глаголев Е.С., Бабаевский А.Н. Разработка и исследования энерго-сберегающего помольного оборудования для высокодисперсного измельчения материалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. №3. С.76–80.

19. Патент РФ 2013134. Газодинамическое устройство тонкого измельчения. Артемьев В.К. 28.02.2008. Бюл. №5

20. Патент РФ №2103070. Способ тонкого или сверхтонкого измельчения полидисперсных частиц кристаллических материалов. Карданов Ю.Х.

21. Захаров Ю.А. Измельчение дисперсных материалов в вихревых мельницах при воздействии акустических колебаний. Автореф. дисс. канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2001. 18 с.

22. Патент РФ № 96109854/03, 14.05.1996. Шостак В. В., Кулаков М. Па. Способ измельчения материалов в потоке энергоносителя и устройство вихревого помола для его осуществления // Патент РФ № 2100082. 1997.

23. Патент РФ № 93053658/33, 06.12.1993. Артемьев В.К.; Карданов Ю.Х. Способ сверхтонкого измельчения материалов // Патент РФ № 2070094. 1996.

24. Основы физики и техники ультразвука. Б. А. Агранат, М. Н. Дубровин, Н. Н. Хавский. М.: Высш. шк., 1987. 352 с.

25. Голдстейн М.Е. Аэроакустика. М.: Машиностроение, 1981. 294 с.

26. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика, Ч.2 М.: Физматгиз, 1963. 728 с.

27. Агранат Б.А. Основы физики и техники ультразвука Москва. Высшая школа, 1987. 352.

28. Кочин Н.Е. Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. М.: Физматгиз, 1963. 728 с.

29. Акунов В.И. Струйные мельницы. Элементы теории и расчета. М.: Государственное

научно-техническое изд-во машиностроительной литературы, 1962. 265 с.

30. Чжен П. Управление отрывном потоком. М.: пер. с англ, Мир. 1979.

31. Антонов А.М. Численное и экспериментальное исследование сверхзвукового обтекания выемки. Автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. физ-мат. наук 1994 г. Москва.

---

**Boychuk I.P., Perelygin D.N.**

**INTEGRATED RESEARCHES OF ACOUSTICAL EXPOSURE ON GAS-DUST FLOW IN THE VORTEX-ACOUSTIC DISPERSER**

*The article deals with the movement of gas-dispersed flow in the chamber of vortex - acoustic disperser. The simulation of the acoustic impact on the course of the swirling flow. It is shown that the acoustic effect for a flow leads to its inhibition. At the same time for the flow in the boundary layer takes oscillatory. Modeling has allowed to establish the nature of the distribution of acoustic oscillations by using single and successive acoustic wave generators, enhances the effect of braking.*

**Key words:** *vortex - acoustic disperser, acoustic impact, the gas flow around the cavity*

---

**Бойчук Игорь Петрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем.

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

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

E-mail: igor\_boichuk@mail.ru

**Перелыгин Дмитрий Николаевич**, старший преподаватель кафедры технологических комплексов, машин и механизмов.

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

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

E-mail: mehanikus@mail.ru



DOI: 10.12737/23799

*Любимый Н.С., аспирант,  
Чепчуров М.С., д-р техн. наук, проф.  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,  
Аверченкова Е.Э., канд. техн. наук, доц.  
Брянский государственный технический университет*

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБУЕМОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗДЕЛИЙ ИЗ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРА НАПОЛНЕННОГО АЛЮМИНИЕМ ПРИ ОБРАБОТКЕ ШЛИФОВАНИЕМ\*

pershin26@yandex.ru

*В настоящее время машиностроительные предприятия все чаще используют новые композиционные материалы для производства деталей, оснастки и ремонта. Одним из таких композиционных материалов является металлополимерный состав с алюминиевым наполнителем. В общем случае он представляет собой эпоксидно-диеновую матрицу наполненную алюминиевым наполнителем. Благодаря своим свойствам текучести в неотвержденном состоянии и твердости и термостойкости в отвержденном, этот материал находит все большее применение в производстве. Ранее проведенные исследования показали возможность использования металлополимерного материала в качестве материала формообразующей детали пресс-формы, так как это значительно снижает стоимость оснастки для литья пластиков. В отличие от сталей режимы механической обработки металлополимера малоизучены, так как материал новый и пока ещё только находит области своего применения. Однако при изготовлении из него формообразующей оснастки пресс-форм, требуется назначать такие технологические операции и режимы обработки, которые позволят получить нужную размерную точность и шероховатость детали. Для обеспечения заданного параметра шероховатости поверхности металлополимерной детали при обработке шлифованием была найдена модель шероховатости поверхности от параметра скорости движения стола и глубины резания.*

**Ключевые слова:** шероховатость, металлополимер, пресс-форма, плоское шлифование, литье пластиков, модель.

**Введение.** Современный мир и конкуренция ставят перед промышленностью цель – создание гибких технологий, обеспечивающих минимальную себестоимость получения изделий. Стремительное развитие науки и техники, создание композиционных материалов [1], в свою очередь позволяет современному машиностроению находить более эффективные и дешевые способы и технологии производства различных деталей, машин и агрегатов. На сегодняшний день применение металлополимерных материалов нашло свое применение не только в качестве ремонтных составов, но и как конструкционных материалов для изготовления деталей машин. Ранее в своих работах авторы доказали возможность изготовления формообразующих деталей пресс-форм из металлополимерного материала [2] для мелкосерийного литья пластиков. Такой способ изготовления позволяет значительно снизить стоимость изготовления оснастки и как следствие стоимость получаемых в ней изделий.

Согласно ГОСТ 27358-87 шероховатость опорных плоскостей разъема пресс-формы должна соответствовать значению  $Ra$  0,80 мкм, а допуск плоскостности опорных плоскостей плит, плоскостей разъема пресс-форм должен

соответствовать 6-й степени точности по ГОСТ 24643, такие качественные характеристики деталей достигаются операцией шлифования на заключительных этапах обработки. Физические процессы при шлифовании, технология шлифования и её оптимизация при обработке стальных изделий описаны в работах В.А. Сипайлова, С.С. Силина, С.Н. Корчака, Л.Н. Филимонова [3, 4, 5, 6]. Обширная работа, проведенная этими учеными касается процессов обработки шлифованием изделий из металлов, но применение имеющихся закономерностей в плане назначения оптимальных режимов шлифования для обработки металлополимерных деталей не будет являться справедливой, так как структура, химические и физико-механические свойства металлополимера отличаются от сталей и сплавов с железом. Отсутствие закономерностей для назначения режимов шлифования металлополимерных деталей пресс-форм не позволяет произвести обработку металлополимерной поверхности смыкания пресс-формы с учетом требуемой шероховатости. Назначение режимов шлифования для обеспечения требуемого качества поверхности [7], в частности шероховатости поверхности, требует нахождения модели процесса шлифования. Так как металлополимерная ком-

позиция при изготовлении деталей пресс-форм используется в качестве материала формообразующей плиты. Заключительной операцией механической обработки является шлифование опорных плоскостей разъема пресс-формы, поэтому необходимо определить параметры скорости перемещения стола  $V_{ст}$  и глубины резания  $t$  при которых шероховатость поверхности будет соответствовать значению  $Ra=0,8$  мкм.

Получение требуемых параметров шероховатости поверхности при обработке плоским шлифованием периферией круга так же необходимо в процессе восстановления при ремонте деталей машин с использованием металлополимера [8].

**Методология.** Для получения зависимости шероховатости поверхности металлополимерного изделия при плоском шлифовании использовался трехфакторный плановый эксперимент.

Обработка результатов эксперимента производилась с использованием лицензионного программного пакета *PlanExp B-D13 v.1.0*.

Подготовка образцов для проведения экспериментальных работ производилась с учетом ранее полученных научных результатов из металлополимера наполненного алюминием [9]. Для снятия измерений использовался поверенный измерительный инструмент.

Для анализа полученной модели использовался математический программный продукт *PTC MathCad Prime 3.1*.

**Основная часть.** При исследовании технологического процесса шлифования металлополимерной детали пресс-формы авторы использо-

вали методику с построением планового эксперимента описанного в [10], в частности трехфакторный плановый эксперимент. В качестве изменяемых параметров были выбраны скорость перемещения стола, глубина резания и ширина шлифовального круга.

Металлополимерные образцы были подготовлены с учетом ранее проведенных исследований, описанных в [11], так как режимы отверждения металлополимерной композиции существенно влияют на физико-механические свойства отвержденного металлополимерного материала и как следствие на результаты эксперимента. Шлифование образцов производилось на плоскошлифовальном станке 3Б722. Так как станок имеет бесступенчатую регулировку скорости перемещения стола, для получения верхнего, нижнего и основного численных значений фактора скорости перемещения стола был произведен замер его скорости перемещения. Были нанесены контрольные риски на рукоятке дроссельного управления скоростью перемещения стола для трех скоростей, отмечена контрольная риска на кожухе и размечен стол с ценой деления 0,1 м. Далее с использованием цифровой камеры была произведена запись движения перемещения стола на трех скоростях и произведен пересчет численного значения скорости перемещения стола в м/мин. На (рис. 1) показана разметка для вычисления значения скорости перемещения стола.



Рис. 1. Разметка оборудования для численного определения значения скорости перемещения стола; а – на кожухе и столе станка; б – на рукоятке дроссельного управления скоростью перемещения стола

В таблице 1 приведены численные параметры для расчета и полученное значение скорости

перемещения стола на трех скоростях  $max$ ,  $min$  и средней.

Таблица 1

**Параметры для расчета величины скорости перемещения стола и её рассчитанное значение**

Положение рукоятки	Время прохождения дистанции 0,5м, мин.	Значение скорости перемещения стола, м/мин
<i>Min</i>	0,05561	8,991
Средняя	0,02722	18,369
<i>Max</i>	0,01798	27,809

Следует отметить, что паспортный диапазон регулировки скорости перемещения стола находится в пределах от 2 до 40 м/мин.

Измерение значений шероховатости поверхности металлополимерного образца после шлифования производилось профилометром *TIME TR110*. Процесс измерения показан на (рис. 2).

При шлифовании использовалось 3 круга ГОСТ 2424-83 диаметром 450 мм и шириной 32 мм, 40 мм и 50 мм, из материала 25А. Скорость круга 35 м/с.

По условиям эксперимента на шероховатость поверхности металлополимерного образца оказывает влияние скорость перемещения стола  $V_{ст}$ , м/мин, ширина круга  $B$  мм. и глубина резания  $t$  мм. Количество повторных опытов при постановке экспериментов определялось с учетом рекомендаций [12].

Для упрощения расчетов использовалась коммерческая лицензионная программа *PlanExp B-D13 v.1.0*. Архитектура программы описана в [13]. Рабочая область окна программы показана на (рис. 3).



Рис. 2. Измерение шероховатости металлополимерного образца профилометром TR110

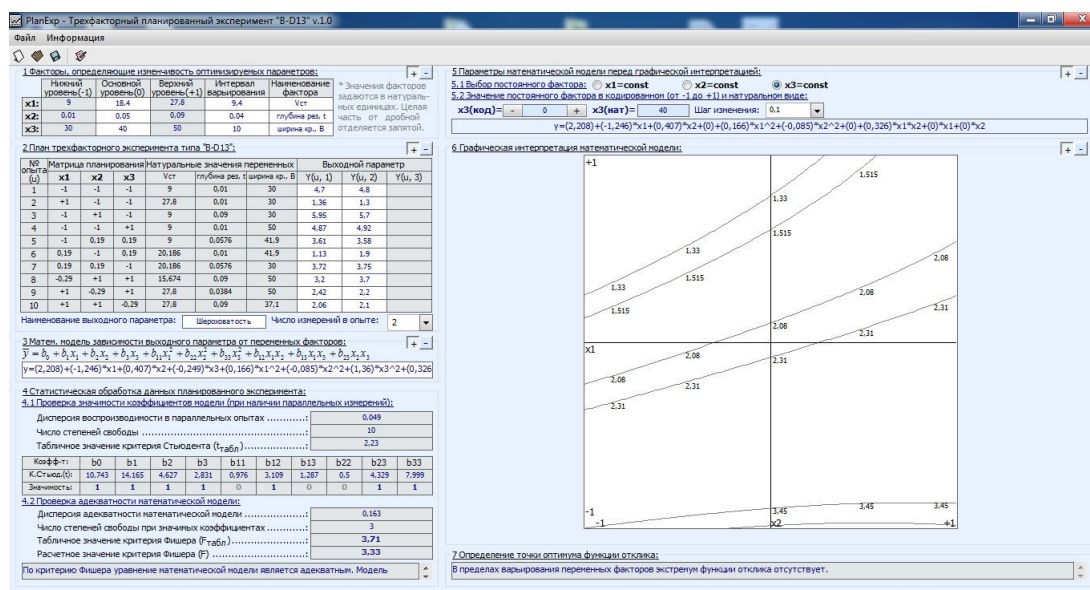


Рис. 3. Рабочее окно программы PlanExp B-D13 v.1.0

Программа позволяет оценить полином следующего вида (1)

$$\bar{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 \quad (1)$$

В разделе 1 программы заносятся факторы параметров, факторы и интервалы их варьирования определяющие изменчивость оптимизируемых показаны в табл. 2.

Таблица 2

#### Факторы и интервалы их варьирования

	Нижний уровень (-1)	Основной уровень (0)	Верхний уровень (+1)	Интервал варьирования	Наименование фактора
x1:	9	18,4	27,8	9,4	Скорость перемещения стола
x2:	0,01	0,05	0,09	0,04	глубина резания
x3:	30	40	50	10	ширина круга

В разделе 2 используемой программы описан план эксперимента типа *B-D13* и выходные

параметры опытов, соответствующие значения показаны в табл. 3.

Таблица 3

План эксперимента и выходные параметры опытов

Номер опыта (u)	Матрица планирования			Натуральные значения переменных			Выходной параметр (Шероховатость)		
	x1	x2	x2	Скорость перемещения стола	глубина рез	ширина кр	y(u, 1)	y(u, 2)	y(u, 3)
1	-1	-1	-1	9	0,01	30	4,7	4,8	
2	+1	-1	-1	27,8	0,01	30	1,36	1,3	
3	-1	+1	-1	9	0,09	30	5,95	5,7	
4	-1	-1	+1	9	0,01	50	4,87	4,92	
5	-1	0,19	0,19	9	0,0576	41,9	3,61	3,58	
6	0,19	-1	0,19	20,186	0,01	41,9	1,13	1,9	
7	0,19	0,19	-1	20,186	0,0576	30	3,72	3,75	
8	-0,29	+1	+1	15,674	0,09	50	3,2	3,7	
9	+1	-0,29	+1	27,8	0,0384	50	2,42	2,2	
10	+1	+1	-0,29	27,8	0,09	37,1	2,06	2,1	

Программа автоматически вычисляет значения коэффициентов уравнения математиче-

ской модели. Значения коэффициентов показаны в табл. 4.

Таблица 4

Коэффициенты уравнения математической модели

b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>11</sub>	b <sub>12</sub>	b <sub>13</sub>	b <sub>22</sub>	b <sub>23</sub>	b <sub>33</sub>
2,208	-1,246	0,407	-0,249	0,166	0,326	0,135	-0,085	-0,454	1,36

Рассчитанная математическая модель зависимости шероховатости поверхности при плоском шлифовании металлополимерного материа-

ла с алюминиевым наполнителем от переменных факторов выглядит следующим образом (2)

$$y = 2,208 - 1,246 * x_1 + 0,407 * x_2 - 0,249 * x_3 + 0,326 * x_1 x_2 + 0,135 * x_1 x_3 - 0,454 * x_2 x_3 + 0,166 * x_1^2 - 0,085 * x_2^2 + 1,36 * x_3^2 \quad (2)$$

Так как в ходе эксперимента производилось параллельное измерение в каждом опыте в количестве двух измерений, существует возможность статистической обработки данных планового эксперимента.

Для оценки значимости коэффициентов необходимо сравнить расчетный коэффициент

Стьюдента  $t$  с табличным  $t_{\text{табл}}$ . В поставленном опыте дисперсия воспроизводимости в параллельных опытах равна 0,049, число степеней свободы 10, а табличное значение критерия Стьюдента  $t_{\text{табл}}=2,23$ . Расчетные значения критерия Стьюдента для каждого коэффициента показаны в табл. 5.

Таблица 5

Критерии Стьюдента и значимость коэффициентов модели (1/0 – значимый / незначимый)

	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>11</sub>	b <sub>12</sub>	b <sub>13</sub>	b <sub>22</sub>	b <sub>23</sub>	b <sub>33</sub>
t-критерий	10,743	14,165	4,627	2,831	0,976	3,109	1,287	0,5	4,329	7,999
Значимость	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1

Из таблицы видно, что незначимыми для полученной модели являются коэффициенты  $b_{11}$ ,  $b_{13}$ ,  $b_{22}$ .

Проверка адекватности математической модели производится по критерию Фишера, при этом дисперсия адекватности математической модели равняется 0,163, а число степеней свободы при значимых коэффициентах 3. Табличное значение критерия Фишера равняется  $F_{\text{табл}}=3,71$ , что больше расчетного  $F=3,33$ , а это значит, что по критерию Фишера уравнение математической модели является адекватным. Модель мо-

жет быть применима для решения производственных задач.

Программный продукт *PlanExp B-D13 v.1.0*, позволяет не только определить математическую модель, но и вычислить математическую модель при фиксировании одного из переменных факторов.

Вычислим математическую модель шероховатости поверхности металлополимера с алюминиевым наполнителем при плоском шлифовании кругом шириной 40мм., так как такой круг наиболее часто используется в производстве. Так для круга шириной  $B=40$ мм, матема-

тическая модель будет выглядеть следующим образом (3)

$$y = 2,208 - 1,246 * x_1 + 0,407 * x_2 + 0,326 * x_1 x_2 + 0,166 * x_1^2 - 0,085 * x_2^2 \quad (3)$$

Исключив незначимые коэффициенты модель примет вид (4)

$$y = 2,208 - 1,246 * x_1 + 0,407 * x_2 + 0,326 * x_1 x_2 \quad (4)$$

В расчете факторного плана значения уровней входных факторов принимаются в кодированном виде. Пересчет заданных натуральных значений факторов производится путем линейной интерполяции значений по формуле (5)

$$x_i = \frac{X_i - x_{0i}}{\Delta X_i} \quad (5)$$

где  $x_i$  – значение  $i$ -го фактора в кодированном виде;  $X_i$  – значение  $i$ -го фактора в натуральном виде;  $\Delta X_i$  – интервал варьирования  $i$ -го фактора;

$$Ra(V_{ст}, t) = 2,208 - 1,246 * \left( \frac{V_{ст} - 18,4}{27,8 - 9} \right) + 0,407 * \left( \frac{t - 0,05}{0,09 - 0,01} \right) + 0,326 * \left( \frac{V_{ст} - 18,4}{27,8 - 9} \right) * \left( \frac{t - 0,05}{0,09 - 0,01} \right) \quad (6)$$

Получив математическую модель зависимости шероховатости поверхности металлополимера от глубины резания и скорости перемещения стола при плоском шлифовании (6), зададим интервал варьирования скорости перемещения

$x_{0i}$  – натуральное значение основного уровня  $i$ -го фактора.

Заменяя кодированные значения уровней входных факторов значениями в соответствии с выражением (5), имеем следующую математическую модель шероховатости поверхности металлополимера с алюминиевым наполнителем при плоском шлифовании кругом шириной 40мм. (6)

стола  $V_{ст} = 2..40$  м/мин. и глубины резания  $t = 0,01..1$  мм. Построим графическую интерпретацию математической модели (рис. 4.), используя математический пакет *PTC MathCad Prime 3.1*.

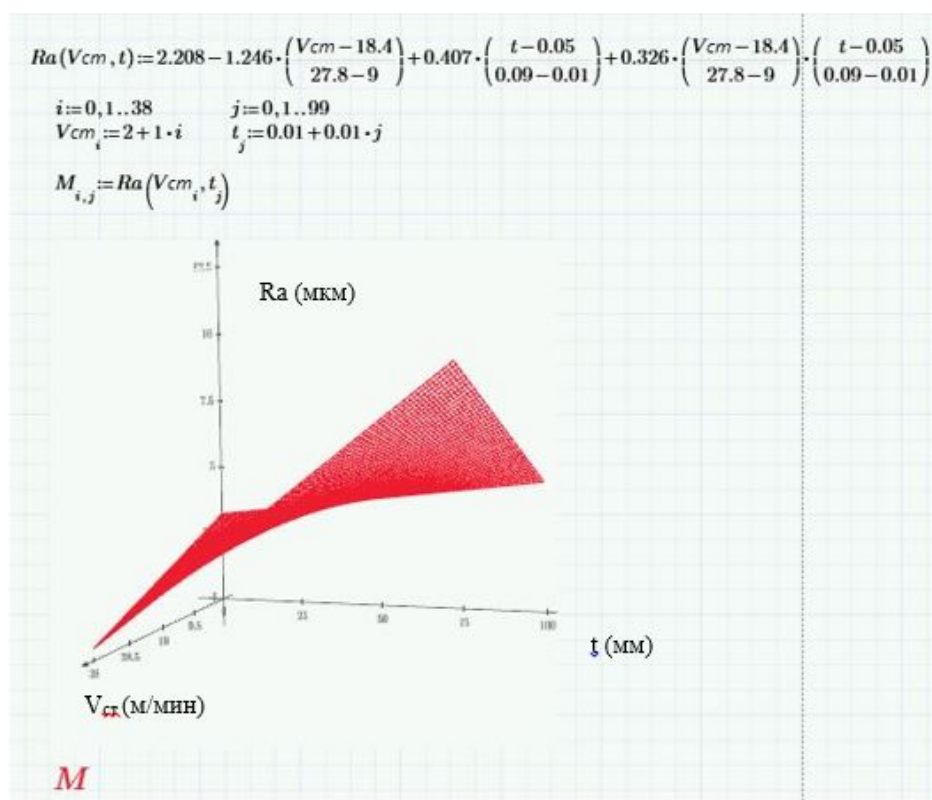
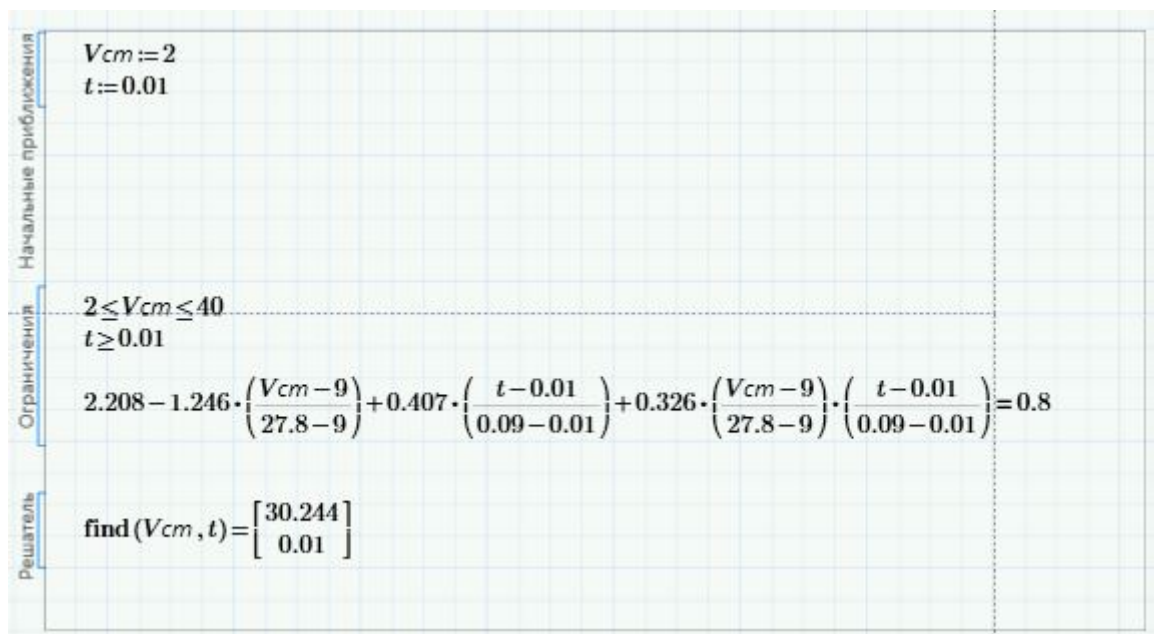


Рис. 4. Графическая интерпретация математической модели шероховатости

Используя блок решения и функцию **find** [14] в PTC MathCad Prime 3.1 вычислим значения скорости перемещения стола и глубины резания при которых шероховатость поверхности металлополимерной детали будет равна 0,8 мкм. Зададим начальные приближения для каждого

параметра  $V_{ст} = 2$ ,  $t = 0,01$ . Запишем уравнение, ограничения и функцию нахождения корней системы. Область листа PTC MathCad Prime 3.1 с введенным блоком решения изображена на (рис. 5).



Рис. 5. Вычисление значений переменных модели для  $Ra=0,8$  мкм

Из (рис. 5) видно, что расчетные значения скорости перемещения стола и глубины резания для  $Ra=0,8$  мкм, равны  $V_{ст}=30,244$  м/мин и  $t=0,01$  мм. Анализ графика (рис. 4), также показывает, что уравнение имеет 1 значение для каждого искомого параметра, удовлетворяющее заданному значению шероховатости.

При обработке конструкционных, углеродистых и легированных сталей с твердостью HRC до 30, для достижения параметра шероховатости не выше  $Ra=0,8$  мкм, согласно [15] рекомендуется использовать следующие режимы резания: скорость круга  $V_{кр}=35$  м/с; Припуск на обработку  $\Delta=0,3..0,35$  мм; поперечная подача для круга 40 мм  $S_{поп}=10$  мм/ход стола; скорость перемещения стола  $V_{ст}=8$  м/мин; глубина резания  $t=0,073$ .

Сравнивая полученное значение параметра скорости перемещения стола для металлополимера и рекомендованное в справочной литературе для легированной стали, можно сделать вывод, что производительность обработки металлополимерной детали несколько ниже чем детали выполненной из легированной стали из-за малой глубины резания. Так для шлифования металлической заготовки длиной 300 мм, шириной 35 мм и припуском на мех. обработку 0,3 мм, требуется 11,25 с. технологического времени, а для обработки металлополимерной заготовки 18 с.

**Выводы.** Полученная модель шероховатости металлополимерной поверхности при плоском шлифовании периферией круга может быть использована для назначения режимов резания: скорости перемещения стола и глубины резания, при обеспечении требуемой шероховатости по-

верхности. В частности при плоском шлифовании опорной плоскости разъема металлополимерной детали пресс-формы, шероховатость которой по ГОСТ 27358-87 должна быть  $Ra$  0,8 мкм, глубина резания  $t=0,01$  мм, а  $V_{ст}=30,244$  м/мин.

Сравнение параметров обработки шлифованием детали из металлополимера и легированной стали при достижении требуемого значения шероховатости, показали, что обработка опорной плоскости разъема детали из металлополимера на 6,75 с дольше, чем аналогичной детали из легированной стали. Увеличение технологического времени на обработку металлополимерной детали существенно не повлияет на себестоимость получаемой детали пресс-формы, так как пресс-форма является штучным изделием. Значительное снижение стоимости изготовления пресс-формы с применением металлополимера многократно превышает увеличение стоимости в связи с увеличением технологического времени шлифования опорной плоскости разъема.

Полученные в ходе исследования результаты могут быть применены на предприятиях занимающихся переработкой пластмасс и инструментальных производствах при подготовке технологической документации на изделия, изготавливаемые из металлополимера с алюминиевым наполнителем. Полученная модель также может быть применена при назначении режимов обработки при плоском шлифовании деталей, поверхности которых были восстановлены с использованием металлополимерной композиции.

*\*Работа выполнена в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-*

технологического комплекса России на 2014–2020 годы» по Соглашению от 27 октября 2015 г. № 14.577.21.0193 «Разработка роботизированного комплекса для реализации полномасштабных аддитивных технологий инновационных материалов, композитов, конструкций и сооружений».

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кербер М.Л. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие / М.Л. Кербер, В.М. Виноградов, Г.С. Головкин и др.; под ред. А.А. Берлина. СПб: Профессия, 2008. С. 560.
2. Першин Н.С., Чепчуров М.С. Изготовление формообразующих деталей прессформ из композиционных материалов // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2015. № 6. С. 76–81.
3. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности. М.: Машиностроение, 1978. 164 с.
4. Силин С.С., Леонов Б.Н., Хрульков В.А. [и др.]. Оптимизация технологии глубинного шлифования. М.: Машиностроение, 1989. 120 с.
5. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей. М.: Машиностроение, 1974. 280 с.
6. Филимонов Л.Н. Плоское шлифование. Л.: Машиностроение, 1985. 108 с.
7. Бихлер М. Детали из пластмасс – отливать без дефектов. Гейдельберг: Цехнер, Шпейер. 1999. С. 112.
8. Ефремов В.В., Кутовой С.С., Агошков А.В. Результаты экспериментального исследования по управлению показателями качества восстановленной поверхности деталей при шлифовании // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 9. С. 131–136.
9. Металлополимеры «ЛЕО». М.: Изд. «ЗАО Металлополимерные материалы ЛЕО», 2013. С. 33.
10. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М.: Машиностроение, 1981. 184 с.
11. Любимый Н.С., Чепчуров М.С. Влияние применения вакуумирования при отверждении металлополимера на его теплопроводность / Междисциплинарные подходы в материаловедении и технологии. Теория и практика: сборник трудов всероссийского совещания заведующих кафедрами материаловедения и технологии материалов // Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. С. 7–14.
12. Бойко А.Ф., Кудеников Е.Ю. Точный метод расчета необходимого количества повторных опытов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 8. С. 128–132.
13. Белов В.В., Образцов И.В., Курятников Ю.Ю. Разработка программно-алгоритмического средства обработки данных трехфакторного планированного эксперимента для расчета математической модели прочности бетона // Программные продукты и системы. 2014. №108. С. 254–259.
14. Очков В.Ф. Mathcad 7 Pro для студентов и инженеров. М.: КомпьютерПресс, 1998. 384 с.
15. Дальский А.М., Суслов А.Г., Косилова А.Г., Мящерилов Р.К. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2. М.: Машиностроение, 2003. 944 с.

Lubimyi N.S., Chepchurov M.S., Averchenkova E.E.

### PROVIDE THE REQUIRED SURFACE ROUGHNESS PRODUCTS FROM METALLOPOLYMERS FILLED WITH ALUMINUM AT PROCESSING GRINDING

Currently, machine-building enterprises are increasingly using new composite materials for the production of parts, accessories and repair. One such material is a metallopolymeric composite structure with an aluminum filler. In general, it is an epoxy-dienoic filled with an aluminum matrix excipient. Owing to its flow properties in the uncured state, and hardness and heat resistance when cured, the material is increasingly used in the production. Previous studies have shown the use of metal-polymer material as the material forming the mold parts, as this significantly reduces the cost of equipment for molding plastics. Unlike steel machining modes metallopolymerinsufficiently studied, because the material is new, and as yet only finds its field of application. However, in the manufacture of it forming tooling molds required to appoint such process steps and processing modes, which will provide the required dimensional accuracy and surface roughness detail. For a given parameter surface roughness of a metallopolymeric in the processing of grinding was found model of the surface roughness of the parameter rate table movement and the depth of cut.

**Key words:** roughness, metallopolymerins, the mold, surface grinding, molding plastics, simulator.



**Любимый Николай Сергеевич**, аспирант кафедры технологии машиностроения.  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
E-mail: pershin26@yandex.ru

**Чепчуров Михаил Сергеевич**, 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: avtpost@mail.ru

**Аверченкова Елена Эдуардовна**, кандидат технических наук, доцент кафедры экономики.  
Брянский государственный технический университет.  
Адрес: Россия, 241035, Брянск, ул. бул.50-лет Октября, д. 7.  
E-mail: lena\_ki@inbox.ru

# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

DOI: 10.12737/23534

Кузнецов В.А., д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

## ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЕНИЯ И ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ОБЖИГЕ КЕРАМЗИТА ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ

kouz@intbel.ru

Разработана математическая модель и составлена компьютерная моделирующая программа, с помощью которой выполнено численное исследование горения природного газа и теплообмена при обжиге керамзита во вращающейся печи. Рассмотрен режим тепловой работы печи, при котором достигаются наилучшие условия теплоотдачи диффузионного факела и вспучивания обжигаемых гранул.

**Ключевые слова:** численное моделирование, диффузионный факел, радиационно-конвективный теплообмен, обжиг керамзита.

Керамзитовый гравий получают обжигом легкоплавкой глины при температуре ниже 1200 °С. Снижение плотности керамзита, улучшающее его теплоизоляционные свойства, достигается созданием в конце процесса обжига "теплового удара", который приводит поверхностные слои гранул в пластичное состояние при одновременном интенсивном расширении внутри них газообразующих органических примесей или нефтяных отходов.

Во вращающихся печах, где сырьевые гранулы обжигаются в объеме слоя, практически не ограниченного стенками, результаты процесса их вспучивания и, следовательно, качество керамзита непосредственно зависят от условий горения топлива. Чтобы получать керамзитовый гравий с более низкой плотностью, необходимо обеспечивать в зоне вспучивания максимально возможный поток излучения топливного факела на слой обжигаемых гранул.

В настоящее время в качестве топлива во вращающихся печах чаще всего используют природный газ. Так как форма, длина и положение факела горящего топлива скрыты футерованным вращающимся корпусом печи, а теоретический расчет оптимальных теплотехнических условий вспучивания в ней гранул затруднен, то горелочные устройства для обжига керамзита специально не разрабатывают, применяя, как правило, горелки, первоначально предназначенные для других технологических целей [1]. При этом воздух подается на горение непосредственно через каналы горелки, а теплота, уносимая из печи обожженным керамзитом, не используется для его нагрева.

Известно, что длина диффузионного факела, который образуется при раздельной подаче в печь природного газа и воздуха, изменяется приблизительно пропорционально диаметру сопла горелки и уменьшается с увеличением скорости вылета из него топлива. Обычно различают два вида диффузионных факелов – короткий "жесткий" факел, образующийся при высокой (свыше 300 м/с) скорости вылета природного газа, и длинный "вялый" факел, образующийся при пониженной скорости вылета топлива. Численное моделирование [2] показало, что основной фактор, вызывающий их различие, это воздействие выталкивающей силы на неизотермический поток газов. "Вялый" факел поднимается вверх под воздействием выталкивающей силы и стелется по футеровке печи, создавая недожог топлива из-за плохого смешения его с воздухом. В коротком "жестком" факеле все топливо сгорает в рабочем пространстве печи, не соприкасаясь с ее стенами. Так как тепловыделение в жестком факеле сосредоточено на небольшом участке по длине печи, есть основания полагать, что короткий жесткий факел более пригоден для создания "теплового удара" при обжиге гранул керамзита.

Исследовать тепловую работу вращающейся печи возможно с помощью математического моделирования взаимосвязанных процессов горения топлива и радиационно-конвективного теплообмена при турбулентном движении воздуха и газообразных продуктов горения. Специально разработанная математическая модель и моделирующая компьютерная программа позволили поставить численные эксперименты с це-

люю поиска эффективных эксплуатационных условий обжига керамзита [3].

Математическая формулировка поставленной задачи выполнялась с помощью дифференциальных уравнений в частных производных, записанных в цилиндрической системе координат  $x, r, \varphi$ . Для каждого дифференциального уравнения формулировались граничные условия. Кроме того, в процессе численного эксперимента приходилось рассчитывать и уточнять физические свойства газообразной среды и тех-

нологического материала, изменяющиеся в процессе нагрева, обжига и вспучивания гранул.

Трехмерная математическая модель учитывала наличие слоя обжигаемого материала, скользящего по футеровке и заполняющего собой часть поперечного сечения печи, по форме приближающуюся к сегменту. Стационарное горение природного газа в диффузионном факеле, в котором скорость химических реакций многократно превышает интенсивность диффузионного и турбулентного смешения топлива и воздуха, моделировалось дифференциальными уравнениями переноса компонентов горения:

$$\frac{\partial \rho u c_T}{\partial x} + \frac{\partial \rho v c_T}{r \partial r} + \frac{\partial \rho w c_T}{r \partial \varphi} - \frac{\partial}{\partial x} \left( \rho D_{эф} \frac{\partial c_T}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial r} \left( r \rho D_{эф} \frac{\partial c_T}{\partial r} \right) - \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( r \rho D_{эф} \frac{\partial c_T}{\partial \varphi} \right) = -M_T,$$

$$\frac{\partial \rho u c_B}{\partial x} + \frac{\partial \rho v c_B}{r \partial r} + \frac{\partial \rho w c_B}{r \partial \varphi} - \frac{\partial}{\partial x} \left( \rho D_{эф} \frac{\partial c_B}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial r} \left( r \rho D_{эф} \frac{\partial c_B}{\partial r} \right) - \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( r \rho D_{эф} \frac{\partial c_B}{\partial \varphi} \right) = -M_B$$

где  $c_T, c_B$  – массовые концентрации соответственно топлива и воздуха, кг/кг газов;  $u, v, w$  – продольная, радиальная и окружная компоненты скорости, м/с;  $\rho$  – плотность газов, кг/м<sup>3</sup>;  $D_{эф}$  – эффективный коэффициент диффузии, учитывающий молекулярный и турбулентный перенос, м<sup>2</sup>/с;  $M_T, M_B$  – массы соответственно топли-

ва и воздуха, вступивших в реакции горения, кг/(м<sup>3</sup>с).

Чтобы исключить из правой части этих уравнений величины, неизвестные при диффузионном горении, в математической модели применено дифференциальное уравнение для расчетной концентрации  $C$  [4]:

$$\frac{\partial \rho u C}{\partial x} + \frac{\partial \rho v C}{r \partial r} + \frac{\partial \rho w C}{r \partial \varphi} - \frac{\partial}{\partial x} \left( \rho D_{эф} \frac{\partial C}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial r} \left( r \rho D_{эф} \frac{\partial C}{\partial r} \right) - \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( r \rho D_{эф} \frac{\partial C}{\partial \varphi} \right) = 0,$$

$$C = c_T - c_B / n_B,$$

где  $n_B$  – стехиометрическое массовое соотношение топлива и воздуха в реакциях горения.

По результатам численного решения дифференциального уравнения для расчетной концентрации  $C$  находились концентрации топлива  $c_T$  и воздуха  $c_B$ , после чего, с помощью первого из приведенных выше дифференциальных уравнений, определялось распределение вдоль фронта пламени массы сгоревшего топлива  $M_T$ , которая применялась затем для расчета тепловыделения в диффузионном факеле. Математическая модель обжига керамзита содержала также дифференциальное уравнение, позволяющее учитывать изменение концентрации водяного пара в смеси газов при испарении влаги из поступающих в печь сырьевых гранул. Граничные условия к дифференциальным уравнениям переноса количества вещества формулировались с учетом непроницаемости стен печи для газообразных компонентов горения.

Четыре дифференциальных уравнения моделировали поля компонентов скорости и давления упрощенным методом, подробно изложенным в [5]. При этом турбулентная вязкость и параметры турбулентного переноса определя-

лись двумя дифференциальными уравнениями стандартной диссипативной модели турбулентности [6]. Наконец, результаты переноса излучения в селективной газообразной среде и температурные поля при радиационно-конвективном теплообмене находились усовершенствованным методом численного решения трех дифференциальных уравнений [5].

Граничные условия к дифференциальным уравнениям теплообмена задавались, исходя из баланса потоков теплоты, подводимой к стенам печи и отводимой через них в окружающую среду. При расчете температуры внутренней горячей поверхности стен определялись тепловые потоки к ним от газов конвекцией и излучением. Учитывалось также прямое переизлучение футеровки на обжигаемый материал и температурные скачки, возникающие в ней при периодическом поступлении вращающихся стен под слой керамзита.

В качестве объекта численного моделирования выбрана вращающаяся печь длиной 40 м с диаметром корпуса 2,5 м при толщине шамотной футеровки 230 мм и угле наклона продольной оси печи к горизонту 3,5°. Производитель-

ность по керамзиту задана равной 7 т/ч при расходе природного газа 800 м<sup>3</sup>/ч с теплотой сгорания 34800 кДж/м<sup>3</sup>. Воздух, нагретый до 320 °С, подавался по всему свободному поперечному сечению печи при коэффициенте избытка 1,1. Влажность глиняных гранул, поступающих в печь, принята равной 11 %.

Для численного решения на персональном компьютере системы из двенадцати дифференциальных уравнений в более чем 200 тысячах узлов сетки методом полинейной прогонки потребовалось выполнить до 20 тысяч итераций, что обеспечило высокую точность вычисления параметров газообразной среды по всему объему печи. Температура обжигаемого керамзита определялась без учета неравномерности прогрева гранул. Теплоемкость материала гранул  $c_{\text{мат}}$  вычислялась в зависимости от средней температуры слоя керамзита  $t$ , °С:

$$c_{\text{мат}} = 735 + 0,5t - 0,000074t^2.$$

Результаты численных экспериментов представлены в памяти компьютера в виде таб-

лиц, содержащих значения физических величин в каждом узле сетки. Это, прежде всего, компоненты скорости, давление и температура газообразной среды, параметры турбулентности, тепловые и радиационные потоки, состав, плотность и теплоемкость газов. Анализ численных результатов позволяет детально исследовать процессы движения газов, горения и теплообмена, составляющие в совокупности тепловую работу обжиговой печи.

Компьютерная палитра цветовых оттенков, соотнесенная с вычисленными значениями температуры и концентрации топлива, помогает наглядно изобразить диффузионный факел горящего природного газа на экране монитора. Установка курсора компьютерной "мыши" на любой точке расчетной области приводит к появлению на экране локальных значений концентрации топлива и воздуха, скорости газов, температуры газообразной среды и слоя керамзита. Представление о форме и размерах диффузионного факела в обжиговой печи дает его графическое изображение на рис. 1.

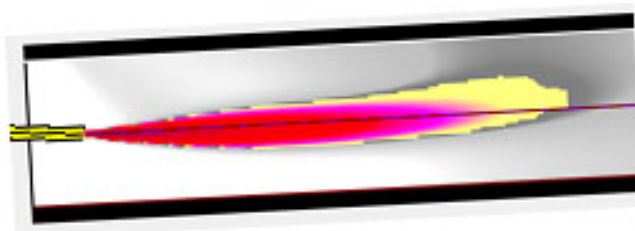


Рис. 1. Диффузионный факел в обжиговой печи при скорости вылета топлива 434 м/с и угле наклона горелки 3,5°

Чтобы создать короткий "жесткий" факел, в математической модели предусматривалась подача природного газа с высокой скоростью 434 м/с через четыре сопла, занимающих часть окружности кольцевой щели, внутренний и наружный диаметры которой равнялись соответственно 100 и 107,2 мм. Выходное сопло горелки располагалось на расстоянии 800 мм от обреза печи. Угол наклона горелки мало сказывается на теплоотдаче "жесткого" факела, поэтому в данном случае выбран простейший вариант – горизонтальное положение горелки, при котором угол ее наклона к продольной оси печи составляет 3,5°. Как показывает изображение факела на рис. 1, топливо сгорает полностью на участке печи длиной 7,3 м.

На рис. 2 представлены расчетные распределения средней температуры слоя обжигаемых гранул и средней температуры газообразной среды по длине вращающейся печи, соответствующие диффузионному факелу, изображенному на рис. 1.

Согласно кривой 1, после поступления влажных гранул в печь происходит их сушка при температуре 100 °С на участке длиной 9 м. Затем осуществляется нагрев слоя до максимальной температуры, в области которой поверхностные слои гранул переходят в пластичное состояние и осуществляется вспучивание керамзита. Наконец, в горячем конце печи на участке длиной 5 м происходит охлаждение керамзита до температуры ниже 800 °С воздухом, подаваемым в печь.

Кривая 2 показывает распределение по длине печи средней температуры газов, достигающей 1600 °С при заданном избытке воздуха. Максимальная расчетная температура горения в отдельных узлах сетки составляет при этом 1900...2000 °С. Расчетная температура газов на выходе из вращающейся печи 488 °С хорошо согласуется с ее эксплуатационными значениями, что подтверждает корректность примененного метода численного моделирования радиационного переноса теплоты в селективной газовой среде.

Как известно, локальная величина давления уменьшается с повышением скорости потока газов. Математическое моделирование показало, что топливная струя создает в печи столь высо-

кое разрежение, так что давление в горячей части печи оказывается заметно ниже, чем на выходе из нее газов. Рис. 3 представляет разность этих давлений вблизи стен обжиговой печи.

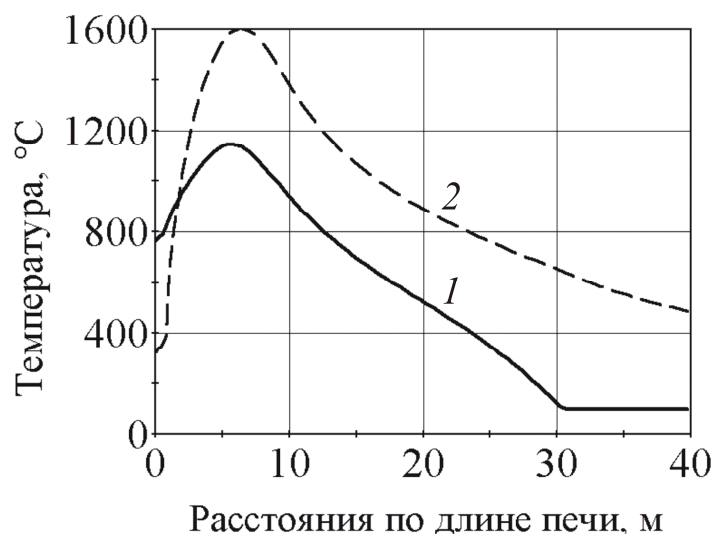


Рис. 2. Расчетная средняя температура слоя обжигаемых гранул (1) и газов (2) в поперечных сечениях обжиговой печи при горении природного газа в коротком "жестком" факеле

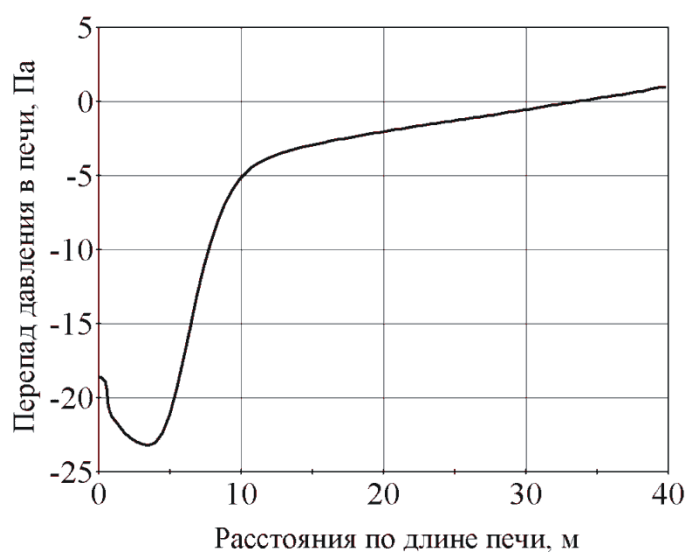


Рис. 3. Разность давлений в расчетном поперечном сечении и на выходе из печи

Кривая на рисунке показывает резкое понижение давления в области диффузионного горения, что позволяет сделать вывод, что основной присос в печь холодного атмосферного воздуха происходит на ее горячем конце в тех случаях, когда воздух подается на горение непосредственно через каналы горелки. Представляется более разумным употребить разрежение, создаваемое горелкой, на преодоление сопротивления шахтного холодильника керамзита при подаче горячего воздуха в печь по всему ее свободному поперечному сечению, имея в виду, что любой неконтролируемый присос холодного воздуха в горячей части печи неизбежно приве-

дет к увеличению удельного расхода топлива на производство керамзита.

Таким образом, можно полагать, что изученные численно процессы диффузионного горения природного газа и радиационно-конвективного теплообмена соответствуют оптимальному режиму обжига керамзита, при котором расход топлива во вращающейся печи близок к минимальному. Для реализации параметров оптимальной тепловой работы вращающейся печи необходимо осуществлять подогрев подаваемого на горение воздуха за счет охлаждения им готового керамзитового гравия, приводить к минимуму неконтролируемые присосы

атмосферного холодного воздуха в горячей части печи и применять горелочные устройства с высокой скоростью вылета природного газа, обеспечивающей формирование в печи короткого высокотемпературного факела.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пышкин А.С., Милушкин А.К. Применение автоматизированных горелок для обжига керамзитового гравия во вращающихся печах // Промышленная энергетика. 2012. № 11. С. 18–20.
2. Кузнецов В.А., Рязанцев О.А., Трулев А.В. Численное моделирование горения и теплообмена в цементной вращающейся печи // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 4. С. 161–164.
3. Або Альзахаб О. Численное исследование теплообмена при обжиге керамзита во вращающейся печи // Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. Белгород, 2016. С. 1–5.
4. Сполдинг Д.Б. Основы теории горения. М.: Госэнергоиздат, 1959.
5. Kuznetsov V. Mathematic Simulating Processes in High-Temperature Plants. Saarbrücken: Scholars' Press, 2015.
6. Пейтел В.К., Роди В., Шойерер Г. Модели турбулентности для течений в пристеночной области с малыми числами Рейнольдса // Аэрокосмическая техника. 1986. № 2. С. 184–197.

---

**Kuznetsov V.A.**

### NUMERICAL RESEARCHING THE COMBUSTION AND HEAT TRANSFER WHILE HAYDITE BURNING IN A ROTARY KILN

*A mathematical model has been elaborated and a computer simulating program has been made up with the help of which a numerical researches were fulfilled for natural-gas combustion and the heat transfer in a rotary kiln while haydite burning. Its thermal operation was considered to find the best conditions of heat transfer from the diffusion flame to expanding calcined granules.*

**Key words:** numerical simulating, diffusion flame, heat transfer by radiation and convection, haydite burning.

---

**Кузнецов Валерий Алексеевич**, доктор технических наук, профессор кафедры энергетика теплотехнологии. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46  
E-mail: kouzn@intbel.ru

Соснина О.А., канд. техн. наук, доц.,  
Бирюкова А.О., магистрант

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

## РАЗРАБОТКА ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ И ЧЕРТЕЖЕЙ ДЛЯ СТАНКА С ЧПУ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АРХИТЕКТУРНОГО МАКЕТА

leviathana@yandex.ru

При создании архитектурного или промышленного объекта необходимо изготовить его предварительную модель, которая с максимальной точностью будет повторять спроектированное сооружение. Макетирование дает возможность поиска недоработок и неточностей, помогает сформировать объемно-пространственное видение и архитектурно-образное мышление. Также макетирование демонстрирует новые функции уже созданных архитектурных объектов. Одним из таких объектов является «Нижегородская канатная дорога». В данной статье описана технология проектирования макета для демонстрации обновленной системы освещения на опорах канатной дороги.

**Ключевые слова:** макетирование, архитектурный макет, трехмерное моделирование, чертеж, нарезка на станке с ЧПУ.

**Введение.** Макетирование – проектно-исследовательское моделирование, направленное на получение наглядной информации о свойствах проектируемого изделия в форме объемного изображения. Макет дает сведения о пространственной структуре, размерах, пропорциях, пластике (топологии) поверхностей, цветовом и фактурном решении и прочих особенностях изделия [1].

Макет развивает объемно-пространственное видение и архитектурно-образное мышление. Он помогает выявить общие композиционные закономерности, уточняет пропорции, соотношение членений, помогает найти противоречия в объемно-пространственном решении композиции и определить пути их устранения [2].

Рабочий макет дает возможность наглядно представить свои идеи и свободно оперировать объемами и пространством [3].

### Основная часть

Архитектурный макет «Нижегородская канатная дорога» предназначен для выставочного показа с целью демонстрации обновленного освещения на опорах дороги.

Архитектурный макет высокой детализации должен соответствовать следующими характеристикам:

- Масштаб макета 1:25.
- Макет должен иметь витрину (пылезащитный прозрачный короб) с креплениями. Витрина используется для защиты макета от внешнего повреждения.
- Макет размещается на столе. Стол используется для вывоза и дальнейшей экспозиции макета на мероприятиях.
- Макет оснащен подсветкой на разных ярусах опорных конструкций.

- Для комфортной транспортировки макета предусматривается изготовление транспортной тары (кофр).

Общая концепция макета включает в себя наличие берега с Борской стороны реки Волга и острова. На берегу и острове располагаются две опоры, между которыми натянуты два основных каната и страховочный канат (линия безопасности), на которых располагаются четыре кабины. Опора на острове должна стоять на цилиндрических бетонных блоках, опора на берегу г. Бор должна стоять на кубических бетонных блоках. Оба берега должны иметь имитацию бетонного берегоукрепления. На каждой опоре размещаются по два роликовых балансира с каждой стороны. Балансиры размещаются под углом друг к другу, имитируя двухскатную крышу дома. На балках верхней части опор необходимо расположить анемометры. Основные фонари должны быть расположены таким образом, чтобы была освещена вся опора. Сигнальные огни красного цвета размещаются на смотровой площадке и на балках верхней части опоры. Все элементы подсветки должны гореть одновременно.

Для изготовления макета предоставляются чертежи кабины канатной дороги и чертеж роликового балансира опоры, а также фото объектов макета. Исходные данные представлены на рисунке 1.

Трехмерное моделирование позволяет создать модель высокой детализации, максимально приближенную к реальности. В трехмерную модель можно с легкостью вносить практически любые изменения [4].

Разработка трехмерной модели выполняется с использованием системы автоматизированного проектирования «AutoCAD».



«AutoCAD» – двух- и трёхмерная система автоматизированного проектирования и черче-

ния, разработанная компанией «Autodesk»[5].

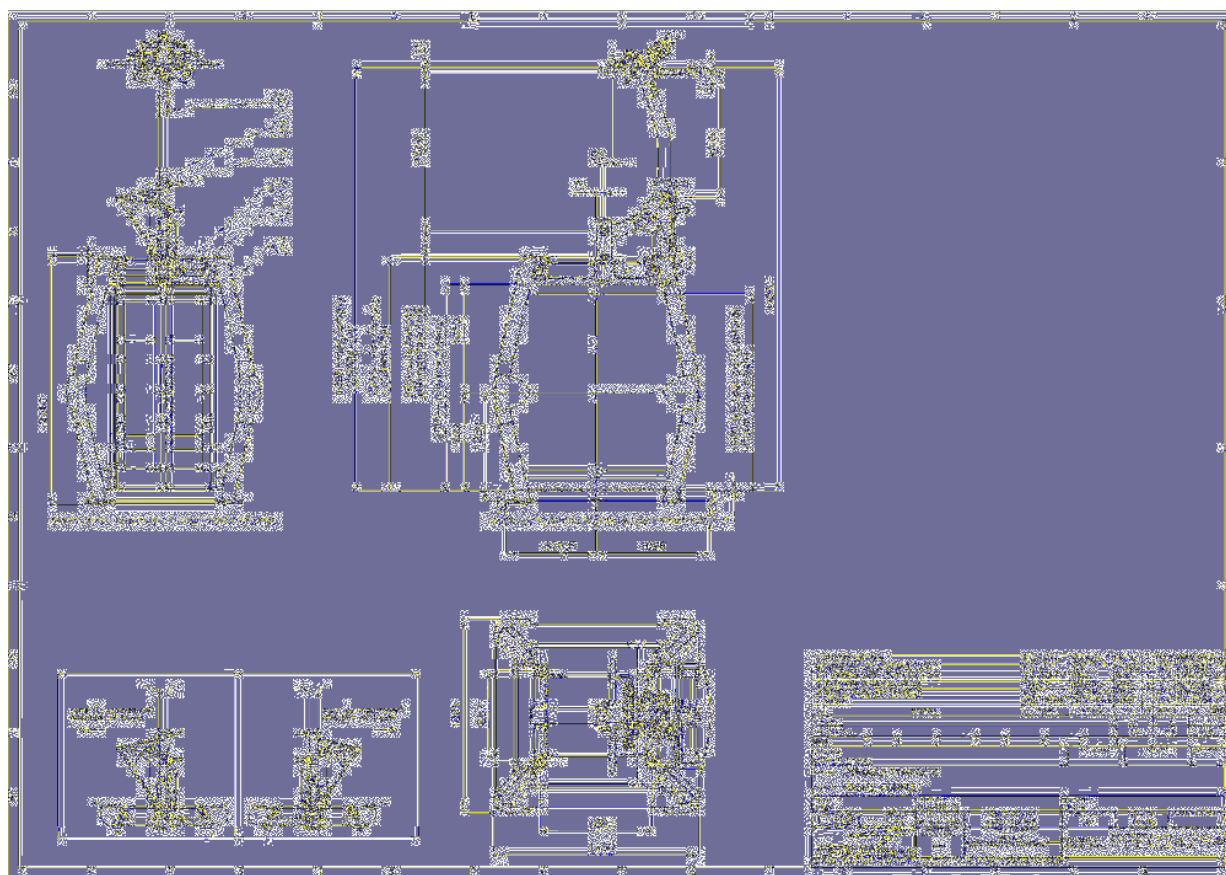


Рис. 1. Чертеж кабины канатной дороги

Механизм пространства листа и видовых экранов дает возможность разрабатывать чертежи с видами и проекциями трехмерных объектов, построенных в пространстве модели. В системе «AutoCAD» по одной модели можно получить несколько листов чертежного документа [6].

#### **Описание трехмерного моделирования**

Первым этапом выполняется построение основного элемента макета – кабины. Для получения правильной формы выполняется построение трех сечений кабины (дно, середина, крыша). Затем, используя операцию «Ллофт», соединяются три сечения кабины. Далее на модели добавляются сопряжения. Для последующего текстурирования необходимо добавить дополнительные элементы, чтобы разграничить стекло и металлический корпус кабины. После этого необходимо добавить к модели мелкие элементы, такие как ступени и верхний крепеж. Данные элементы получаются с помощью операции «Выдавить» из двумерных деталей. Для получения элемента модели – пружины – выполняется построение элемента «Спираль» и последующий сдвиг окружности по пути спирали. Модель кабины показана на рисунке 2.

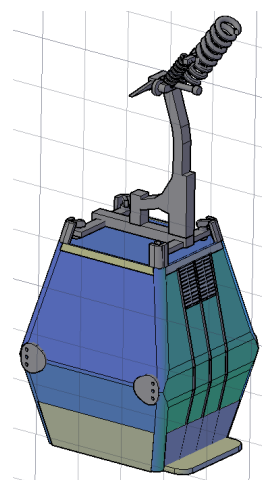


Рис. 2. Модель кабины канатной дороги

Следующим основным элементом модели является опора. Данный элемент выполняется с помощью примитивов «Цилиндр». Для построения несущего каркаса используется операция «Ллофт». Верхние части опор выполняются с помощью операции «Выдавить» из двумерных деталей. Модель опоры представлена на рисунке 3.

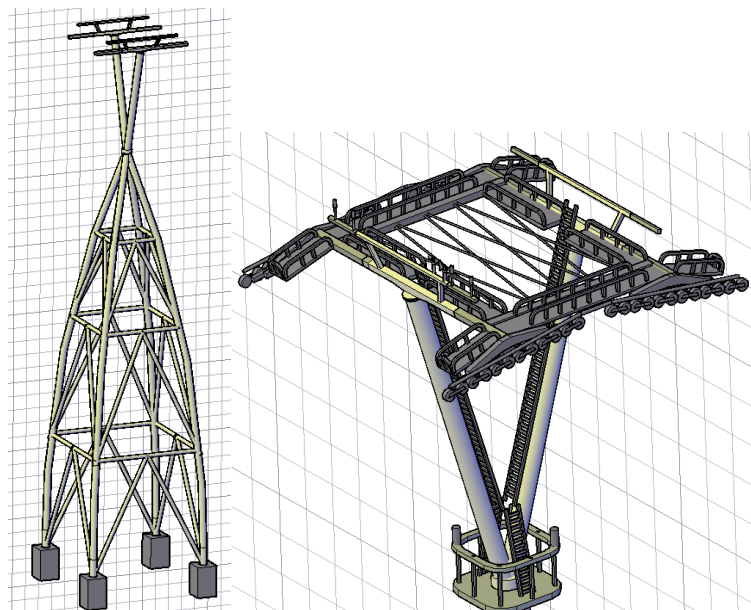


Рис. 3. Модель опоры канатной дороги

Для крепления кабин между опорами необходимо разработать канаты. Построение канатов выполняется с использованием сплайнов. Для придания данным элементам объема выполняется операция «Сдвиг» окружности по пути сплайна.

В организации композиции формообразующую роль играют не только составляющие ее элементы, но и подмакетник. Размер подмакетника определяет силу воздействия композиции на пространство организуемой подосновы. Из-

меняя размеры подмакетника, можно видеть, как меняется восприятие характера композиции: в одних случаях это ощущения напряженности, неустойчивости, в других – спокойствия, статичности [7].

На подмакетнике располагается береговая линия города Бор, а также остров, имеющий полукруглую форму. Берега также выполняются операцией «Сдвиг». Модели островов отображены на рисунке 4.

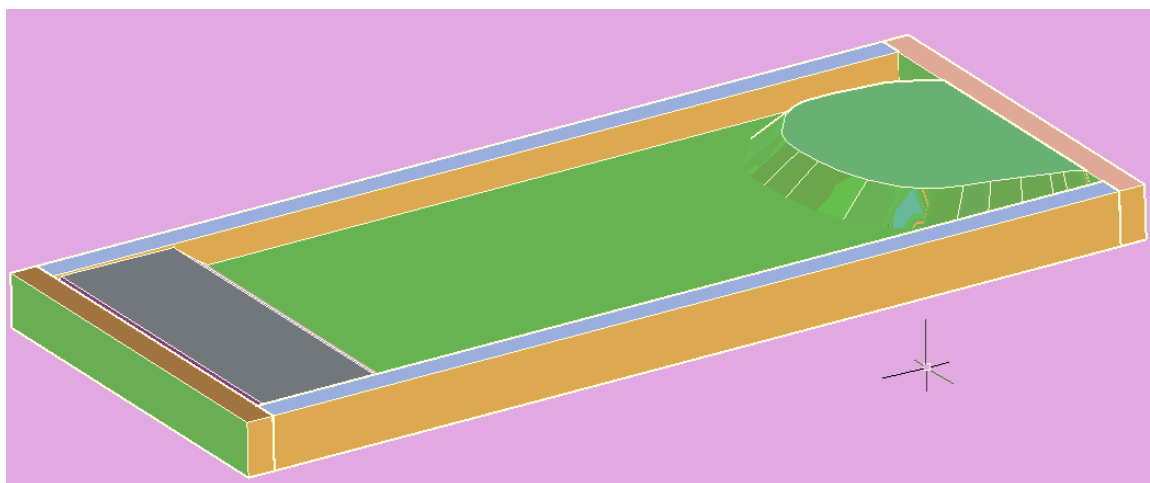


Рис. 4. Расположение островов на подмакетнике

Окончательное представление моделируемой сцены зависит от правильно подобранных и отлаженных материалов. Без этого объекты не смогут выглядеть естественно [8].

Текстурирование выполняется на основании того, какие материалы будут использоваться для выполнения макета. Подмакетник имеет белый цвет, металлические опоры серого цвета, кабина

белого цвета с использованием тонированной пленки для имитации стекол. На берегах необходимо предусмотреть имитацию песка.

После завершения этапа текстурирования и освещения, выполняется визуализация модели. Визуализация – это процесс создания изображения из компонентов сцены [9].

На фон добавлена текстурная карта неба для большей наглядности элементов макета.

Финальное изображение макета, демонстрирующее общий план, показано на рисунке 5.

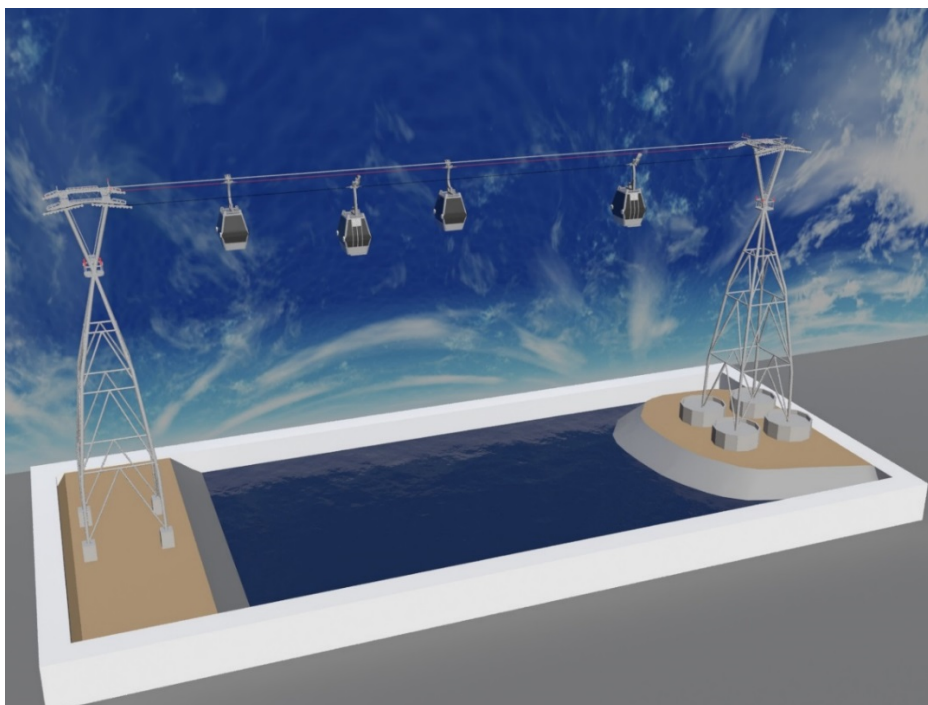


Рис. 5. Финальная визуализации модели макета

Следующим этапом работы является разработка чертежей для последующей нарезки на станке с ЧПУ.

В работе используется фрезерно-гравировальный станок с ЧПУ *BL M6090*.

Он предназначен для высококачественного фрезерования и гравирования поверхностей деталей и заготовок по плоскости (программное обеспечение 2D) и в трехмерном пространстве (3D-фрезерование). Виды обрабатываемых материалов: древесина мягких и твердых пород, композитные материалы (ДСП, ДВП, МДФ), любые полистиролы (в том числе ПВХ и полистиролы с поликарбонатом, модельный пластик [10].

При использовании данного станка возможны два типа нарезки: двумерная и трехмерная. Детали кабины состоят из разных материалов, поэтому необходимо выполнить двумерную нарезку для последующей сборки деталей вручную. Двумерная нарезка также является более приемлемой в данном случае, так как существенно экономится материал.

Необходимо разделить детали кабины на плоскостные элементы, после этого над каждой деталью указать материал и количество, а при необходимости – линию гравирования. Пример для нарезки основных элементов кабины показан на рисунке 6.



Рис. 6. Пример нарезки основных элементов кабины

Аналогичным образом выполняется чертежи для остальных деталей макета.

Для создания хорошего макета необходим качественный подбор используемых материалов и инструментов, что является залогом успеха в изготовлении макетов [11].

Нарезку деталей следует осуществить из двухслойного пластика для гравировки «SHENGWEI». Он состоит из двух слоев разного цвета: основы и верхнего слоя. Основа – это



упругий жесткий АБС-пластик: черный, белый, либо прозрачный. Верхний слой может иметь различное цветовое исполнение, различную фактуру и степень глянца.

Основным материалом для изготовления остальных элементов макета является пластик ПВХ.

ПВХ-пластики (поливинилхлорид) являются сегодня наиболее распространенными полимерными материалами, применяемыми в рекламе, поскольку они существенно водостойки, благодаря чему изделия из них защищены от деформации. Другое достоинство таких пластиков – очень низкая пожароопасность и трудногорючесть [12].

Поскольку в рамках масштаба макета кабина получается небольшого размера, отсутствует необходимость прорабатывать мельчайшие детали макета. Таким образом, двери на кабину выполняются плоттерной резкой на пленке «Oracal».

Плоттерная резка представляет собой технологию точного воспроизведения векторного компьютерного изображения на самоклеящемся материале, бумаге, картоне, пластике [13].

Для защиты макета от повреждений и загрязнения необходимо изготовить защитный короб из органического стекла.

Стекло органическое (оргстекло) – техническое название оптически прозрачных твердых материалов на основе органических полимеров (полиакрилатов, полистирола, поликарбонатов, сополимеров винилхлорида с метилметакрилатом и др.) [14].

Для нарезки оргстекла используется лазерная резка. Преимущества лазерной обработки по сравнению с другими методами заключаются в следующем: химическая чистота, контролируемые профиль температуры, форма зоны и глубина теплового воздействия; незначительная дополнительная механическая обработка; бесконтактность действия и простота автоматизации [15].

После этапа нарезки и сборки всех основных и второстепенных элементов макета производится шлифовка, покраска деталей. Кроме того, наибольшая реалистичность макета достигается за счет использования архитектурного песка для текстуризации берегов и эпоксидной смолы для имитации водной поверхности.



Рис. 7. Фото готового изделия

**Вывод.** Рассмотрена общая концепция проектирования макета, при которой была создана

трехмерная модель изделия и разработаны чертежи для нарезки на станке с ЧПУ.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Макетирование [Электронный ресурс]. URL: [http://studopedia.ru/10\\_113176\\_maketirovani\\_e.html](http://studopedia.ru/10_113176_maketirovani_e.html) (дата обращения: 24.05.2016)
2. Баишева Т.А., Марьин С.Н. Макетирование в дизайне среды. [Электронный ресурс]. URL: [http://abc.vvsu.ru/Books/maket\\_v\\_diz/page0001.asp](http://abc.vvsu.ru/Books/maket_v_diz/page0001.asp) (дата обращения: 30.11.2016)
3. Калинин Ю.М., Перькова М.В. Архитектурное макетирование: Учебное пособие. Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. 117 с.
4. 3D-моделирование в компьютерных программах [Электронный ресурс]. URL: <http://www.itshop.ru/3D-modelirovanie-v-kompyuternyh-programmah/19i29504> (дата обращения: 03.12.2016)
5. «Autodesk» – разработка САПР и ГИС [Электронный ресурс]. URL: <http://www.autodesk.ru/> (дата обращения: 24.05.2016)
6. Полищук Н.Н. Самоучитель AutoCAD 2014. СПб.: БХВ-Петербург, 2014. 464 с.
7. Калинин Ю.М., Перькова М.В. Архитектурное макетирование: Учебное пособие. Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. 117 с.
8. Горелик А.Г. Самоучитель 3ds Max 2014. СПб: БХВ-Петербург, 2014. 544 с.
9. Смит Л.Б. Архитектурная визуализация в Autodesk 3ds Max. М.: Вильямс, 2006. 576 с.
10. Фрезерно-гравировальный станок с ЧПУ В1 М6090 [Электронный ресурс]. URL: [http://www.toolplus.ru/shop/stanki\\_dlya\\_proizvodstva\\_mebeli/frezernye\\_stanki\\_s\\_chpu/frezernogravirovalnyj\\_stanok\\_s\\_chpu\\_bl\\_m6090/](http://www.toolplus.ru/shop/stanki_dlya_proizvodstva_mebeli/frezernye_stanki_s_chpu/frezernogravirovalnyj_stanok_s_chpu_bl_m6090/) (дата обращения: 24.05.2016)
11. Сотников Б.Е., Евдокимова Н.А. Макетирование [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://venec.ulstu.ru/lib/disk/2008/Sotnikov.pdf> (дата обращения: 03.12.2016)
12. Бердышев С.Н. Эффективная наружная реклама. М.: Дашков и К°, 2012. 132с.
13. Плоттерная резка [Электронный ресурс]. URL: [http://1format.ru/?page\\_id=750](http://1format.ru/?page_id=750) (дата обращения: 24.05.2016)
14. Оргстекло: описание [Электронный ресурс]. URL: <http://amt-team.ru/orgsteklo> (дата обращения: 24.05.2016)
15. Ковалев О.Б., Фомин В.М. Физические основы лазерной резки толстых листовых материалов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. 256 с.

Sosnina O.A., Biryukova A.O.

# CREATING THREE-DIMENSIONAL MODELS AND DRAWINGS FOR CNC MACHINES IN ARCHITECTURAL SCALE MODELLING

*When working at an architectural or industrial project, it is generally required to make its prototype or scale model, which would accurately replicate the structure designed. Scale modelling permits locating errors and inaccuracies; it enhances spatial vision and promotes architectural thinking. Scale modelling also reveals new features of architectural objects that have already been created. "Nizhny Novgorod Cableway" serves as an example of such objects. The article describes the technology for designing a scale model of the cableway, which demonstrates an updated lighting system on its supports.*

**Key words:** *prototyping, architectural scale model, 3D-modelling, drawing, CNC machine cutting.*

**Соснина Ольга Анатольевна**, 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: o.a.sosnina@mail.ru

**Бирюкова Алиса Олеговна**, магистрант кафедры «Графические информационные системы».

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Адрес: Россия, 603600, Нижний Новгород, Казанское шоссе, д. 12

E-mail: leviathana@yandex.ru

DOI: 10.12737/23376

*Чернышева К.Ю., магистрант,  
Брусенцев А.Г., д-р физ.-мат. наук, проф.  
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова*

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЕСТЕСТВЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ ПОМЕЩЕНИЙ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ

ksenia.chernusheva93@gmail.com

*Проблема обеспечения освещения в разнородных производственных помещениях, не смотря на многочисленные методы и способы ее решения, по-прежнему актуальна. В данной статье на примере конкретной технической задачи рассмотрена возможность оптимизации естественной освещенности для помещений произвольной формы. Сформулирована постановка задачи. Рассмотрены основные понятия и определения из области фотометрии, светотехники, необходимые для решения поставленной задачи. Описана математическая модель естественной освещенности и математическая постановка задачи оптимизации естественной освещенности помещения. Приведено краткое описание алгоритма для решения задачи.*

**Ключевые слова:** световое поле, светопроем, естественная освещенность, нормальная освещенность, световой поток, поверхность.

**Введение.** Во время выполнения производственных заданий, не маловажное влияние на организм человека оказывает освещение. Точное распределение освещения в помещении увеличивает продуктивность труда и уменьшает число несчастных случаев на производстве. Неправильное освещение может стать причиной понижения умственной и физической работоспособности, некоторых заболеваний, например близорукость, зрительное утомление, и другие, увеличивает количество ошибок на производстве, аварий и несчастных случаев.

В помещениях используется естественное и искусственное освещение. В статье пойдет речь о естественном освещении.

Естественное освещение предполагает проникновение внутрь зданий солнечного света через окна и различного типа светопроемы (верхние световые фонари). На освещение влияют местонахождение и устройство зданий, величина застекленной поверхности, форма и расположение окон, расстояние между зданиями и др. Отсюда вытекает задача оптимизация естественной освещенности помещений.

Задачи об оптимизации естественной освещенности рассматривались и раньше. Например, в работах «К расчету геометрического коэффициента естественной освещенности от зенитного светопроема прямоугольной формы», «Повышение эффективности зенитных светопроемов», «Расчет оптимальной формы, площади и места расположения зенитных светопроемов одноэтажных производственных зданий» авторов Брусенцев А.Г. и Гордица Д.Д.[4–6]. В этих работах рассматривается задача с заданной площадью и для помещений в форме

параллелепипеда. В отличие от приведенных выше примеров задач, в моей работе естественная освещенность должна быть не меньше, чем некоторая нормативная величина. В статье модель приводится в таком виде, что задача может решаться для помещений произвольной формы.

**Содержательная постановка задачи.** Необходимо найти систему светопроемов произвольной площади, производственных и других видов помещений, которая бы обеспечивала максимальный световой поток через рабочую поверхность, при условии, что минимальная освещенность не меньше, чем некоторая нормативная величина. При этом отраженный свет не учитывается. Искомый светопроем состоит из элементарных площадок, выбираемых в некотором допустимом множестве точек на стенах и потолке помещения.

### Модель естественной освещенности помещения

### Математическая постановка задачи оптимизации

Для решения поставленной задачи необходимо определить понятие *световое поле*, которое будет использоваться в рамках поставленной задачи.

Наиболее точно определение понятию *световое поле* дает Гуторов М.М.[1–2]. Он определяет *световое поле* (еще определяется как электромагнитное поле) как область пространства, в которой имеет место перенос световой энергии данного источника света. Данное определение и будет использоваться для решения нашей задачи.

Далее необходимо определить интегральные характеристики светового поля. В

своей книге [2] Гуторов М. М. предлагает общий вид интегральной характеристики светового поля:

$$c = \int_{\Omega} L_{\varphi\beta} f(\varphi, \beta) d\Omega = \int_{\Omega} f(\varphi, \beta) dE_n \quad (1)$$

где  $c$  – интегральная характеристика светового поля – средняя освещенность выбранной поверхности, расположенной в окрестности точки светового поля;  $f(\varphi, \beta)$  – функция ценности обучения, определяющая эффективность излучения, поступающего от источника на выбранную поверхность;  $\Omega$  – телесный угол, окружающий точку, в которой определяется значение  $c$ .  $dE_n$  – нормальная освещенность, создаваемая элементом источника света на площадке, расположенной перпендикулярно направлению на этот элемент в исследуемой точке поля.

В нашей задаче будет использоваться световое поле, порожденное светопроемами, находящимися в стенах и на потолке.

Световое поле можно описать безразмерным векторным полем. Это поле можно представить в безкоординатной форме следующим образом. Рассмотрим световой вектор равнояркой элементарной плоской поверхности площади  $\Delta S$ , центр которой находится в точке  $M$ . Выпишем световой вектор в точке  $M_1$  плоской поверхности помещения. Если обозначить через  $\vec{n}(M)$  единичный вектор нормали к испускающей поверхности в точке  $M$ , направленный в сторону испускания, т.е. в т.  $M_1$ , то указанный световой вектор запишется в виде:

$$\vec{de} = \frac{\cos\varphi \Delta S}{|\overrightarrow{MM_1}|} \overrightarrow{MM_1} \quad (2)$$

где  $\varphi$  – угол между векторами  $\vec{n}(M)$  и  $\overrightarrow{MM_1}$ .

Для произвольной равнояркой испускающей поверхности, состоящей из элементарных площадок, получаем выражение для светового вектора в виде поверхностного интеграла по испускающей поверхности  $\sigma$ :

$$\vec{e}(M_1) = \iint_{\sigma} \frac{\cos\varphi_M \overrightarrow{MM_1}}{|\overrightarrow{MM_1}|^2} dS_M \quad (3)$$

Обозначим через  $\sigma_1$  воспринимающую поверхность внутри помещения, а через  $\vec{v}(M_1)$  единичный вектор нормали к поверхности  $\sigma_1$  в точке  $M_1$ , направленный в направлении светового потока. Тогда поток светового вектора через воспринимающую поверхность можно выразить формулой:

$$E(\sigma, \sigma_1) = \iint_{\sigma_1} \left( \iint_{\sigma} \frac{\cos\varphi_M \cos\varphi_{M_1}}{|\overrightarrow{MM_1}|^2} dS_M \right) dS_{M_1} \quad (4)$$

где  $\varphi_{M_1}$  – угол между векторами  $\vec{n}(M)$  и  $\overrightarrow{MM_1}$ .

Величина  $E(\sigma, \sigma_1)$  является вещественнозначной функцией двух поверхностей  $\sigma$  и  $\sigma_1$ .

Отметим одно важное свойство изложенной модели потока светового вектора, которое можно назвать свойством симметрии. Если считать воспринимающую поверхность равнояркой светящейся поверхностью, а бывшую испускающую поверхность – воспринимающей, то поток светового вектора через последнюю будет равен величине  $E(\sigma, \sigma_1)$ , определенной формулой (4), то есть справедливо равенство  $E(\sigma, \sigma_1) = E(\sigma_1, \sigma)$ . Действительно, замена  $\sigma \rightarrow \sigma_1$  равносильна изменению направлений векторов  $\overrightarrow{MM_1}$ ,  $\vec{n}(M)$ ,  $\vec{v}(M_1)$  на противоположные. При этом величины  $\cos\varphi_M$  и  $\cos\varphi_{M_1}$  не изменятся. Само свойство симметрии является следствием возможности изменения порядка интегрирования.

Рассмотрим далее вопросы, связанные с поверхностями, нуждающимися в освещении, и связанной с этими вопросами задачей определения оптимальной площади светопроемов, необходимой для освещения данных поверхностей. Обычно, в помещении можно указать поверхность (возможно состоящую из ряда связанных частей), которая чаще всего нуждается в освещении. Эту поверхность мы в дальнейшем называем рабочей поверхностью. Нужно организовать естественное освещение этой поверхности так, чтобы поток светового вектора через нее был в некотором смысле наибольшим. Возникает задача оптимального использования площади светопроемов, то есть формы и места расположения светопроемов произвольной площади, которые обеспечивают наибольший поток светового вектора через заданную рабочую поверхность.

Для более точной формулировки и постановки задачи обозначим через  $\Omega$  множество точек, расположенных на потолке и стенах помещения, в котором возможно расположение светопроемов различной формы. Множество  $\Omega$  будем называть *областью выбора*. Эти светопроемы  $\sigma$  являются измеримыми подмножествами точек, лежащих в  $\Omega$ . Площадь светопроема или светопроемов  $\sigma$  (если  $\sigma$  не будет связным) обозначим через  $S(\sigma)$ .



Обсуждаемую задачу можно сформулировать, как задачу на максимум функции области (множества)  $\sigma$ :

$$E(\sigma, \sigma_1) \rightarrow \max, \quad (5)$$

при фиксированной поверхности  $\sigma_1$  и переменной области  $\sigma \subset \Omega$ , такой, что  $S(\sigma) = S_0$ .

#### Краткое описание метода решения

Разделим поверхность  $\Omega$  на элементарные площадки  $\Delta\Omega_i$ . Из этих площадок будем составлять оптимальную область  $\sigma$ . Для любой оптимальной области  $\sigma$  будут справедливы следующие равенства:

$$E(\sigma, \sigma_1) = \sum_{\Delta\Omega_i \subset \sigma} E(\Delta\Omega_i, \sigma_1) = \sum_{\Delta\Omega_i \subset \sigma} E(\sigma_1, \Delta\Omega_i), \quad (6)$$

Для каждой площадки  $\Delta\Omega_i \subset \Omega$  посчитаем величину  $E(\sigma_1, \Delta\Omega_i)$ . Упорядочим все полученные площадки по значению этой величины, в порядке ее убывания. Далее, необходимо включать в  $\sigma$  площадки в порядке убывания  $E(\sigma_1, \Delta\Omega_i)$ , до тех пор, пока освещенность не будет равна некоторой нормативной величины. Очевидно, что составленная данным образом область  $\sigma$  будет обеспечивать максимальное значение для потока светового вектора через воспринимающую поверхность  $E(\sigma, \sigma_1)$  среди всех областей, полученных из элементарных площадок  $\Delta\Omega_i$ .

**Вывод.** В ходе проведения исследований и построения математической модели была поставлена задача оптимального использования площади светопроемов, разработан метод решения данной задачи. Отметим, что описанный метод решения, так же как и модель не зависят от формы и площади помещения, и может применяться для помещений произвольной формы и площади, в отличие от других методов решения.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Справочная книга по светотехнике; под ред. Ю. Б. Айзенберга. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Знак, 2006. 972с.
2. Гуторов М. М. Основы светотехники и источники света: Учеб. пособие для вузов. 2-е изд., доп. и перераб. М.: Энергоатомиздат, 1983, С. 384.
3. Мешков В. В. Основы светотехники: Учебное пособие для вузов. Ч. 1. 2-е изд., перераб. М.: Энергия, 1979. 368 с.
4. Брусенцев А.Г., Гордица Д.Д. К расчету геометрического коэффициента естественной освещенности от зенитного светопроема прямоугольной формы // Сб. «Исследование строительных конструкций и сооружений», сб. трудов МИСИ – БТИСМ (1980), С. 136–140.
5. Брусенцев А.Г., Гордица Д.Д. Повышение эффективности зенитных светопроемов // Сб. «Исследование строительных конструкций и сооружений», сб. трудов МИСИ – БТИСМ (1981), С. 126–131.
6. Брусенцев А.Г., Гордица Д.Д. Расчет оптимальной формы, площади и места расположения зенитных светопроемов одноэтажных производственных зданий // Сб. «Физико-математические методы в исследовании свойств строительных материалов и в их производстве». Сб. трудов МИСИ – БТИСМ (1982), С. 184–189.
7. Гуревич М. М. Фотометрия. Теория, методы и приборы. 2-е изд. Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1983. 272 с.
8. ГОСТ 26148–84. Фотометрия. Термины и определения.
9. ГОСТ 8.332-78. Государственная система обеспечения единства измерений. Световые измерения. Значения относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения.
10. Физическая энциклопедия. Гл. ред. Прохоров А. М. М.: «Большая Российская энциклопедия», 1994. Т. 4. С. 461. 704 с.
11. Элементарный учебник физики; под ред. Г. С. Ландсберга, т. 3. Колебания, волны. Оптика. Строение атома. М.: Наука, 1973. 640 с.

Brusentsev A. G., Chernusheva K.U.

#### OPTIMIZING THE NATURAL ILLUMINATION OF RANDOM SHAPE PREMISES

*The problem of providing the illumination in diverse industrial premises, despite the numerous methods and ways to solve it is still relevant. In this article, the example of a specific technical problem considers the possibility of optimizing the natural illumination of random shape premises. The main task & basic concepts and definitions from the area of metering lighting which are necessary for solving this task are formulated.*

*The mathematical model of natural illumination and the mathematical problem of optimization of natural illumination are described here. A brief description of the algorithm for solving the problem is given also.*

**Key words:** light field, natural illumination, normal illumination, the light flow, surface.

**Чернышёва Ксения Юрьевна**, магистрант кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем.

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

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

E-mail: ksenia.chernusheva93@gmail.com

**Брусенцев Александр Григорьевич**, доктор физико-математических наук, профессор.

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

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

E-mail: brusentsev@mail.ru

DOI: 10.12737/23481

Рыбак Л.А., д-р техн. наук, проф.,  
Гапоненко Е.В., канд. техн. наук, доц.,  
Малышев Д.И., инженер-исследователь

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ ВЫХОДНОГО ЗВЕНА НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ВИНТОВ И ВИРТУАЛЬНЫХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ\*

rl\_bgtu@intbel.ru

*В данной статье рассмотрен метод структурного синтеза класса параллельных механизмов, обеспечивающих плоскопараллельное перемещение подвижной платформы. Рассмотренный метод основан на применении теории винтов и концепции виртуальных цепей. Получены структуры всех параллельных механизмов, содержащие три соединительные кинематические цепи.*

**Ключевые слова:** параллельный механизм, кинематическая цепь, теория винтов, виртуальная цепь.

**Введение.** Параллельные механизмы (ПМ) – новое перспективное направление развития теории механизмов и машин. Такие механизмы обладают уникальными возможностями резкого, практически мгновенного изменения закона движения исполнительного звена под действием незначительного несилового управляющего смещения одного из кинематических элементов без разрыва всей кинематической цепи. Это делает привлекательным применение таких механизмов, как в высокоточных станках, так и в тактильных и медицинских устройствах. В последнее время наблюдается значительное повышение интереса к проектированию и применению таких механизмов.

Вследствие большого количества разнообразных применений параллельных механизмов, траектория требуемых от них движений может существенно различаться. Существует насущная необходимость в поиске новых структур параллельных механизмов [1, 2], отрабатывающих заданную траекторию движения. Кроме того, новые структуры параллельных механизмов необходим в связи с развитием станков с гибридной кинематикой, в которых два параллельных механизма работают совместно.

### 1. Траектории движения параллельных механизмов

Понятие траектории движения подвижной платформы содержит больше информации, чем число ее степеней свободы, и из-за потребности в параллельных механизмах с числом степеней свободы меньшим 6, структурному синтезу параллельных механизмов с заданной траекторией движения начиная с 1990-х гг. уделяется все большее внимание [3–10]. Существует мнение, что параллельные

механизмы с 6 степенями свободы применимы во всех случаях, и, соответственно, подвергается сомнению необходимость структурного синтеза параллельных механизмов с числом степеней свободы, меньшим 6. Одной из основных причин структурного синтеза параллельных механизмов с числом степеней свободы, меньшим 6, является уменьшение стоимости их изготовления. Другая причина заключается в том, что, в общем случае, уменьшение числа степеней свободы увеличивает диапазон допустимых перемещений по оставшимся степеням свободы.

Следует заметить, что к проблеме структурного синтеза параллельных механизмов с заданной траекторией движения обращался еще Хант [11] в 1973 г. В [11] ПМ использовались в качестве передаточных цепей, сохраняющих скорости перемещений. К сожалению, данная работа осталась практически незамеченной широкому кругу исследователей-робототехников, т. к. Хант не упомянул ее в своей пионерской работе по структурному синтезу параллельных механизмов [12]. Позднее несколько авторов независимо друг от друга работали над структурным синтезом плоскопараллельного механизма с 5 опорами [5, 8, 13] и некоторые результаты были получены повторно. Вклад [5, 8, 13] состоит в опровержении условия подвижности полного цикла, полученного в [11] алгебраически без подробных разъяснений. Таким образом, было неявно доказано существование параллельного механизма с 5 опорами, состоящими из вращательных и поступательных кинематических пар, совершающего плоскопараллельное перемещение, не связанное с работой [11].

До начала структурного синтеза ПМ необходимо описать движение, совершаемое его подвижной платформой. Иногда, например для поступательных или плоских ПМ, эта задача тривиальна. Однако, для других типов движения (например, для ПМ с 4 и 5 степенями свободы) описание перемещений подвижной платформы является гораздо более сложной задачей. Кроме того, характер движения подвижной платформы ПМ заданным числом степеней свободы может быть различен. Например, под движением с 3 степенями свободы может пониматься поступательное перемещение с тремя степенями свободы, сферическое движение с тремя степенями свободы, плоско-параллельное перемещение с тремя степенями свободы и т. д.

Траектория движения определяется как (возможно бесконечное) множество положений, которое описывает структуру движения подвижной платформы. Например, для поступательного ПМ траектория движения – множество поступательных перемещений твердого тела. Другим примером траектории движения может служить движение SCARA ПМ с 4 степенями свободы, состоящее из всех поступательных перемещений и вращения вокруг любой оси, имеющий заданное направление. Данная траектория движения также может быть описана посредством движения Шёнфлиса [14].

Следует заметить, что траектория движения не всегда может быть описана группой движений. Фактически, концепция траекторий движения может найти широкое применение, так как она более общая, чем концепция групп движений.

## 2. Концепция виртуальных цепей

Так как существующие методы описания траектории движения подвижной платформы в большинстве случаев неудобны, для описания траектории движения подвижной платформы будем использовать концепцию виртуальных цепей, подробно изложенную в [15]. Виртуальная цепь, связанная с данной траекторией движения – последовательная или параллельная КЦ, подвижная платформа которой осуществляет эту траекторию движения. Ясно, что для заданной траектории движения может существовать не единственная виртуальная цепь. Вообще, для данной траектории движения виртуальная цепь выбирается посредством всестороннего анализа группы силовых винтов последовательных и параллельных цепей с учетом изменения групп силовых винтов при изменении их положения. Кроме того, как правило выбирается простейшая виртуальная цепь. Далее будет показано, что

концепция виртуальных цепей является эффективным инструментом структурного синтеза ПМ.

В большинстве выполненных к настоящему времени работ, посвященных структурному синтезу ПМ, в качестве отправной точки используется число степеней свободы ПМ. Траектория движения используется для таких целей крайне редко. Подход к структурному синтезу, излагаемый далее, основан на указании траектории движения и числа избыточных (пассивных) связей  $D$ . Существует следующие предпосылки обоснованности такого подхода: 1- для многих приложений необходимы ПМ, отрабатывающие заданную траекторию движения. Траектория движения содержит в себе больше информации, чем число степеней свободы, и 2-число избыточных связей – важная величина, характеризующая механические свойства ПМ. Сложность, стоимость, и производительность ПМ, отрабатывающего заданную траекторию движения, меняются в очень широких пределах при изменении  $D$ . Для структурного синтеза ПМ, отрабатывающих заданную траекторию движения, будем использовать уравнения (2.24), (2.28) и (2.29) [15].

Рассмотрим класс параллельных механизмов [16], подвижная платформа которых совершает плоскопараллельное перемещение, т.е. линейное перемещение в некоторой плоскости и повороты относительно оси, перпендикулярной этой плоскости. В любом не особом положении группа силовых винтов параллельной кинематической цепи, соответствующей такому механизму, состоит из всех силовых винтов с бесконечным параметром  $\zeta_\infty$ , расположенных в плоскости движения и всех силовых винтов с нулевым параметром  $\zeta_0$ , перпендикулярных этой плоскости, т.е. представляет собой  $2 - \zeta_\infty - 1 - \zeta_0$ -членную группу. Этой параллельной кинематической цепи можно поставить в соответствие виртуальную последовательную цепь, которую в дальнейшем будем обозначать  $E$  (рис. 1), а рассматриваемую кинематическую цепь обозначим, соответственно,  $E = ПКЦ$ .

При соединении основания и подвижной платформы  $E = ПКЦ$  посредством виртуальной цепи  $E$  функционирование такой ПКЦ не меняется. Любая из ее опор и виртуальная цепь  $E$  образуют 3-подвижную одноконтурную кинематическую цепь. Если порядок группы силовых винтов опоры больше 0, то получаемая одноконтурная кинематическая цепь должна быть цепью с избыточными связями.

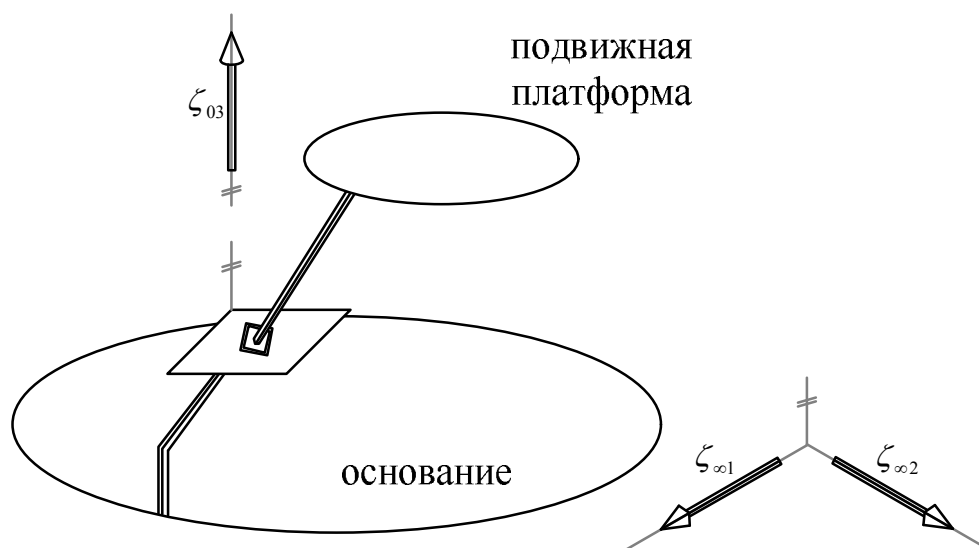


Рис. 1. Группа силовых винтов виртуальной цепи E

Исходя из этих соображений, осуществим структурный синтез рассматриваемого класса параллельных механизмов.

### 3. Декомпозиция группы силовых винтов 3-подвижной E=ПКЦ.

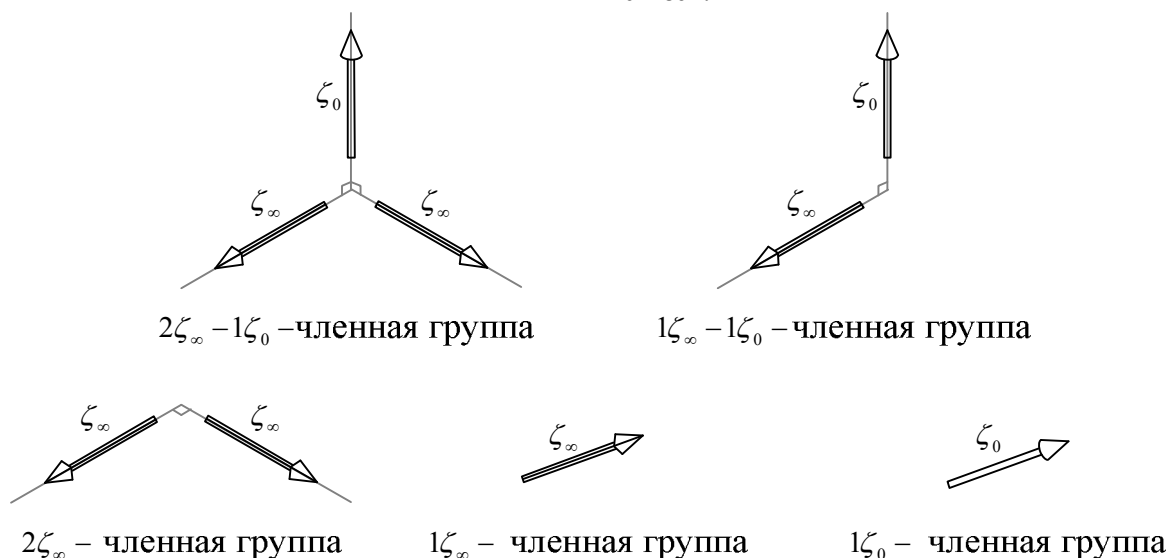
Так как группа силовых винтов параллельной кинематической цепи является линейной комбинацией групп силовых винтов всех ее опор, то группа силовых винтов любой опоры E=ПКЦ является подгруппой группы ее силовых винтов. Следовательно, группа силовых винтов опоры E=ПКЦ может быть  $1-\zeta_0$ -членной группой,  $1-\zeta_\infty$ -членной группой,  $2-\zeta_\infty$ -членной группой,  $1-\zeta_\infty-1-\zeta_0$ -членной группой,

либо  $2-\zeta_\infty-1-\zeta_0$ -членной группой. (рис. 2)

Комбинации подгрупп силовых винтов, образующих заданную группу силовых винтов могут быть определены из уравнения

$$\sum_m c^i = 6 + F + \Delta,$$

где  $m$  – число групп силовых винтов, равное числу опор, для рассматриваемого случая  $2 \leq m \leq 4$ ,  $c^i$  – порядок подгруппы силовых винтов,  $0 \leq c^i \leq c$ ,  $c$  – порядок группы силовых винтов, в рассматриваемом случае  $c = 3$ ,  $F$  – число степеней свободы параллельной кинематической цепи,  $F = 3$ ,  $\Delta$  – число избыточных связей.

Рис. 2. Подгруппы  $2-\zeta_\infty-1-\zeta_0$ -членной группы силовых винтов

Все решения этого уравнения для случая трех опор представлены в табл. 1.

Таблица 1

## Комбинации групп силовых винтов опор для PPR= ПКЦ с 3 опорами

$D$	$2-z_{\infty}-1-z_0$	$1-z_{\infty}-1-z_0$	$2-z_{\infty}$	$1-z_0$	$2-z_{\infty}$	0-членная группа
6	3	0	0	0	0	0
5	2	1	0	0	0	0
	2	0	1	0	0	0
4	2	0	0	1	0	0
	2	0	0	0	1	0
	1	2	0	0	0	0
	1	1	1	0	0	0
	1	0	2	0	0	0
3	2	0	0	0	0	1
	1	1	0	1	0	0
	1	1	0	0	1	0
	1	0	1	0	0	0
	1	0	1	0	0	0
	0	2	1	0	0	0
	0	1	2	0	0	0
2	1	1	0	0	0	1
	1	0	1	0	0	1
	1	0	0	2	0	0
	1	0	0	1	1	0
	1	0	0	0	2	0
	0	2	0	1	0	0
	0	2	0	0	1	0
	0	1	1	1	0	0
	0	1	1	0	1	0
	0	0	2	1	0	0
1	1	0	0	1	0	1
	1	0	0	0	1	1
	0	2	0	0	0	1
	0	1	1	0	0	1
	0	0	2	0	0	1
	0	1	0	2	0	0
	0	1	0	1	1	0
	0	1	0	0	2	0
0	1	0	0	0	0	2
	0	1	0	1	0	1
	0	1	0	0	1	1
	0	0	1	1	0	1
	0	0	0	1	2	0
	0	0	0	2	1	0

#### 4. Структурный синтез 3-подвижной КЦ, включающей виртуальную цепь Е и имеющей заданную группу силовых винтов

Число кинематических пар  $f$  в одноконтурной кинематической цепи может быть определено по формуле  $f = F + 6 - c$ . Далее будут рассмотрены кинематические цепи, состоящие только из вращательных R и поступательных P кинематических пар первого порядка.

Из синтезированных опор следует отбросить те, в которых кинематические винты всех пар, кроме входящих в виртуальную цепь, линейно зависимы. Для этого необходимо и достаточно соблюдения следующих условий: 1– от-

сутствие соосных вращательных кинематических пар; 2– отсутствие поступательных кинематических пар, направления осей которых совпадают; 3– направление самое большее одной поступательной кинематической пары параллельно осям вращательных кинематических пар; 4– оси как максимум трех вращательных кинематических пар параллельны; 5– оси как максимум трех вращательных кинематических пар проходят через одну точку; 6– направления самое большее двух поступательных кинематических пар параллельны одной плоскости; 7– сумма числа вращательных кинематических пар, оси которых параллельны и числа поступательных кинематических пар не больше четырех; 8–

если направления  $n_p$  поступательных кинематических пар перпендикулярны осям  $n_R$  вращательных кинематических пар с параллельными осями, то  $n_p + n_R \leq 3$ .

**Случай 2 –  $\zeta_\infty - 1 - \zeta_0$ -членной группы.**

В этом случае число кинематических пар равно шести. Такая кинематическая цепь состоит из 6 вращательных и/или поступательных кинематических пар, причем оси всех вращательных пар параллельны осям  $\zeta_0$ , а направления всех поступательных пар параллельны плоскости, перпендикулярной  $\zeta_0$ . После проверки условий линейной независимости винтов остается три кинематические цепи:  $(RRRV)_E$ ,  $(PRRV)_E$ ,  $(PPRV)_E$ , где  $()_E$  – обозначение кинематической

цепи, все звенья которой перемещаются в параллельных плоскостях, V – виртуальная цепь E (рис. 3).

**Случай 1 –  $\zeta_\infty - 1 - \zeta_0$ -членной группы.**

В этом случае число кинематических пар равно семи. Она формируется посредством сведения соосных вращательных кинематических пар в кинематическую цепь, совершающую плоскопараллельное перемещение, аналогичную рассмотренной ранее. Из условий линейной независимости видно, что количество соосных вращательных пар должно быть не больше двух. В результате получаем следующие одноконтурные кинематические цепи:  $\tilde{R}(RRRV)_E$ ,  $\tilde{R}(PRRV)_E$ ,  $\tilde{R}(PPRV)_E$ , где  $\tilde{R}$  – вращательная кинематическая пара, соосная некоторой другой паре кинематической цепи (рис. 4)

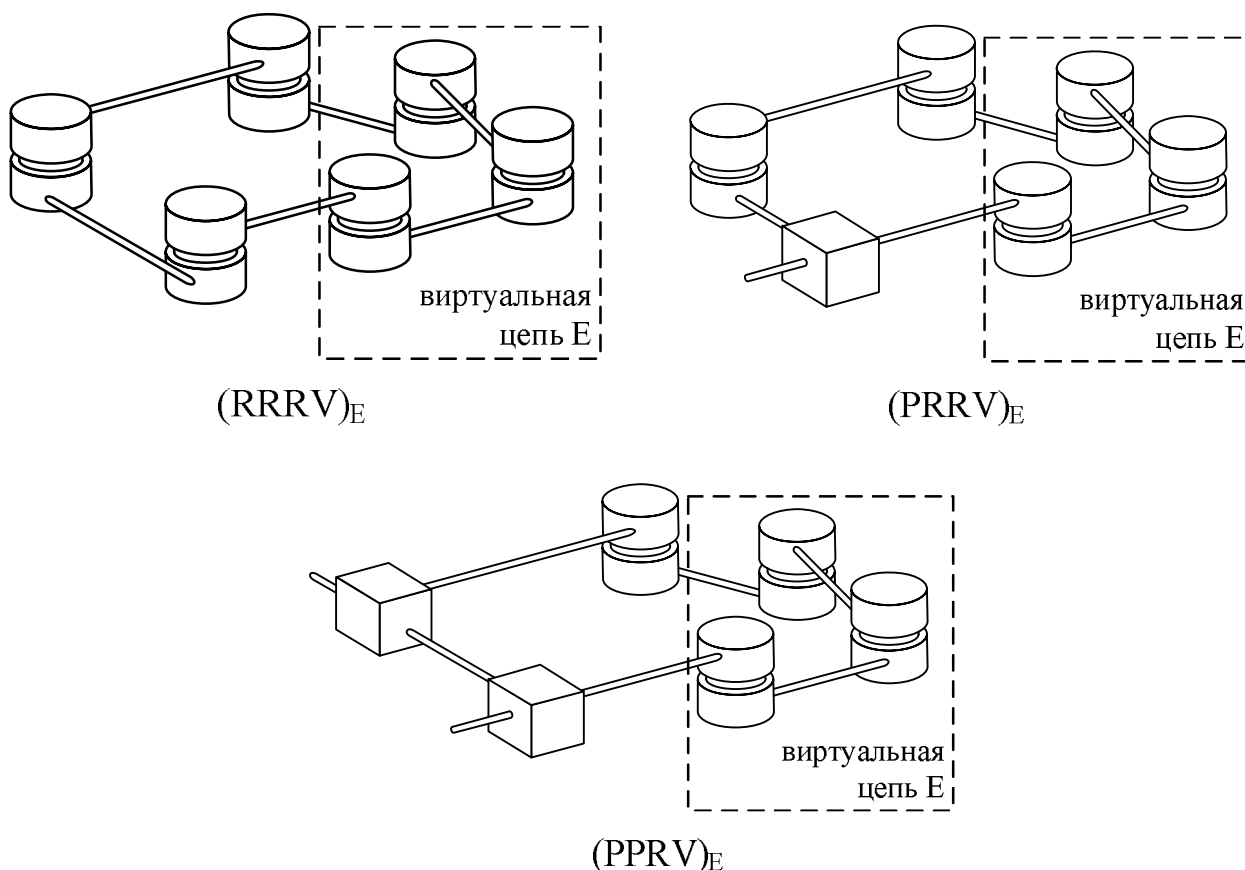


Рис. 3. Некоторые 3-подвижные одноконтурные КЦ, включающие виртуальную цепь E и имеющие  $2 - \zeta_\infty - 1 - \zeta_0$ -членную группу силовых винтов

**Случай 2 –  $\zeta_\infty$ -членной группы.**

В этом случае число кинематических пар такое же, как и в предыдущем случае. Такая кинематическая цепь состоит из как минимум одной вращательной пары и как минимум из одной поступательной пары, где оси всех вращательных пар парал-

лельны и направления движения не всех поступательных пар перпендикулярны осям вращательных пар.

После проверки условий линейной независимости винтов остаётся 4 кинематические цепи:  $P(RRRV)_E$ ,  $P(PRRV)_E$ ,  $P(PPRV)_E$  (рис. 3.5).



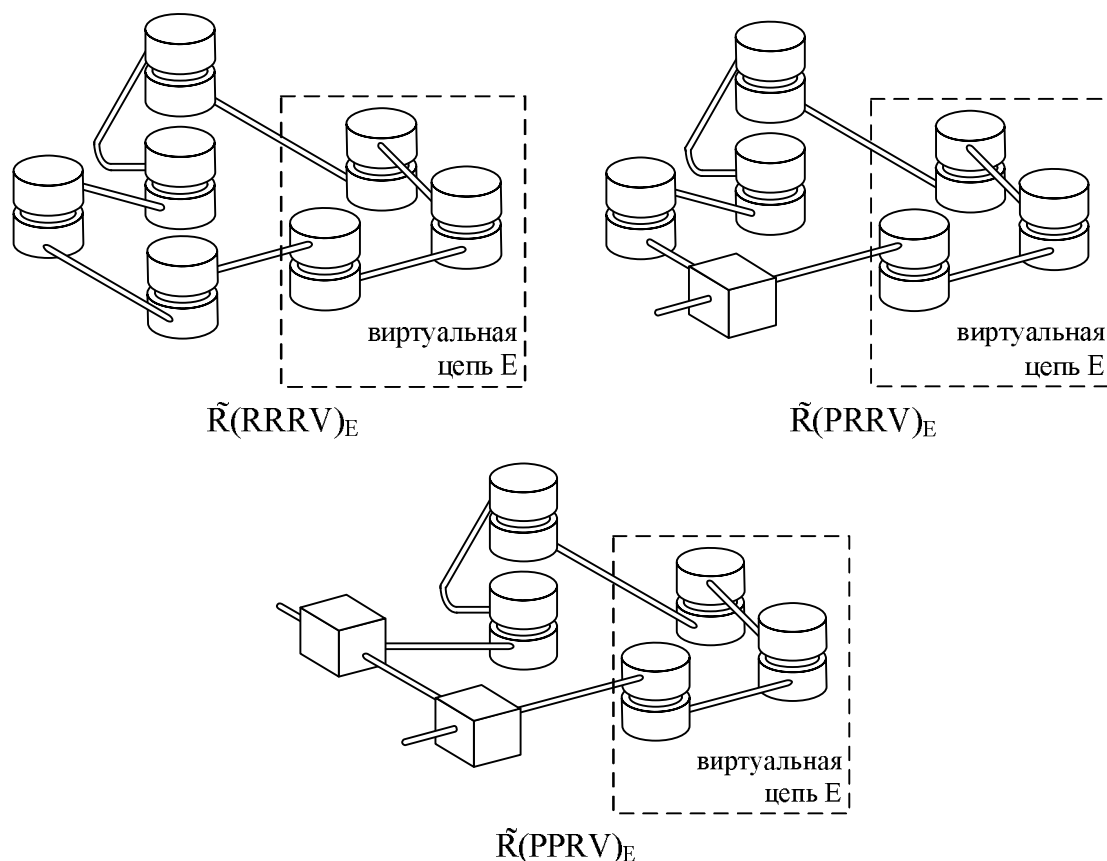


Рис. 4. Некоторые 3-подвижные одноконтурные КЦ, включающие виртуальную цепь E и имеющие  $1 - \zeta_\infty - 1 - \zeta_0$ -членную группу силовых винтов

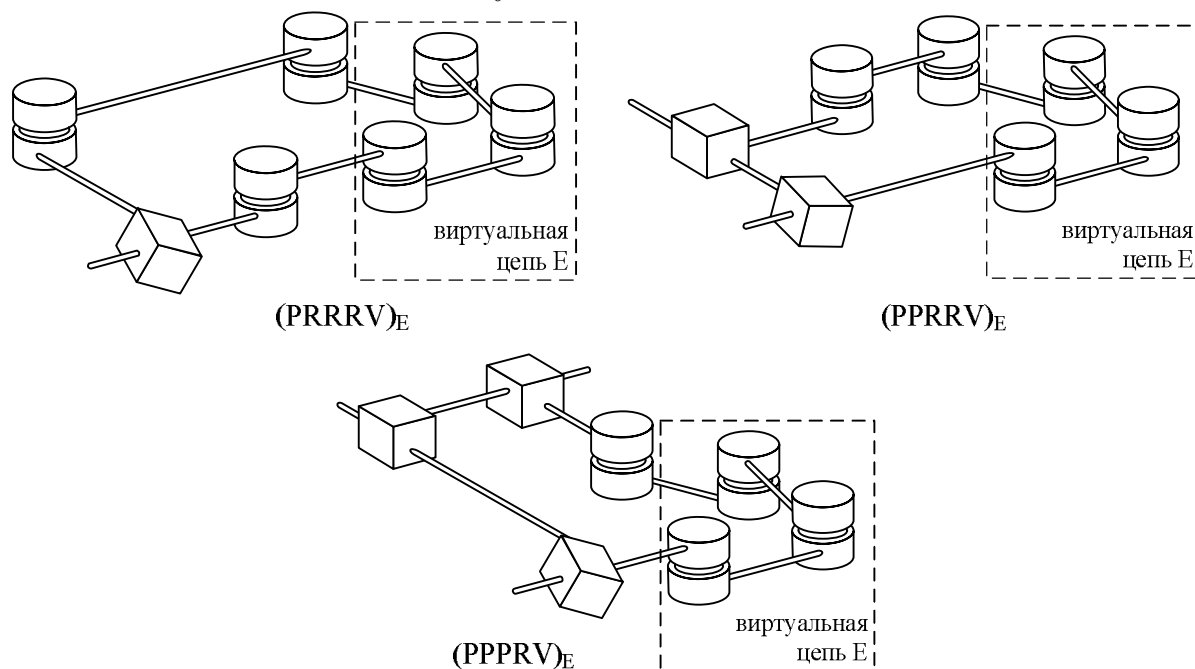


Рис. 5. Некоторые 3-подвижные одноконтурные КЦ, включающие виртуальную цепь E и имеющие  $2 - \zeta_\infty$ -членную группу силовых винтов

**Случай  $1 - \zeta_\infty$ -членной группы.** В этом случае число кинематических пар равно восьми. Получаем кинематическую цепь, которая состоит из совокупности как минимум одной вращательной пары и как минимум из одной поступательной пары (где оси всех вращательных пар параллельны и направления движения не всех поступательных пар перпендикулярны осям вращательных пар) и из одной или более вращательных, оси которых совпадают. Получаем

тальной пары (где оси всех вращательных пар параллельны и направления движения не всех поступательных пар перпендикулярны осям вращательных пар) и из одной или более вращательных, оси которых совпадают. Получаем

следующие кинематические цепи:  $PPPPRV_E$ ,  $PPPR(RV)_E$ ,  $PPR(RRV)_E$ ,  $PPR(RRRV)_E$  (рис. 6).

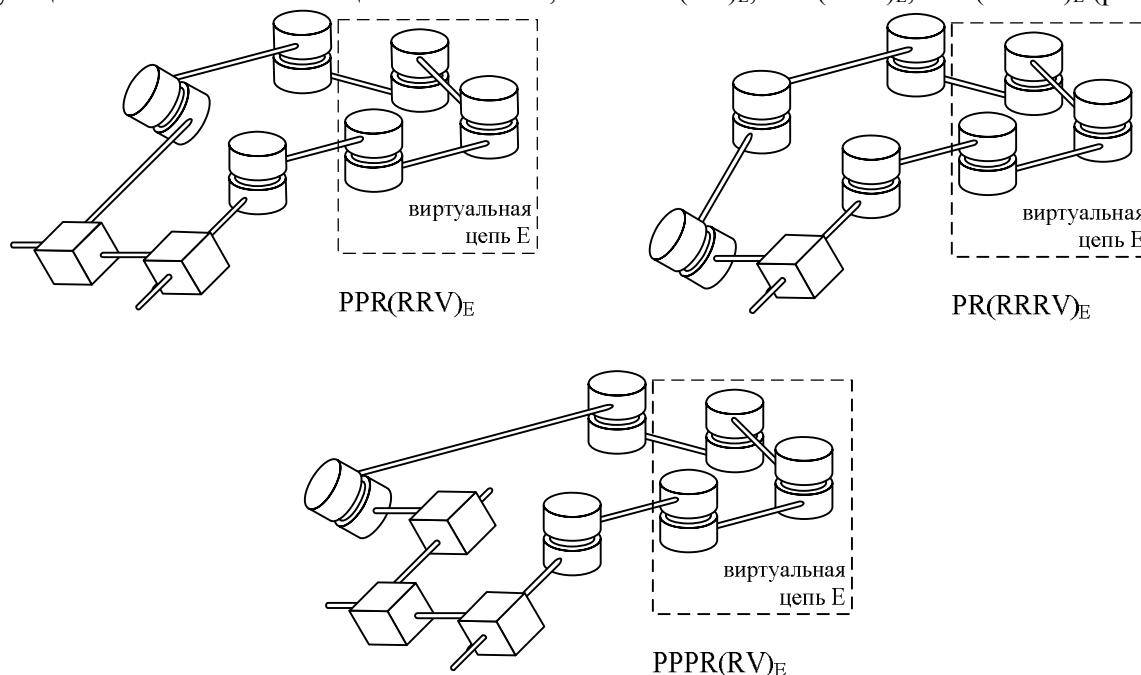


Рис. 6. Некоторые 3-подвижные одноконтурные КЦ, включающие виртуальную цепь E и имеющие  $1 - \zeta_\infty$ -членную группу силовых винтов

**Случай  $1 - \zeta_0$ -членной группы.** В этом случае число кинематических пар равно восьми. В этом случае существует два варианта структур кинематических цепей. Во-первых, кинематическая цепь, которая состоит из совокупности, по меньшей мере, из двух вращательных и/или поступательных кинематических пар (содержит как минимум одну вращательную пару и в которой все звенья перемещаются в параллельных плоскостях) и из двух или более вращательных кинематических пар, оси в которых пересекаются. Получаем следующие кинематические цепи:  $(RR)_S(RRRV)_E$ ,  $(RRR)_S(RRV)_E$ ,  $(RR)_S(PRRV)_E$ ,

$(RRR)_S(PRVR)_E$ , где  $( )_S$  – совокупность вращательных кинематических пар, оси которых пересекаются в одной точке. Во-вторых, кинематическая цепь, которая состоит из совокупности, по меньшей мере, из двух вращательных и/или поступательных кинематических пар (содержит как минимум одну вращательную пару и в которой все звенья перемещаются в параллельных плоскостях) и из двух или более вращательных кинематических пар, оси в которых совпадают. Получаем только одну кинематическую цепь  $(RRRRRRP)_E \hat{R}$  (рис. 7).



Рис. 7. Некоторые 3-подвижные одноконтурные КЦ, включающие виртуальную цепь E и имеющие  $1 - \zeta_\infty$ -членную группу силовых винтов

Структуры опор могут быть получены из полученных ранее одноконтурных кинематических цепей посредством удаления виртуальной цепи E. Результаты приведены в таблице 2.

## 5. Сборка опор и выбор приводных кинематических пар

$E=ПКЦ$  может быть получена посредством сборки опор для  $E=ПКЦ$ , показанных в таблице 2, выбранных в соответствии с комбинациями групп силовых винтов опор из таблицы 1. При сборке  $E=ПКЦ$  должно соблюдаться следующее

условие: линейная комбинация групп силовых винтов опор должна составлять  $2 - \zeta_\infty - 1 - \zeta_0$ -членную группу.

Таблица 2

## Структуры опор

$c^i$	Класс	№	Структура
3	$2 - \zeta_\infty - 1 - \zeta_0$		$(XXX)_E$
2	$1 - \zeta_\infty - 1 - \zeta_0$	2	$\tilde{R}(XXX)_E$
		3	$(XXX)_E \tilde{R}$
	$2 - \zeta_\infty$	4	$(XXXX)_E$
1	$1 - \zeta_0$	5	$(RR)_S(RRR)_E$
		6	$(RRR)_S(RR)_E$
		7	$(RR)_S(PRR)_E$
		8	$(RRR)_S(PR)_E$
		9	$(RRRRRRP)_E \tilde{R}$
	$1 - \zeta_\infty$	0	PPPPR
		1	PPPR(R) <sub>E</sub>
		2	PPR(RR) <sub>E</sub>
		3	PPR(RRR) <sub>E</sub>

Рассмотрим для примера  $E=ПКЦ$  семейства 3 (табл. 1).  $E=ПКЦ$  семейства 3 имеет две опоры с  $1 - \zeta_\infty - 1 - \zeta_0$ -членной группой и одну опору с  $2 - \zeta_\infty$ -членной группой. Выберем требуемые

опоры. Собирая эти опоры получим  $E=ПКЦ$  семейства 3. Например, набор из двух опор  $(XXX)_E \tilde{R}$  с членной группой и одной опоры  $(XXXX)_E$  с членной группой даёт  $2 - (XXX)_E \tilde{R} - (XXXX)_E E=ПКЦ$  (рис. 8). Как можно видеть из таблицы 1, из всех возможных комбинаций групп силовых винтов опор, только одна, состоящая из трех  $2 - \zeta_\infty - 1 - \zeta_0$ , является комбинацией, в которой все группы силовых винтов имеют одинаковую структуру. В табл. 2 есть только одна опора с  $2 - \zeta_\infty - 1 - \zeta_0$ -членной группой силовых винтов:  $(XXX)_E$ . Соответственно, существует лишь одно семейство  $E=ПКЦ$ , все опоры которых имеют одинаковую структуру –  $3-(XXX)_E$  (рис. 9).

Выбор приводных кинематических пар заключается в отыскании всех возможных комбинаций приводных кинематических пар и удалении тех из них, для которых не выполняются следующие условия: 1– приводные пары должны быть расположены на всех опорах настолько равномерно, насколько это возможно; 2– приводные пары желательно располагать на основании либо как можно ближе к нему; 3– не должно быть пассивных поступательных кинематических пар.

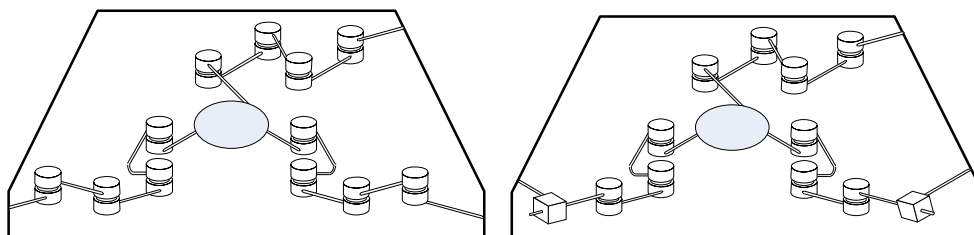


Рис. 8. Некоторые  $E=ПКЦ$  со структурой  $2-\tilde{R}(XXX)_E-(XXXX)_E$ :  
 $2-(RRR)_E \tilde{R}-(RRRR)_E$  и  $2-(RRP)_E \tilde{R}-(RRRR)_E$

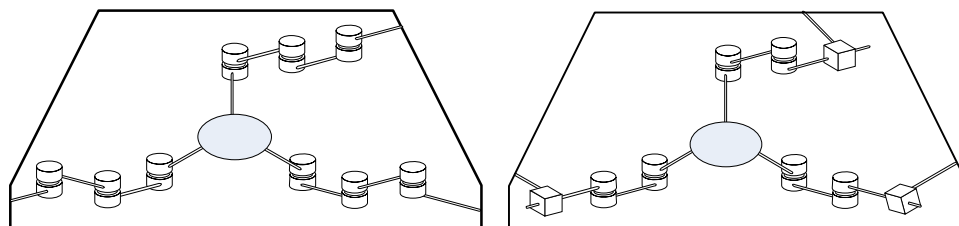


Рис. 9. Некоторые  $E=ПКЦ$  со структурой  $3-(XXX)_E$ :  $3-(RRR)_E$  и  $3-(PRR)_E$

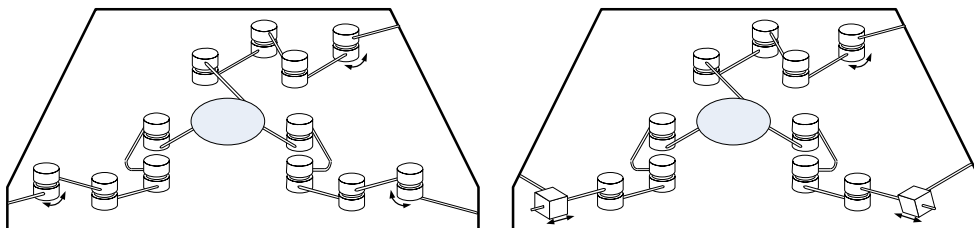
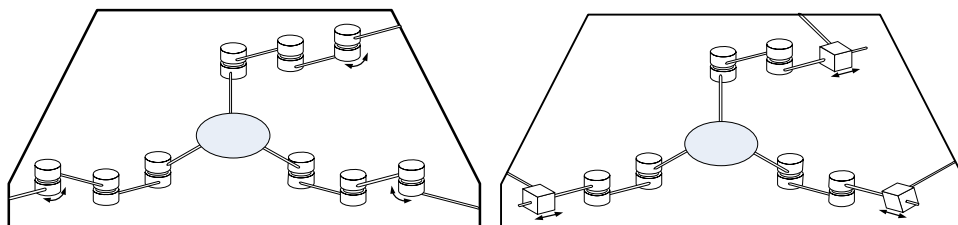


Рис. 10. Некоторые  $E=ПМ$  со структурой  $2-\tilde{R}(XXX)_E-(XXXX)_E$ :  
 $2-(RRR)_E \tilde{R}-(RRRR)_E$  и  $2-(RRP)_E \tilde{R}-(RRRR)_E$

Рис. 11. Некоторые E=ПМ со структурой 3-(XXX)<sub>E</sub>: 3-(RRR)<sub>E</sub> и 3-(PRR)<sub>E</sub>

Можно сформулировать следующее условие выбора приводных кинематических пар: для механизма с  $F$  степенями свободы набор из  $F$  приводных кинематических пар верен тогда и только тогда, когда в не особом положении приводные силовые винты всех приводных кинематических пар вместе с набором базисных винтов группы силовых винтов механизма образуют шестичленную группу. В частности, для рассмотренных выше механизмов, этим условиям удовлетворяют механизмы, изображенные на рисунках 10 и 11 (приводные кинематические пары обозначены стрелками).

*\*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, Соглашение № 16-19-00148.*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Brogardh T. PKM research – important issues, as seen from a product development perspective at abb // Proceedings of the Workshop on Fundamental Issues and Future Research Directions for Parallel Mechanisms and Manipulators, (Quebec, October 3–4 2002). P. 68–82.
2. Merlet J.-P. An initiative for the kinematics study of parallel manipulators // Proceedings of the Workshop on Fundamental Issues and Future Research Directions for Parallel Mechanisms and Manipulators, (Quebec, October 3–4 2002). P. 2–9.
3. Angeles J. The qualitative synthesis of parallel manipulators / Proceedings of the Workshop on Fundamental Issues and Future Research Directions for Parallel Mechanisms and Manipulators, (Quebec, October 3–4 2002). P. 160–169.
4. Carricato M., Parenti-Castelli V. A family of 3-DOF translational parallel manipulators / Proceedings of the 2001 ASME Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, (Pittsburgh, PA, 2001). P. DETC2001/DAC–21035.
5. Frisoli A., Checcacci D., Salsedo F., Bergamasco M. Synthesis By screw algebra of translating in-parallel actuated mechanisms // Advances in Robot Kinematics, (Kluwer Academic Publishers, 2000). P. 433–440.
6. Herve J. M. The Lie group of rigid body displacements, a fundamental tool for mechanisms design // Mechanism and Machine Theory. 1999. 34(5). P. 719–730.
7. Huang Z., Li Q. C. General methodology for the type synthesis of lower-mobility symmetrical parallel manipulators and several novel manipulators // The International Journal of Robotics Research. 2002. 21(2). P. 131–145.
8. Kong X., Gosselin C.M. Generation of parallel manipulators with three translational degrees of freedom using screw theory // Proceedings of the CCToMM Symposium on Mechanisms, Machines and Mechatronics, (Montreal, Canada, 2001). P. M3–01–012.
9. Kong X., Gosselin C.M. Type synthesis of 3-DOF spherical parallel manipulators based on screw theory // ASME Journal of Mechanical Design. 2004. 126(1). P. 101–108.
10. Zlatanov D., Gosselin C.M. A new parallel architecture with four degrees of freedom // Proceedings of the 2nd Workshop on Computational Kinematics, (Seoul, Korea, 2001). P. 57–66.
11. Hunt K. H. Constant-velocity shaft couplings: a general theory // ASME Journal of Engineering for Industry. 1973. 95(2). P. 455.
12. Hunt K. H. Structural kinematics of in-parallel-actuated robot-arms // ASME Journal of Mechanical Design. 1983. 105(4). P. 705–712.
13. Carricato M., Parenti-Castelli V. A family of 3-DOF translational parallel manipulators // Proceedings of the 2001 ASME Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, (Pittsburgh, PA, 2001). P. DETC2001/DAC–21035.
14. Hervé J.M., Sparacino F. Structural synthesis of parallel robots generating spatial translation / In Proceedings of the fifth International Conference on Advanced Robotics, (Pisa, Italy, 1991). P. 808–813.
15. X. Kong, C.M. Gosselin Type synthesis of parallel mechanisms // Springer Tracts in Advanced Robotics. (Heidelberg 2007). Vol. 33. P. 272.
16. Рыбак Л.А., Мамаев Ю.А., Малышев Д.И., Вирабян Л.Г. Программный модуль для реализации заданной траектории движения выходного звена робота-гексапода для 3D печати изделий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №8. С. 155–164.

---

**Rybak L.A., Gaponenko E.V., Malyshev D.I.****STRUCTURAL SYNTHESIS OF PARALLEL MECHANISMS THAT PROVIDE PLANE-PARALLEL MOTION OF THE OUTPUT LINK BASED ON THE THEORY OF SCREWS AND VIRTUAL KINEMATIC CHAINS**

*This article describes the method of structural synthesis of a class of parallel mechanisms that provide plane-parallel movement of the movable platform. The considered method is based on the theory of screws and the concept of virtual circuits. We obtain the structure of parallel mechanisms, containing three connecting kinematic chain.*

**Key words:** *parallel mechanism, kinematic chain, the theory of screws, virtual circuit.*

---

**Рыбак Лариса Александровна**, 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: rl\_bgtu@intbel.ru

**Гапоненко Елена Владимировна**, кандидат технических наук, доцент, кафедры технологии машиностроения.

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

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

E-mail: rl\_bgtu@intbel.ru

**Малышев Дмитрий Иванович**, инженер-исследователь кафедры технологии машиностроения.

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

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

E-mail: rl\_bgtu@intbel.ru

# ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

DOI: 10.12737/23352

*Карамышев А.Н., канд. экон. наук, доц.  
Набережночелнинский институт Казанского федерального университета*

## ПРИНЦИП МНОГОЦИКЛИЧНОСТИ ОТНЕСЕНИЯ СТОИМОСТИ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ НА СЕБЕСТОИМОСТЬ ТОВАРНОЙ ПРОДУКЦИИ КРУПНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

---

**antonkar2005@yandex.ru**

*Стоимость вспомогательных бизнес-процессов промышленных предприятий составляет от 15 до 35 процентов в его совокупных затратах. Процессные технологии управления предприятием предлагают новые принципы отнесения этих затрат на себестоимость производимой продукции. Однако существующие процессные методы отнесения не учитывают сложные экономические взаимосвязи между бизнес-процессами предприятия и проблемы возникновения замкнутых циклов при распределении стоимости вспомогательных бизнес-процессов. Применение предлагаемого принципа многоцикличности отнесения стоимости вспомогательных бизнес-процессов на себестоимость товарной продукции позволит устранить указанные недостатки. Усовершенствование существующих методов с учетом данного принципа позволит более точно рассчитывать себестоимость производимой продукции в части накладных расходов и принимать более обоснованные управленческие решения. В статье приведен условный пример формирования замкнутых циклов распределения, а также приводятся расчеты многоциклического распределения стоимости вспомогательных бизнес-процессов на основные бизнес-процессы.*

**Ключевые слова:** бизнес-процесс, промышленное предприятие, себестоимость продукции, накладные расходы, процессный менеджмент.

---

**Введение.** Деятельность предприятия представляет собой совокупность взаимосвязанных работ, каждая из которых потребляет некоторые ресурсы (трудовые, материальные, информационные). Результатом выполнения работы является некий продукт (материальный, информационный или услуга); всей совокупности работ – товарный продукт, а также услуги по его сервисному обслуживанию [1, 2].

Процессный подход к управлению предполагает описание всех этих работ и определение их взаимосвязей на основе входных (потребляемых) и выходных (результативных) продуктов. Взаимосвязанные работы предприятия представляют собой сеть, где ребра являются отдельными работами, а узлы сети – продуктами. Каждый продукт является исходящим для одних работ и входящим для других.

Поскольку на промышленном предприятии можно выделить десятки тысяч отдельных работ (а если применить высокую степень детализации – то и сотни тысяч), то для удобства их описания и дальнейшего анализа отдельные работы группируют в рамках более крупных элементов – бизнес-задач (также их называют бизнес-функциями), подпроцессов, бизнес-процессов (БП). Основой для группирования отдельных работ в рамках бизнес-задач и подпроцессов яв-

ляется некоторый выходной продукт с определенными характеристиками, который является объектом анализа в управленческом учете. В рамках отдельного бизнес-процесса, который представляет собой совокупность подпроцессов (или бизнес-задач на более низком уровне декомпозиции), выполняется значимый для предприятия вид деятельности (например, продажи, закупки, производство и т.д.) [3, 4].

Все бизнес-процессы предприятия можно разделить (в некоторых случаях – условно) на прямо и косвенно влияющие на качество товарной продукции. На основе этого признака все бизнес-процессы предприятия разделяются на основные и вспомогательные (обеспечивающие). Стоимость вспомогательных бизнес-процессов (ВБП) предприятия формирует накладные расходы предприятия, доля которых в общих затратах крупных промышленных предприятий составляет от 15 до 35 процентов [2, 5, 6].

**Основная часть.** Обоснованное и корректное отнесение затрат ВБП на себестоимость товарной продукции является актуальной задачей для предприятий, поскольку на основе этого показателя принимаются управленческие решения.

Существующие на данный момент времени процессные алгоритмы отнесения стоимости

вспомогательных бизнес-процессов на товарную продукцию базируются на следующих принципах [8, 11, 12, 13]:

1. Применение баз распределения. Стоимость бизнес-процесса или его структурных элементов относится на процессы-потребители в соответствии с некоторой базой распределения. Как правило, в качестве базы распределения выступает объем переданных потребителю продуктов или оказанных услуг.

2. Отнесение затрат ВБП осуществляется по сети взаимосвязанных ВБП.

3. Совокупные затраты вспомогательных бизнес-процессов аккумулируются на тех из них, которые предшествуют основным. Аккумулированная стоимость ВБП относится на основные (производственные) бизнес-процессы также в соответствии с некоторой базой распределения.

4. Распределенные на основные БП затраты ВБП относятся на себестоимость товарной продукции пропорционально времени работы основного оборудования.

Существующие методы отнесения накладных расходов на товарную продукцию не учитывают сложную совокупность экономических взаимосвязей вспомогательных бизнес-процессов, которая проявляется в формировании

замкнутых циклов. Наличие замкнутых циклов взаимосвязей между ВБП делает проблематичным адекватное отнесение их стоимости на основные БП, а затем и на товарную продукцию. Для решения этой проблемы мы предлагаем использовать принцип многоцикличности отнесения затрат ВБП, суть которого состоит в постепенном, состоящем из нескольких итераций, перенесении стоимости вспомогательных бизнес-процессов.

Продemonстрируем замкнутый цикл экономических взаимосвязей вспомогательных бизнес-процессов и реализацию принципа многоцикличного отнесения затрат ВБП на условном примере (см. рисунок 1 и таблицы 1-6).

Осуществляются три вспомогательных и два основных бизнес-процесса. Вспомогательные БП связаны между собой замкнутым циклом и передают свои продукты процессам-потребителям в соответствии с некоторой базой распределения (пропорции распределения стоимости ВБП приведены в таблице 1 и на рисунке 1). Вспомогательный БП №3 предшествует основным бизнес-процессам, через него осуществляется отнесение стоимости всех вспомогательных БП на основные БП и, в дальнейшем, на товарную продукцию.

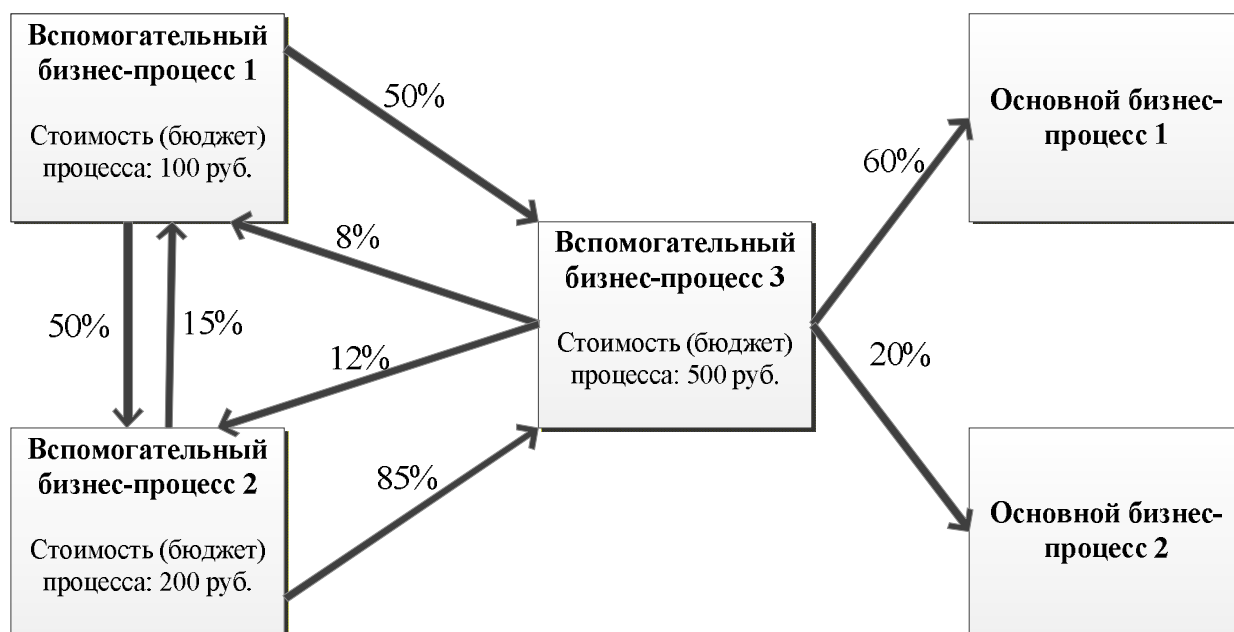


Рис. 1. Общая схема распределения стоимости вспомогательных бизнес-процессов

На первой итерации распределяется исходная (бюджетная) стоимость ВБП. На второй и последующих итерациях – стоимость входящих в рассматриваемый бизнес-процесс продуктов

процессов-поставщиков на предыдущем цикле распределения.

На основе данных первых пяти итераций составим сводные таблицы и проанализируем их.



Таблица 1

## Исходная информация для распределения стоимости ВБП

Название бизнес-процесса	Стоимость (бюджет) бизнес-процесса, руб.	Распределение стоимости ВБП, %				
		На ВБП 1	На ВБП 2	На ВБП 3	На основной БП 1	На основной БП 2
Вспомогательный бизнес-процесс 1	100	-	50	50	-	-
Вспомогательный бизнес-процесс 2	200	15	-	85	-	-
Вспомогательный бизнес-процесс 3	500	8	12	-	60	20
<b>Итого</b>	<b>800</b>					

Таблица 2

## Распределение стоимости (бюджета) ВБП на I итерации

Название бизнес-процесса	Стоимость (бюджет) бизнес-процесса, руб.	Распределение стоимости ВБП, руб.				
		На ВБП 1	На ВБП 2	На ВБП 3	На основной БП 1	На основной БП 2
Вспомогательный бизнес-процесс 1	100	-	50	50	-	-
Вспомогательный бизнес-процесс 2	200	30	-	170	-	-
Вспомогательный бизнес-процесс 3	500	40	60	-	300	100
<b>Итого</b>	<b>800</b>	<b>70</b>	<b>110</b>	<b>220</b>	<b>300</b>	<b>100</b>

Таблица 3

## Распределение стоимости ВБП на II итерации

Название бизнес-процесса	Стоимость входящих продуктов сторонних ВБП на предыдущей итерации, руб.	Распределение стоимости ВБП, руб.				
		На ВБП 1	На ВБП 2	На ВБП 3	На основной БП 1	На основной БП 2
Вспомогательный бизнес-процесс 1	70	-	35	35	-	-
Вспомогательный бизнес-процесс 2	110	16,5	-	93,5	-	-
Вспомогательный бизнес-процесс 3	220	17,6	26,4	-	132	44
<b>Итого</b>	<b>400</b>	<b>34,1</b>	<b>61,4</b>	<b>128,5</b>	<b>132</b>	<b>44</b>

Таблица 4

## Распределение стоимости ВБП на III итерации

Название бизнес-процесса	Стоимость входящих продуктов сторонних ВБП на предыдущей итерации, руб.	Распределение стоимости ВБП, руб.				
		На ВБП 1	На ВБП 2	На ВБП 3	На основной БП 1	На основной БП 2
Вспомогательный бизнес-процесс 1	34,1	-	17,05	17,05	-	-
Вспомогательный бизнес-процесс 2	61,4	9,21	-	52,19	-	-
Вспомогательный бизнес-процесс 3	128,5	10,28	15,42	-	77,1	25,7
<b>Итого</b>	<b>224</b>	<b>19,49</b>	<b>32,47</b>	<b>69,24</b>	<b>77,1</b>	<b>25,7</b>

Таблица 5

## Распределение стоимости ВБП на IV итерации

Название бизнес-процесса	Стоимость входящих продуктов сторонних ВБП на предыдущей итерации, руб.	Распределение стоимости ВБП, руб.				
		На ВБП 1	На ВБП 2	На ВБП 3	На основной БП 1	На основной БП 2
Вспомогательный бизнес-процесс 1	19,49	-	9,745	9,745	-	-
Вспомогательный бизнес-процесс 2	32,47	4,87	-	27,6	-	-
Вспомогательный бизнес-процесс 3	69,24	5,54	8,31	-	41,5	13,89
<b>Итого</b>	<b>121,2</b>	<b>10,41</b>	<b>18,06</b>	<b>37,35</b>	<b>41,5</b>	<b>13,89</b>

Таблица 6

## Распределение стоимости ВБП на V итерации

Название бизнес-процесса	Стоимость входящих продуктов сторонних ВБП на предыдущей итерации, руб.	Распределение стоимости ВБП, руб.				
		На ВБП 1	На ВБП 2	На ВБП 3	На основной БП 1	На основной БП 2
Вспомогательный бизнес-процесс 1	10,41	-	5,205	5,205	-	-
Вспомогательный бизнес-процесс 2	18,06	2,71	-	15,35	-	-
Вспомогательный бизнес-процесс 3	37,35	2,99	4,48	-	22,41	7,47
<b>Итого</b>	<b>65,82</b>	<b>5,7</b>	<b>9,685</b>	<b>20,56</b>	<b>22,41</b>	<b>7,47</b>

Таблица 7

## Сводные данные по стоимости ВБП на каждой итерации

Название бизнес-процесса	Стоимость БП, руб.				
	Итерация I	Итерация II	Итерация III	Итерация IV	Итерация V
Вспомогательный бизнес-процесс 1	100	70	34,1	19,49	10,41
Вспомогательный бизнес-процесс 2	200	110	61,4	32,47	18,06
Вспомогательный бизнес-процесс 3	500	220	128,5	69,24	37,35
<b>Итого</b>	<b>800</b>	<b>400</b>	<b>224</b>	<b>121,2</b>	<b>65,82</b>

Из таблицы 7 видно, что на каждой последующей итерации распределяемая между вспомогательными БП итоговая сумма уменьшается. Это связано с отнесением части стоимости вспомогательных БП на основные (производительные) бизнес-процессы на каждом цикле.

Из таблиц 8 и 9 следует, что 85 % совокупной стоимости ВБП было отнесено на основные БП уже на третьем цикле и 95,5 % – на пятом. Между количеством циклов и общей распределяемой суммой существует обратная зависимость. Если количество циклов распределения

будет стремиться к бесконечности, то распределяемая сумма будет стремиться к нулю.

**Выводы.** Предложенный принцип многоцикличности отнесения стоимости ВБП на себестоимость товарной продукции крупных промышленных предприятий позволяет учесть сложные экономические взаимосвязи между вспомогательными бизнес-процессами предприятия, которые проявляются в формировании замкнутых циклов. Усовершенствование существующих методов с учетом данного принципа позволит более точно рассчитывать себестои-

мость производимой продукции в части накладных расходов и принимать более обоснованные

управленческие решения.

Таблица 8

### Совокупная стоимость продуктов ВВП, распределенных на основные БП

Название бизнес-процесса	Стоимость входящих продуктов ВВП, руб.				
	Итерация I	Итерация II	Итерация III	Итерация IV	Итерация V
Основной бизнес-процесс 1	300	432	509,1	550,6	573
Основной бизнес-процесс 2	100	144	169,7	183,55	191,02
<b>Итого</b>	<b>400</b>	<b>576</b>	<b>678,8</b>	<b>734,15</b>	<b>764,02</b>

Таблица 9

### Доля распределенной стоимости ВВП на основные БП

Показатель	Стоимость входящих продуктов ВВП, руб.				
	Итерация I	Итерация II	Итерация III	Итерация IV	Итерация V
Доля распределенной совокупной стоимости ВВП	0,5	0,72	0,85	0,92	0,955

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Махмутов И.И., Карамышев А.Н., Сыч С.А. Методика оценки услуг вспомогательных подразделений // Интеграл. 2008. №6 (44). С. 68–70.
2. Карамышев А.Н., Махмутов И.И., Сыч С.А. Институциональный подход к анализу и формированию систем управления вспомогательными бизнес-процессами промышленного предприятия // Интеграл. 2009. №3 (47). С. 88–90.
3. Карамышев А.Н. Система управления стоимостью вспомогательных бизнес-процессов промышленных предприятий // Интеграл. 2009. №4 (48). С.81.
4. Исаев А.Г., Карамышев А.Н. Махмутов И.И., Сыч С.А. Методы оценки и распределения стоимости вспомогательных бизнес-процессов крупных промышленных предприятий. Н. Челны: издательство КФУ в г. Набережные Челны, 2010. 174 с.
5. Репин В. Бизнес-процессы. Моделирование, внедрение, управление. М.: РИА "Стандарты и качество", 2012. 512 с.
6. Репин В.В., Елиферов В.Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. Издательство: Манн, Иванов и Фербер, 2013. 544 с.
7. Андерсен Бьёрн. Бизнес-процессы. Инструменты совершенствования. М.: РИА «Стандарты и качество», 2003. 272 с.
8. Майк Ротер, Джон Шук. Учитесь видеть бизнес-процессы. Построение карт потоков создания ценности. М.: Альпина Паблишер, 2015. 144 с.
9. Бариленко В.И., Бердников В.В., Булыга Р.П. Основы бизнес-анализа: учебное пособие. М.: КНОРУС, 2013. 112 с.
10. Паклин Н.Б., Орешков В.И. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям. Издательство: Питер, 2013. 204 с.
11. Смирнов Ю.Н. Методология бюджетирования бизнес-процессов предприятия // Интеграл. 2008. №4. С.68–69.
12. Смирнов Ю.Н. Об экономике бизнес-процессов предприятия// Интеграл. 2008. №2. С. 74–75.
13. Самусенко С.А. Элементы метода ABC в системе поперечного учета затрат и калькулирования себестоимости продукции // Управленческий учет. 2006. №5. С.19–32.
14. Одинцова Е.Классификация методов учета затрат и калькулирования //Консультант директора. 2006. №20. С. 28–30.
15. Кондукова Э.В. Себестоимость без искажений. М.: Эксмо, 2008. 288 с.
16. Каспина Р.Г. Расчет себестоимости единицы продукции изделия на основе принципов функционально-процессного учета затрат ABC // Экономический анализ. 2003. №3. С. 11–15.

---

**Karamyishev A.N.****MULTICYCLE PRINCIPLE OF ATTRIBUTING THE COST OF SUPPORTING BUSINESS PROCESSES TO COMMODITY PRODUCTION COST IN LARGE INDUSTRIAL ENTERPRISES**

*The cost of supporting business processes in industrial enterprises is equal to 15 to 35 percent of its total costs. The process management technology offers new principles for attributing these costs to the costs of goods manufactured. However, the existing attributing methods do not take into account complex relationships between business processes of an enterprise and the problem of closed cycles appearance during allocation of the costs of supporting business processes. Use of the offered multicycle principle of attributing the costs of supporting business processes to commodity production costs allows eliminating the above specified disadvantages. Improvement of the existing methods with reference to this principle enables more accurate calculation of the cost of goods manufactured and take more reasoned management decisions. The article shows an illustrative example of formation of closed cycles in allocation of the costs of supporting business processes, as well as the calculations for multicycle allocation of the costs of supporting business processes to primary business processes.*

**Key words:** *business process, industrial enterprise, production cost, overhead costs, process-based management.*

---

**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

Авилова И.П., канд. экон. наук, проф.,  
Крутилова М.О., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## МЕХАНИЗМЫ ЭКОНОМИЧЕСКОГО СТИМУЛИРОВАНИЯ ЗЕЛЕННЫХ СТАНДАРТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ

kafeun@mail.ru

*Устойчивое развитие строительной отрасли страны, ориентированное на перманентный рост ее энерго- и ресурсоэффективности, предполагает максимальное внедрение в практику проектирования и экономического анализа экоориентированных принципов оценки, мониторинга и управления. Проводимая в стране реформа строительного ценообразования и переоценки ключевых принципов определения стоимости строительной продукции должна, в том числе, быть нацелена на совершенствование существующих механизмов оценки энергетических затрат и экологического ущерба в строительстве, интеграции их на законодательном уровне в развиваемый ресурсный метод определения сметной стоимости строительства, создание прозрачного и эффективного механизма экологического аудита в строительстве. Развитие рынка строительной индустрии в аспекте сохранения окружающей среды является одной из актуальных задач, предполагающих совершенствование и анализ методов формирования цены на строительную продукцию, поиск новых экоориентированных решений, что в свою очередь подразумевает переход к «зеленому строительству».*

**Ключевые слова:** зеленое строительство, устойчивое развитие, экологическая стоимость, экологический аудит, экодевелопмент.

**Введение.** Строительная отрасль – одна из наиболее материалоемких и энергоемких производственных отраслей на планете, включающая около 50 % потребления энергетических и 60 % материальных ресурсов. Очевидно, что рациональное ресурсопотребление, и как следствие, экологическое будущее человечества, в немалой степени зависит от текущего состояния этого вопроса в строительной отрасли, и, главным образом, намечающихся перспектив ее модернизации [1]. Для строительства, как производственной сферы национальных и глобальной экономик, обретение признаков «устойчивого развития» должно носить перманентный и необратимый характер.

В отличие от большинства прочих производств, строительная деятельность осуществляется в тесном взаимодействии с окружающей населенной средой, что всегда заостряло внимание исследователей на вопросах снижения экологического ущерба и уровня энергопотребления как при строительстве, так и эксплуатации зданий и сооружений. Повышение информированности об экологических проблемах, связанных с изменением климата и ограниченностью ресурсов, определило приоритетным развитие строительной отрасли последних лет в направлении «зеленого строительства». Зеленое строительство (устойчивое строительство) затрагивает широкий спектр вопросов, касающихся управления ресурсами в строительстве, рассматривая, в том числе, социальные, экономические

и иные воздействия на окружающую среду [2]. Для реализации концепции зеленого строительства традиционно задействованы все участники строительства: застройщики, проектировщики, архитекторы, подрядчики, производители строительных материалов и государство. Базовый экономический принцип зеленого строительства – взаимовыгодное сотрудничество сторон на протяжении всего жизненного цикла строительного объекта, является залогом действительного, а не декларативного энерго- и ресурсосбережения в строительстве.

На текущий момент мировое и российское законодательство содержит целый ряд принципиальных нормативных актов, устанавливающих общие принципы и приоритеты взаимодействия участников зеленого строительства. Так международным стандартом ISO 14040 «Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework», имеющим аналог в России ГОСТ Р ИСО 14040-2010 «Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Принципы и структура», предусматривается создание обязательного оперативного контроля за продвижением строительной продукции по всему жизненному циклу строительного объекта – от проектирования до утилизации. Этим документом впервые введена в практику оценка воздействия жизненного цикла (ОВЖЦ) – важный показатель экологического воздействия всех стадий создания строительной продукции, призванный минимизировать негатив-

ное воздействие на строительства на окружающую среду [3].

**Основная часть.** Стадии жизненного цикла строительного объекта включают в себя закупку сырья, проектирование, производство, транспортирование/поставку, использование, конечную обработку и/или переработку и окончательную утилизацию [4]. Целесообразность рассмотрения каждой стадии жизненного цикла определяется существенным отличием стадий по факторам негативного воздействия на окружающую среду и механизмам его предупреждения. Экологическое сопровождение жизненного цикла на отдельных этапах позволяет оценить не только интенсивность их негативного воздействия на окружающую природную среду (загрязнение, образование отходов, размеры потребления природных ресурсов и др.), но и осуществлять постадийный энергоаудит строительства.

Стадия производства строительных материалов является одной из наиболее значимых с точки зрения нанесения совокупного экологического вреда окружающей среде. Кроме того эта стадия предшествует непосредственно строительству, таким образом, нанесенный на этот момент экологический ущерб окружающей среде может рассматриваться как некоторый начальный уровень экологического урона, условно наносимого строительством даже на этапе формирования инвестиционного замысла. При добыче и закупке сырья происходит истощение не только природных, но и потребление материальных и энергетических ресурсов (использование автотранспорта, машин и механизмов для добычи сырья), нарушение ландшафта, повреждение экосистем (загрязнение воздуха, воды, почвы, выделение опасных выбросов и т.д.). Например, происходят выбросы твёрдых частиц при выемке экскаватором, подрывке, бурении, взрывных работах, перевозке [5]. При производстве строительных материалов также потребляются материальные и энергетические ресурсы, выбросы в атмосферу (в виде различных вредных газов, пыли, парниковый эффект), гидросферу (загрязнение водоемов, рек) и литосферу (загрязнение почвы, отходы). Немаловажный фактор загрязнения окружающей среды на стадии производства строительных материалов – их транспортировка и складирование. Кроме того на экологическую оценку того или иного строительного материала оказывает влияние его долговечность, напрямую устанавливающий интенсивность приведенного экологического ущерба от производства материала по времени его эксплуатации [6].

Стадия строительства с позиций энерго- и ресурсоэффективности рассматривается как отдельная стадия жизненного цикла строительного объекта, устанавливающая свой перечень факторов негативного воздействия на окружающую среду. В первую очередь, это факторы производства строительных работ, энергозатраты на использование строительной техники и наносимый ею экологический ущерб.

Стадия эксплуатации жизненного цикла строительного объекта рассматривается в аспекте ущерба окружающей среде и энергоресурсов, наносимого и потребляемых при выполнении технических и организационных мероприятий по поддержанию проектных потребительских характеристик и росту капитализации объекта недвижимости, входящих в состав facility- и property-менеджмента.

Стадия утилизации (повторного использования) исследуется с целью экологической и энергетической оценки процесса сноса объекта, инициирующего существенный прирост производимых объектом недвижимости отходов, загрязнений литосфера, атмосфера и гидросфера, энерго- и ресурсоемкости потенциальной ревитализации отторгаемой сносимым объектом территории и т.д.

В аналогичной взаимосвязи с факторами негативного воздействия на окружающую среду и энергопотреблением следует рассматривать строительные материалы как самостоятельные источники экологического ущерба, стадии жизненного цикла которых аналогичны стадиям жизненного цикла сложного из этих материалов строительного объекта (табл. 1).

Вопрос эффективного экологического и энергоаудита строительных материалов на всем жизненном цикле в наибольшей степени упирается в сложившуюся систему производственного документирования и решается за счет вскрытия и реализации имеющегося потенциала совершенствования методов сбора и анализа имеющейся информации.

В настоящий момент данные об использовании природных ресурсов и техногенном воздействии на окружающую среду на этапах закупки сырья и производства строительных материалов отражаются в эколого-экономическом паспорте предприятий строительной индустрии, который включает экологические и природоохранные данные, (сведения о размещении и производственной структуре предприятия); информацию об используемых ресурсах (в том числе о машинах и механизмах, оборудовании); характеристики выпускаемой продукции; сведения о выбросах в атмосферу, сбросах в водоёмы и использовании отходов по отдельным произ-

водствам; сведения о состоянии очистных сооружений и рекультивации нарушенных земель [7]. Предприятия и организации производству строительных материалов и изделий являются объектами обязательной экологической сертификации.

Немаловажным аспектом практико-ориентированности формируемой действенной системы эколого- и энергоаудита строительных материалов является повышение информированности потребителя об экологических аспектах строительной продукции. В настоящее время в России создаются независимые каталоги эко-

логически безопасных строительных материалов, одним из наиболее перспективных и развивающихся примеров которых является каталог GREEN BOOK, созданный по поручению и курируемый отраслевым комитетом Правительства РФ. Подобная каталогизация строительных материалов позволяет не только верифицировать их текущую экологичность, но и создать единый перечень наиболее ответственных производителей строительных материалов, согласующих свою деятельность с принципами непрерывного улучшения экосистемы [8].

Таблица 1

**Факторы экологического ущерба и энергопотребления на стадиях жизненного цикла строительных материалов**

Этап жизненного цикла строительных материалов	Загрязнение атмосферы	Загрязнение литосферы	Загрязнение гидросферы	Потребление энергии
Добыча и закупка сырья	Выбросы твердых частиц, NO <sub>2</sub> , CO, NO	Нарушение ландшафта и растительного покрова, образование твердых отходов	Промышленные и бытовые сточные воды	Электрическая и тепловая энергия
Производство строительных материалов	Производственная пыль, окись углерода, сернистый ангидрид и окись азота, сероводород	Твердые бытовые и промышленные отходы	Промышленные и бытовые сточные воды	Электрическая и тепловая энергия
Строительство, эксплуатация, утилизация (повторное использование)		Бензин неэтилированный, дизельное топливо, керосин, сжатый природный газ, сжиженный газ	Промышленные и бытовые сточные воды	Электрическая энергия

Для оценки степени влияния на окружающую среду на этапах строительства и эксплуатации объектов существуют добровольные системы сертификации объектов недвижимости. Наиболее распространенные из них LEED (США), BREEAM (Великобритания), DGNB (Германия). В России разработаны национальные стандарты ГОСТ Р 54964–2012 «Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости», СТО НОСТРОЙ 2.35.4–2011 «Зеленое строительство». Здания жилые и общественные. Рейтинговая система оценки устойчивости среды обитания» и СТО НОСТРОЙ 2.35.68–2012 «Зеленое строительство». Здания жилые и общественные. Учет региональных особенностей в рейтинговой системе оценки устойчивости среды обитания». Данные стандарты включают основные положения LEED, BREEAM, российских ГОСТов, СНиПов, а также учитывают региональные особенности климата и энергетической структуры места возведения объекта [9]. Указанные стандарты содержат целевые требования ко всем стадиям

жизненного цикла признаваемого экологичным и энергоэффективным объекта недвижимости, в том числе требования к строительным материалам.

Существенным препятствием к построению действенной и эффективной национальной системы эколого- и энергоаудита строительных материалов и строительных проектов является отсутствие в нормативном поле отечественного строительства законодательных директив, устанавливающих конкретные финансовые обязательства, возникающие у производителей строительных материалов и строительных инвесторов, использующих продукцию, полностью или не вполне соответствующую принятым стандартам зеленого строительства. Эффективный экологический аудит в инвестиционно-строительной деятельности должен основываться на популяризации зеленых стандартов, подкрепленной прозрачной и эффективной методикой стоимостной оценки экологического ущерба, наносимого окружающей среде деятельностью отрасли строительных материалов и строи-



тельной индустрией в целом. Эффективный путь регламентирования подобных методик в строительстве – экоориентированное совершенствование действующей системы ценообразования и сметного нормирования.

На сегодняшний день существует нормативная методика определения стоимости за нанесенного окружающей среде вреда, предусмотренная Федеральным законом №458-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный Закон «Об отходах производства и потребления», вступившем в силу 1 января 2016 г. К видам негативного воздействия на окружающую среду в этом документе относятся выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты, загрязнение недр и почв, загрязнение окружающей среды шумом, теплом, электромагнитными, ионизирующими и другими видами физических воздействий. Однако, этот документ определяет размер штрафных санкций за фактически нанесенный и задокументированный экологический ущерб, оставаясь в поле деятельности исключительно службы Контроля и надзора в сфере обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия (Роспотребнадзор) при рассмотрении отдельных экологических происшествий. Путей интеграции указанных методик с существующей системой сметного нормирования в строительстве в документе не содержится. В то же время, Федеральный закон №184-ФЗ «О техническом регулировании», регламентирующий оценку соответствия строительной продукции и регулирующий отношения участников строительства, возникающие на всех стадиях инвестиционно-строительного проекта, не распространяется на ценообразование и сметное нормирование в строительстве [10]. Следовательно, существующие системы зеленой сертификации не учитывают стоимостную составляющую в экологической и энергетической оценке объекта недвижимости.

Анализ существующей системы строительного ценообразования позволяет сделать вывод об отсутствии, в большинстве случаев, общепризнанной универсальной системы количественных показателей наносимого строительством экологического ущерба на различных этапах жизненного цикла от производства строительных материалов до эксплуатации и утилизации объекта [11]. Это не позволяет привести экологический ущерб к единому стоимостному эквиваленту (условной единице экоущерба на удельный объем строительных материалов или строительной продукции) и построить на этой базе формализуемые алгоритмы практически

экоориентированного ценообразования и сметного нормирования в строительстве. Данное обстоятельство существенно умаляет прикладное значение всей системы зеленой сертификации недвижимости и строительных материалов вообще, лишенной внятных механизмов экономического стимулирования энерго- и ресурсосбережения, следование стандартам которой на сегодняшний день является лишь актом доброй воли или общественной сознательности участников строительства.

В то же время, текущие перспективы развития системы ценообразования и сметного нормирования в строительстве предполагают ее существенное реформирование в ближайшее время. Правительство России одобрило законопроект о переходе на ресурсный метод ценообразования, предполагающий одновременный мониторинг стоимости строительных ресурсов в регионах. Для выполнения этой функции планируется создание Федеральной государственной информационной системы ценообразования в строительстве (ФГИС), призванной стать государственной информационной системой, обеспечивающей сбор, обработку, хранение, размещение и использование информации, необходимой для определения сметной стоимости строительства. Во ФГИС планируется разместить сметные нормативы, включенные в федеральный реестр сметных нормативов, а также сметные цены строительных ресурсов и методики их определения. Таким образом, ФГИС будет содержать актуальную информацию о ценах на строительные материалы, изделия и конструкции, а также о стоимости технических и трудовых ресурсов по всей стране с учетом территориальной специфики.

Данное обстоятельство создает достаточно благоприятные условия для экоориентированного совершенствования нормативной системы ценообразования и сметного нормирования. Для учета экологического негативного воздействия, наносимого строительной отраслью, целесообразно именно на этапе формирования ФГИС внести в базу сведения о количественных показателях и приведенной стоимости нанесенного произведенными строительными материалами экологического ущерба и потребленной энергии. Это позволит внедрить в сметную практику, нормативно упорядочить и периодически актуализировать методику определения стоимости строительных материалов и использующих их строительных работ с учетом наносимого ими вреда окружающей среде. Подведя нормативный экономический базис под сравнительную оценку энерго- и ресурсоэффективности различных проектных решений в строительстве и эксплуа-

тации объектов недвижимости, эта методика определит экономические стимулы и упрочит позиции зеленого строительства и инжиниринга в отраслевой практике.

Для определения экологической стоимости отдельных строительных материалов необходимо определить ключевые факторы загрязнения окружающей среды, изучить процессы их образование, установить количественные показатели экологического ущерба и энергопотребления на всех стадиях жизненного цикла строительного материала – добычи и закупки сырья, производства, транспортировки, строительства и утилизации объекта, и внести во ФГИС стоимостной эквивалент нанесенного ущерба. Составление по этим данным «экологически ориентированной» сметной документации позволит без дополнительной трудоемкости и методологических усложнений производить подробную экологическую оценку применяемых строительных процессов и технологий, конструктивных и объемно-планировочных решений в широком спектре отраслей современного строительного производства. В конечном счете, это позволит уже на проектной стадии выявлять наиболее экологически опасные и энергетически неэффективные проектные решения, материалы, изделия, конструкции, используемые машины и механизмы, и экономически стимулировать выбор застройщиком более совершенных.

**Выводы.** Таким образом, эффективное внедрение в отечественную практику современных зеленых стандартов строительства и эксплуатации недвижимости должно строиться с одновременным совершенствованием системы сметного нормирования и ценообразования, включающим разработку и имплементацию методик определения «экологической стоимости» строительных материалов – денежного эквивалента нанесенного их производством экологического ущерба и связанного с этим энергопотребления. Экологическая стоимость материалов, вносимая в состав сметной стоимости строительства, позволит оценить сравнительную экономическую целесообразность альтернативных проектных решений в строительстве, минимизируя, в конечном итоге, загрязнения окружающей среде и стабилизируя (улучшая) общий экобаланс территории. Реализации такого подхода к минимизации экологического ущерба, наносимого строительной индустрией, требует согласованных действий и заинтересованности всех участников строительства – от производителей строительных материалов до застройщиков, делающих выбор в пользу экологически чистых материалов и технологий производства работ, что возможно лишь при непосредственном уча-

стии государства в создании системы их экономического стимулирования.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авилова И.П., Наумов А.Е., Крутилова М.О. Экономические и правовые аспекты экоориентированного аудита в строительстве // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 5. С. 212–216.
2. Щенятская М.А., Авилова И.П., Наумов А.Е., Товстий В.П. Инфраструктурная полнота застройки как фактор эффективности реализации инвестиционно-строительного проекта // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 7. № 1 (3). С. 46–49.
3. Щенятская М.А., Авилова И.П., Наумов А. Е. К вопросу об учете рисков при анализе эффективности инвестиционно-строительных проектов // В сборнике: Образование и наука современное состояние и перспективы развития: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. Тамбов, 2015. С. 180–183.
4. Щенятская М.А., Авилова И.П., Наумов А.Е. Содержательный аспект понятий жилой и коммерческой недвижимости // Вестник научных конференций. 2016. № 1-5 (5). С. 213–216.
5. Крутилова М.О., Савченко А.В. Методические подходы к оценке экологической стоимости строительных материалов // Научные труды SWorld. 2015. Т. 9. № 3. С. 58–63.
6. Щенятская М.А., Авилова И.П., Наумов А.Е. Оценка финансово-экономических рисков инвестиционно-строительного проекта при дефиците исходных данных // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 1. С. 185–189.
7. Жариков И.С., Страхова А.С. Современные методы ресурсосбережения в российской федерации // В сборнике: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород, 2015. С. 1054–1057.
8. Ходыкина И.В., Крутилова М.О. Основные аспекты экологического законодательства Российской Федерации в сфере строительства // Вестник научных конференций. 2016. № 3-2 (7). С. 100–102.
9. Жариков И.С., Крутилова М.О., Ишук Я.Л., Пикалова А.А., Шарапова А.В. Научно-технический подход к оптимизации капитальных вложений в реконструкцию функционирующих производственных предприятий // В сборнике: Современные тенденции в образова-

нии и науке сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 14 частях. Тамбов. 2014. С. 57–60.

10. Соколова Н. Ю., Наумов А. Е., Щенятская М. А. Качественное влияние инфраструктурного насыщения территории на риски реализации жилых объектов // В сборнике: Наука и образование в жизни современного общества сборник научных трудов по материалам Между-

народной научно-практической конференции 30 апреля 2015 г.: в 14 томах. Тамбов, 2015. С. 138–141.

11. Крутилова М.О., Авилова И.П. Методические основы экоориентированного ценообразования в строительстве [Электронный ресурс] // VII Международный молодежный форум «Образование, наука, производство». Белгород, 2015.

---

**Avilova I.P., Krutilova M.O.**

#### **ECONOMIC INCENTIVES FOR GREEN BUILDING STANDARDS**

*Sustainable development of the construction industry of the country is focused on permanent growth of its energy and resource efficiency, and involves the introduction of the practice of design and economic analysis of the eco-oriented principles of assessment, monitoring and management. Reform in the field of construction pricing and revaluation of the key principles for determining the cost of construction products should be aimed at improving the existing arrangements for the assessment of energy costs and environmental damage in the construction, integration at the legislative level in developing resource method of determining the estimated cost of construction, the establishment of transparent and effective environmental auditing mechanism construction. The development of the construction industry market in the aspect of environmental conservation is one of the most urgent problems and suggests improvement and analysis of methods for pricing for construction products, the search for new solutions eco-oriented, which in turn implies a transition to green building.*

**Key words:** *green building, sustainable development, environmental costs, environmental audits, ecodevelopment.*

---

**Авилова Ирина Павловна**, кандидат экономических наук, профессор кафедры экспертизы и управления недвижимостью.

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

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

E-mail: avilova\_irina@mail.ru

**Крутилова Мария Олеговна**, аспирант кафедры экспертизы и управления недвижимостью.

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

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

E-mail: marykrutilova@gmail.com

*Шабанова М.М., д-р экон. наук, проф.,**Атуева Э.Б., канд. экон. наук, доц.,**Гасанова Н.М., канд. экон. наук, доц.**Дагестанский государственный технический университет*

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ИННОВАЦИОННО-ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКИХ ПРОЕКТОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

**enara555@yandex.ru**

*Анализ мировой практики показывает, что успех инновационной деятельности компаний во многом зависит от всестороннего, глубокого изучения инвестором жизненного цикла проекта, проведения тщательной оценки и экономического обоснования инвестиционного проекта в строительстве. На сегодняшний день в России в управлении инвестициями строительства существует острая необходимость усиления инновационной направленности, поскольку инновационное развитие строительной отрасли способствует экономическому и социальному подъему страны в целом. Однако существуют определенные проблемы с привлечением инвестиций с инновационной направленностью в строительную сферу и, прежде всего, это связано с высокими рисками применения новых технологий, отсутствием необходимого уровня квалификации работников, длительным процессом внедрения. Для определения привлекательности инвестиций с инновационной направленностью экономисты применяют различные подходы к оценке. В данном исследовании проводится анализ существующих методик оценки инновационно-инвестиционных проектов в строительстве, выявляются недостатки и предлагаются меры по их устранению.*

**Ключевые слова:** экономика, строительство, инновационно-инвестиционная политика, проектирование, предпринимательство, оценка эффективности проекта.

**Введение.** Строительство выступает одной из важнейших и крупных отраслей, связанных с макроэкономической политикой страны и регионов. Из всех отраслей экономики строительство отличают первостепенная роль и особое значение, поскольку результатом его функционирования становится множество государственных, частных, жилых, промышленных и иных зданий и сооружений. Показатель развития страны во многом зависит именно от состояния строительной отрасли.

Сегодня все больше внимания уделяется экономической эффективности отрасли строительства.

Аспект совершенствования существующей системы организации инновационно-инвестиционной деятельности предприятий на федеральном, региональном и муниципальном уровнях экономики является довольно важной для строительной сферы. Оценка состояния экономики Республики Дагестан отражает определенные специфические проблемы инвестиционной активности в отрасли строительства в динамике последних лет. В законодательных актах федерального и регионального уровней постоянно отмечается необходимость усиления инвестиционного процесса с инновационной направленностью в сфере строительства, тем не менее значительных результатов в данном сегменте рынка в регионе пока не наблюдается.

Текущие тенденции развития экономики Дагестана, характеризующиеся отсутствием достаточного инвестиционного притока по ряду направлений, обусловлены более разумным, нежели раньше, подходом со стороны потенциальных инвесторов к оценке рентабельности реализации того или иного проекта, особенно в случаях применения нетрадиционных подходов, решений, новых идей и материалов. Подобные тенденции характерны и для строительной отрасли. Указанные обстоятельства обуславливают необходимость анализа существующих и разработки новых методик оценки эффективности инновационных проектов в сфере строительства [15].

Республика Дагестан – один из регионов России, нуждающийся в динамичных изменениях, обладающий определенным потенциалом для реализации инвестиционных и инновационных проектов.

На уровне ведомств республики, ответственных за развитие отрасли строительства, имеют место недоработки в обосновании важности реализации подготавливаемых региональных инвестиционно-строительных проектов. Составляющими элементами подобной оценки выступает поиск направлений повышения экономической эффективности проектов, требующих дальнейшего развития и совершенствования. Также отсутствуют разработанные пути

снижения инвестиционного риска и повышения инвестиционного потенциала региона. Указанные факторы и определяют направления, требующие научных исследований.

Первостепенное значение для руководства республики имеет максимальное увеличение значимости инвестиционно-строительного проектирования, что является особенно актуальным в тех условиях, когда строительная отрасль ориентируется на интенсивный путь развития. Рычаги инвестиционной политики республики сегодня почти все сконцентрированы на уровне Агентства по предпринимательству и инвестициям РД. И основной задачей Агентства является увеличение величины валового регионального продукта, производимого предпринимателями и инвесторами в Республике Дагестан. В Реестр инвестиционных проектов республики входят 62 проекта на сумму более 202 млрд рублей. [7] В Дагестане реализуется восемь инвестиционных проектов в сфере строительства на сумму более 27 млрд 400 млн рублей, сообщили РИА «Дагестан» в Минстрое РД. В 2015 году в республике реализовано 11 инвестиционных проектов на общую сумму 17 млрд 159 млн. рублей. В рамках реализации данных проектов создано 770 рабочих мест. Сегодня отрасль объединяет более 4 тысяч предприятий и организаций. В республике одновременно ведется строительство более 15 тысяч объектов, в том числе порядка 760 многоквартирных жилых домов, 304 объекта общественного назначения, 26 объектов инфраструктуры, более 20 объектов спортивно-оздоровительного назначения и т.д. Все это говорит о том, что потребность республики в инвестициях в строительство и увеличение производимой строительной продукции из года в год только возрастает [7, 10].

Руководство республики определило перспективы развития инновационных конкурентоспособных производств строительной продукции, что является главной целью каждого реализуемого в республике инвестиционного проекта в данной сфере. Здесь предусмотрено дальнейшее инновационное развитие деятельности завода по производству гипса и гипсосодержащих материалов стоимостью 1 млрд 700 млн рублей, из которых значительная доля (более 1 млрд рублей) – привлекаемые внебюджетные средства; строительство цементного завода стоимостью 21 млрд рублей – в силу высоких потребностей в республике в цементе и его импортом из Ирана. Также завершена реализация еще одного инвестиционного проекта ООО «Евроресурс» по выпуску цемента. В Махачкале завершена реконструкция завода ОАО «Завод железобетонных конструкций» – «Стройдеталь» в

рамках реализации инвестиционного проекта «Комплексная производственная установка для изготовления сборных элементов домов» с участием немецкой фирмы EPC Engineering Consulting. Мощности завода после реализации проекта позволят выпускать сборные элементы жилых домов экономического класса на 60 тысяч квадратных метров жилья в год. [6] Недавно открыт завод ООО «Мараби» по производству и реализации керамической и гранитной плитки – масштабное инновационное предприятие, позволяющее удовлетворить потребности в данной продукции не только региона. Продукция завода «Мараби» будет поставляться в регионы СКФО, а также в Москву. В планах – поставки в Казахстан и Азербайджан [9].

Для поддержки инвестиционных проектов и размещения их в местах с готовой инфраструктурой, в республике проведена значительная работа по созданию 16 инвестиционных площадок. Также создано два индустриальных парка: парк «Тюбе» в Кумторкалинском районе и частный индустриальный парк «Кристалл Сити» в Каспийске. В Дагестане в настоящее время полностью сформирована законодательная база по поддержке и защите инвестиционной деятельности. В частности, принят закон «О государственной поддержке инвестиционной деятельности на территории Республики Дагестан». В соответствии с ним осуществляется государственная поддержка в форме налоговых льгот на срок до пяти лет, субсидирование части процентной ставки по привлекаемому банковскому кредиту, предоставление государственных гарантий в обеспечении возврата заемных средств, привлекаемых для реализации приоритетных инвестиционных проектов, льгот при аренде объектов недвижимости и земельных участков, находящихся в государственной собственности Республики Дагестан, а также предоставление нефинансовых мер государственной поддержки инвестиционной деятельности. Указанные формы государственной поддержки предусмотрены для инвестиционных проектов, получивших статус приоритетного инвестиционного проекта Республики Дагестан. Также предоставляется государственная поддержка в форме финансирования разработки бизнес-планов и компенсации части затрат на разработку проектно-сметной документации инвестиционных проектов, предлагаемых к реализации в приоритетных отраслях экономики республики. Основными факторами, обеспечивающими инвестиционную привлекательность республики, являются выгодное географическое положение и важнейшее геополитическое значение для России, высокая обеспеченность республики собственными энер-

гоносителями (электроэнергия, нефть, газ), развитая транспортная инфраструктура (железнодорожный транспорт, автомобильные магистрали федерального значения, международный аэропорт, морской порт, трубопроводные сети – участие в функционировании транспортных коридоров Север-Юг и Восток-Запад). Помимо этого, Дагестан привлекает инвесторов наличием нормативно-правовой базы, обеспечивающей необходимые условия для инвестиционной деятельности, наличием свободных земель сельскохозяйственного значения, производственных площадок, обеспеченных инженерной инфраструктурой, высоким природно-ресурсным потенциалом (значительные запасы неэксплуатируемых минерально-сырьевых ресурсов, углеводородного сырья – нефти и газа). Среди факторов, обеспечивающих инвестиционную привлекательность, также можно назвать высокий туристско-рекреационный потенциал (морское побережье, горные и предгорные районы, концентрация бальнеологических ресурсов на небольшой территории), наличие квалифицированной рабочей силы и экономически активного населения, развитая сеть высших и средних специальных образовательных учреждений, обладающих научно-исследовательским потенциалом и высокая обеспеченность республики связью и телекоммуникациями. В настоящее время в республике разработано огромное количество инвестиционных проектов, львиная доля которых приходится на сферу промышленности и агропромышленный сектор [13].

Порядка 200 млн рублей получит Республика Дагестан на поддержку малого и среднего предпринимательства [14].

Важно отметить, что масштабы инвестиций в строительную отрасль РД в 2015 году составили около 124 млрд. рублей (для сравнения, в 2014 году рост составил 6,6 %), что является лучшим показателем в СКФО, а по стране республика занимает 14-е место среди всех субъектов РФ.

Кроме этого, производство строительных материалов, изделий и конструкции в прошлом году выросло на 12,4 %. В данной сфере в прошлом году также был реализован ряд инвестиционных проектов [8].

**Методика.** Важно определение привлекательности инвестиций в инновационном строительстве на основе разработки подхода, основанного на совокупности факторов, а также проведение оценки эффективности инвестиционно-инновационного проектирования в данной отрасли.

**Основная часть.** В современной научной литературе в последнее время все больше вни-

мания уделяется вопросам оценки и обоснованности инвестиционных предпринимательских проектов в строительной отрасли. Это можно обусловить такими факторами, как недостаточность финансовых ресурсов, которыми обладают субъекты предпринимательства, с одной стороны, и повышенным вниманием к требованиям обоснованности рыночной и иной стоимости объектов недвижимости, с другой.

Процессу реализации инновационных и инвестиционных процессов в строительной сфере сопутствуют определенные проблемы [5]:

- отсутствие стремления проектировщиков, строителей, архитекторов применять в своей работе современные инновационные технологии (это объясняется повышенным риском применения новых технологий без необходимого нормативно-технического и законодательного закрепления);

- низкий уровень квалификации сотрудников предприятия в области инновационного менеджмента;

- длительность процесса внедрения инноваций и их низкая оплата в отрасли строительства.

Отрицательно сказывается на прилив инвестиций инновационного характера в строительную сферу также административные барьеры и коррупция на всех этапах строительства; низкое качество используемых в строительстве материалов (большинство из которых выполнено по устаревшим ГОСТам и СНИПам или без их учета).

Неблагоприятно к инновациям в инвестиционном проектировании в строительной отрасли настроены и потребители, поскольку они боятся любых изменений в данной сфере и предпочитают традиционные технологии строительства.

Отсутствует мотивация к инновационному прорыву и у застройщиков. В условиях, когда спрос превышает предложение, они способны продать даже самую низкокачественную строительную продукцию и выручить от продажи немалые деньги.

По данным обследования деловой активности строительных организаций, проведенному в 2014 году, индекс предпринимательской уверенности в строительстве в IV квартале 2014 года составил 1 %. В то время как в 2012 году он составлял 2,5 %. Резко сократилась и численность занятых в строительстве. В 2015–2016 году эти тенденции продолжились. [2]

Для инновационно-инвестиционного стартапа в предпринимательстве в строительной сфере, в первую очередь, необходимы экономические стимулы, налоговые льготы, гранты, суб-

сидии. На инновационную атмосферу в инвестиционном проектировании может повлиять умеренное государственное воздействие, которое могло бы снять нормативные барьеры, а также повлиять на предубеждения против инновационных внедрений в инвестиционное проектирование.

Постановлением Правительства Российской Федерации от 30 октября 2014 г. № 1119 «Об отборе субъектов РФ, имеющих право на получение господдержки в форме субсидий на возмещение затрат на создание инфраструктуры

индустриальных парков и технопарков» [11] определены виды государственной поддержки из федерального бюджета на финансирование мероприятий по созданию индустриального (промышленного) парка в целях подведения к границе частного промышленного парка сетей инженерной инфраструктуры, технологического присоединения (подключения) к объектам электросетевого хозяйства, строительства объектов инфраструктуры, инженерной подготовки в границах земельного участка (табл. 1) [4].

Таблица 1

### Государственная поддержка индустриальных парков

Вид государственной поддержки	Объем и источник господдержки
Субсидии субъектам на возмещение затрат, связанных с созданием инфраструктуры индустриальных парков находящихся в государственной собственности.	100% налога на прибыль организаций, 50 % НДС, 50 % акцизов на автомобили и мотоциклы, а также 50 % ввозных таможенных пошлин.
Субсидии в целях возмещения части фактически произведенных и документально подтвержденных затрат на уплату процентов по кредитам, полученным российскими организациями – специализированными управляющими компаниями, осуществляющими деятельность по управлению индустриальным парком.	Объем субсидирования процентной ставки по кредиту (доля от ставки рефинансирования ЦБ РФ) – 90 %. Предоставляются организациям, прошедшим конкурсный отбор инвестиционных проектов, предусматривающих, в том числе капитальное строительство объектов инфраструктуры и промышленности.
Субсидии субъектам РФ на софинансирование обязательств бюджетов субъектов РФ по предоставлению субсидий российским организациям на компенсацию части затрат на реализацию инвестиционных проектов по созданию инфраструктуры индустриальных парков, понесенных в 2014 – 2020 годах.	Компенсация части затрат на реализацию инвестиционных проектов по созданию инфраструктуры, понесенных в 2014 – 2020 годах, и на осуществление бюджетных инвестиций субъектов РФ в объекты государственной собственности, относящиеся к инфраструктуре индустриальных парков.

В инвестиционном строительстве для оптимальной реализации проектов необходимо конкретное обоснование эффективности внедрения инноваций для того, чтобы быть уверенным в том, что сумма инвестируемых финансовых средств не превысит желаемого дохода от инвестиций.

На решение инвестора о начале инвестиционного проекта в строительстве влияет большое количество внешних и внутренних факторов и связанные с ними риски: социальный, потребительский, экологический, кадровый, финансовый, производственный и другие. Каждый из указанных факторов характеризуется совокупностью показателей, которые определяют инвестиционную привлекательность проектов.

Таким образом, на этапе экономических отношений ученые-экономисты для определения привлекательности инвестиций в инновационном строительстве применяют подход, основанный на совокупности общественно-политических, социальных, природных, хозяйственных и психологических факторов. Данная методика оценки эффективности инвестиционно-инновационного проектирования основыва-

ется на использовании интегрального показателя эффективности инвестиционно-инновационного строительства [3].

$$\text{ЭИИВ} = (K_1 \times L_n + L_{2n}) / \sum_{i=1}^n L_i, \quad (1)$$

где ИИК – интегральный показатель оценки эффективности инновационно-инвестиционных вложений в строительство;  $K_1$ ,  $K_n$  – показатели экологические, экономические, социальные и др.;  $L_1$ ,  $L_n$  – веса показателей.

Интервал частных показателей колеблется от 0 до 10 000. Таким образом, чем выше показатель ЭИИВ, тем более привлекательной является отрасль выбранного региона.

Однако данная методика оценки имеет определенный недостаток, связанный с отсутствием фактических данных по отрасли, информации в сравнении привлекательности одного региона над другими, рискованности одного региона по сравнению с другими, причем разница может быть как незначительной, так и достаточно весомой.

Современные ученые-экономисты и аналитики, изучив данную методику, предложили



альтернативный вариант оценки эффективности инновационно-инвестиционной привлекательности проекта, как формулу, состоящую из рисков и экономической составляющей.

$$\text{ИИП} = \text{ЭС} \times (1 - \text{РС}), \quad (2)$$

где ИИП – показатель инновационно-инвестиционной привлекательности строительства; РС – рисковая составляющая; ЭС – экономическая составляющая [6].

Показатель ЭС рассчитывается как отношение прибыли от инвестиций в инновационный проект к сумме вложенных средств. Рисковая составляющая необходима для оценки величины уровня риска от внедрения инноваций.

Указанная методика оценки включает в себя как количественные, так и качественные показатели. Для расчета рисков составляющей все количественные показатели группируются по степени влияния их на величину инвестиций в основной капитал, таким образом, отбираются наиболее значимые величины. С целью сопоставления количественных и качественных показателей и возможности их дальнейшего использования формируется шкала баллов, которая позволяет каждому показателю присвоить соответствующий весовой коэффициент.

Таким образом,

ИП > 0,4 – высокая инвестиционная привлекательность строительства;

0,2 < ИП < 0,4 – инвестиционная привлекательность выше среднего;

0,1 < ИП < 0,2 – средняя инвестиционная привлекательность проекта;

0,05 < ИП < 0,1 – привлекательность инвестиционного проекта ниже среднего;

ИП < 0,05 – низкая инвестиционная привлекательность.

Наличие возможности сравнения инвестиционной привлекательности различных регионов является важнейшим преимуществом указанного метода оценки, однако существует и определенный недостаток, связанный с первоначальной значимостью инвестиционной составляющей над инновационной.

Следовательно, изучение предлагаемых методик оценки инновационно-инвестиционного строительства показывает, что в процессе проведения оценки существуют определенные сложности, связанные с использованием труднодоступной информации, сложностью расчетов, противоречивостью результатов оценки проведенных разными методиками.

При этом можно отразить следующие основные недостатки:

– используемые показатели носят как количественный, так и качественный характер, что усложняет процедуру расчета;

– различное толкование термина «инновационно-инвестиционная привлекательность» проекта;

– отсутствие достаточной обоснованности принципов агрегирования отобранных для оценки совокупности показателей;

– сложности в обосновании выбранных методик оценки [1].

Также необходимо отметить отсутствие регулярности в проведении оценки.

**Выводы.** Следовательно, недостатки методик оценки инновационно-инвестиционных проектов в строительстве являются толчком для разработки новых подходов к оценке инновационных проектов в сфере строительства, которые учитывали бы фактор времени, а также риски и месторасположение. Такая методика оценки позволит учитывать как пространственно-временные факторы, так и предполагаемые риски и потери организаций, принимающих участие в финансировании, экспертизе, разработке и реализации инновационных проектов.

Ориентирование основной функции инвестиций на повышение уровня рентабельности продаж создает определенный импульс разработки технологий прорыва, но которые считаются не перспективными из-за высокой капитализации проектов.

На уровне ответственных за инвестиции ведомств республики важно четко поставить задачи по поддержке и развитию предпринимательской и инвестиционной деятельности в Республике Дагестан, развитию самозанятости населения, повышению роли малого и среднего предпринимательства в экономике Дагестана. По-прежнему немалая роль должна уделяться и созданию благоприятных условий для привлечения инвестиций в строительстве инвестиционных объектов. У республики имеется в запасе еще не реализованный потенциал. В процессе реализации данного курса можно добиться увеличения налоговых поступлений от субъектов предпринимательской и инвестиционной деятельности в республиканский бюджет, снижения количества безработных граждан. Важно проводить комплексный анализ состояния предпринимательской и инвестиционной активности в Дагестане [12].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авилова И.П., Жариков И.С., Товстий В.П. О содержательной основе ставки дисконтирования метода NPV // Экономика и предпринимательство. 2013. №12. Ч. 1. С. 641–643.

2. Атуева Э.Б., Дусилаева Х.М., Шабанова М.М. Приоритетные направления развития жилищно-коммунального хозяйства. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2015; 38(3). С. 141–147.
3. Исламутдинов В.Ф. Универсальный подход к оценке эффективности и отбору инновационных проектов // Проблемы современной экономики. 2012. №3.
4. Мейланов И.М., Эсетова А.М. Основные направления повышения инвестиционной привлекательности промышленного строительства. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2015; 38(3). С. 192–202.
5. Рыкова М.А., Авилова И.П., Байдина О.В. К вопросу о совершенствовании понятийно-методологического аппарата инвестиционной деятельности в недвижимости. // Экономика и предпринимательство. 2014. № 12–4 (53–4). С. 588–590.
6. Шнайдер В.В. Методологические аспекты инвестиционного анализа// Вектор науки ТГУ. 2012. №2.
7. [http://www.riadagestan.ru/news/economy/bashir\\_magomedov\\_dagestan\\_obladaet\\_bolshim\\_potentsialom\\_dlya\\_razvitiya\\_predprinimatelstva\\_i\\_investitsionnoy\\_deyatelnosti/](http://www.riadagestan.ru/news/economy/bashir_magomedov_dagestan_obladaet_bolshim_potentsialom_dlya_razvitiya_predprinimatelstva_i_investitsionnoy_deyatelnosti/) [Электронный ресурс] (дата обращения: 17.11.2016 г.)
8. [http://www.riadagestan.ru/news/tourism\\_events/vosem\\_investproektov\\_v\\_sferu\\_stroitelstva\\_na\\_obshchuyu\\_summu\\_bolee\\_27\\_milliardov\\_rublej\\_realizuyetsya\\_v\\_dagestane/](http://www.riadagestan.ru/news/tourism_events/vosem_investproektov_v_sferu_stroitelstva_na_obshchuyu_summu_bolee_27_milliardov_rublej_realizuyetsya_v_dagestane/) [Электронный ресурс] (дата обращения: 18.10.2016 г.)
9. <http://wishmaster2.livejournal.com/1185627.html> [Электронный ресурс] (дата обращения: 29.11.2016г.)
10. [http://www.advis.ru/php/view\\_news.php?id=43DBF8AA-A2AB-E64A-A36F-FD96F835E637](http://www.advis.ru/php/view_news.php?id=43DBF8AA-A2AB-E64A-A36F-FD96F835E637) [Электронный ресурс] (дата обращения: 01.12.2016г.)
11. <http://base.garant.ru/70785652/> [Электронный ресурс] (дата обращения: 25.11.2016г.)
12. <http://investrd.e-dag.ru/info/item/2> [Электронный ресурс] (дата обращения: 01.12.2016г.)
13. <http://investrd.e-dag.ru/info/3> Башир Магомедов: «Дагестан обладает большим потенциалом для развития предпринимательства и инвестиционной деятельности» [Электронный ресурс] (дата обращения: 01.12.2016г.)
14. <http://investrd.e-dag.ru/info/3> Дагестан получит 200 млн. рублей на поддержку малого и среднего бизнеса [Электронный ресурс] (дата обращения: 01.12.2016г.)
15. [http://vestnik-es.vlsu.ru/fileadmin/\\_temp\\_/Kornilov.pdf](http://vestnik-es.vlsu.ru/fileadmin/_temp_/Kornilov.pdf) [Электронный ресурс] (дата обращения: 01.12.2016г.)

---

**Shabanova M.M., Atueva E.B., Gasanova N.M.**

## **THE DEVELOPMENT OF THE METHODS OF ASSESSING INNOVATION AND INVESTMENT IN BUSINESS BUILDING PROJECTIONS**

*Analysis of the world practice shows that success of innovation activities of companies is largely dependent on a comprehensive, in depth study of the investment project for construction. Today in Russia in the investment management of the construction there is an urgent need to the strengthen the innovative orientation, as the innovative development of the construction industry contributes to the economic and social recovery of the whole country. But there are some problems with attracting investment of innovation oriented to the construction industry and, above all, it is connected with high risks of new technologies, the absence of the required level of qualification of workers, long-term process of implementation. To determine the attractiveness of investments innovative oriented economists have taken different approaches to the evaluation. In this study, an analysis of existing evaluation methods of innovation and investment projects in building, identifies shortcomings and proposes measures to address them.*

**Key words:** *economy, building, innovation and investment policy, business projects, designing projection, evaluation of the project.*

---

**Шабанова Мадина Мухидиновна**, доктор экономических наук, профессор кафедры государственного и муниципального управления.

Дагестанский государственный технический университет.

Адрес: Россия, 367030, Республика Дагестан, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70,

E-mail: madinash@inbox.ru

**Атуева Энара Бадурсултановна**, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономического развития, маркетинга и бизнеса.

Дагестанский государственный технический университет.

Адрес: Россия, 367030, Республика Дагестан, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70,

E-mail: enara555@yandex.ru

**Гасанова Наида Мухудадаевна**, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и управления на предприятии

Дагестанский государственный технический университет.

Адрес: Россия, 367030, Республика Дагестан, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70,

E-mail: [naida1107@mail.ru](mailto:naida1107@mail.ru)

Дорошенко Ю.А., д-р экон. наук, проф.,  
Климашевская А.А., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## АНАЛИЗ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕДПРИЯТИЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В КОНТЕКСТЕ ОЦЕНКИ НЕОБХОДИМОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ В ОТРАСЛИ

anastasia.klimashevskaya@gmail.com

Важнейшим условием эффективного функционирования предприятий промышленности строительных материалов является технический прогресс, неотъемлемой частью которого является технологическая модернизация. Определяющим фактором в процессе оценки необходимости проведения технологической модернизации на предприятиях выступает анализ показателей научно-технического потенциала предприятий. Для выбора оптимальных показателей научно-технического потенциала необходимо учитывать специфику отрасли. В статье описывается собственная методика определения показателей, основанная на анализе систем стандартных и специфических показателей для промышленности строительных материалов. Процесс оценки показателей инновационной активности является одним из главенствующих факторов, оказывающим влияние на готовность предприятия к технологической модернизации. Выбор показателей осуществляется на основании комплекса индикаторов инновационной активности отечественного и зарубежного опыта. Оценка инновационной активности предприятия является начальным этапом анализа научно-технического потенциала. Только при комплексном анализе всех показателей научно-технического потенциала возможно в полной мере оценить потенциал предприятий и говорить о целесообразности проведения технологической модернизации.

**Ключевые слова:** технологическая модернизация, промышленность строительных материалов, научно-технический потенциал, показатели научно-технического потенциала, инновационная активность предприятия.

На сегодняшний день для развития как экономики страны в целом, так и ее отдельных регионов важно создать благоприятные условия для развития экономической среды и повышения эффективности деятельности предприятий, которые смогут стать конкурентоспособными участниками внутреннего и международного рынка. Одним из важнейших направлений повышения конкурентоспособности предприятий становится именно технологическая модернизация.

Роль технологий в модернизации предприятий и экономики в целом огромна. В рамках смены технологий происходят волнообразные изменения, которые проявляются в смене технологических укладов, представляющих собой специфический макроэкономический комплекс технологически сопряженных производств [1].

Неотъемлемым условием развития производства является технический прогресс, определяющим этапом которого является технологическая модернизация. От уровня технологии, управления и техники на производстве напрямую зависят практически все технико-экономические показатели функционирования предприятия и, как следствие, его конкуренто-

способности [2]. Технология, организация и техника являются единым целым.

Процесс анализа необходимости внедрения технологической модернизации представляет собой колоссальный процесс, который оказывает влияние на целый спектр направлений деятельности предприятия. Определяющим этапом при оценке потребности в технологической модернизации становится создание грамотного методического подхода к оценке технико-организационного потенциала предприятия.

Как отмечала Морозова Ю.П., именно переход на передовые технологии производства становится условием роста технико-организационного уровня предприятия [3].

Процесс технологической модернизации невозможно представить без структурного анализа технико-организационного потенциала. Вместе с этим, совершенствование научно-технического потенциала невозможно представить без учета отраслевых особенностей производства, для предприятий промышленности строительных материалов важнейшими являются:

- влияние через результат строительства и на него на эффективность работы остальных отраслей, осуществление задач по оперативной

разработке и внедрению выпуска новых продуктов достойного качества, который обеспечивает рост эффективности капитального строительства.

-значительная доля энергетических и материальных затрат в себестоимости продукции определяется технологическими особенностями и зависимостью расположения предприятия и источником используемых ресурсов.

- существенные объемы экологически вредных выбросов представляют собой экологическую опасность и определенную напряженность в районах своего существования.

-высокий уровень износа оборудования

-значительный уровень грузоёмкости материалов сектора ПСМ определяет приоритетность направления в создании новых производств на основе имеющихся запасов полезных ископаемых, которые являются основным сырьем для производства.

Процесс модернизации промышленных предприятий, в частности предприятий промышленности строительных материалов, очень тесно связан с формированием эффективной и грамотной структуры производства, предопределенной процессами замещения эффективных факторов производства неэффективными технологиями и ресурсами. В этой связи существует необходимость оценки научно-технического потенциала предприятий, в частности предприятий промышленности строительных материалов, для понимания необходимости внедрения технологической модернизации.

Научно-технический потенциал – это обобщенная характеристика техники на предприятии и уровня развития науки инженерного дела. В общем случае он определяет способность предприятия генерировать новые технические и научные идеи, проводить их технологическую и научную проектно-конструкторскую проработку, внедрение их в своей деятельности. Именно он предопределяет имеющиеся возможности для достижения общих целей деятельности предприятия. От данного потенциала напрямую зависит конкурентоспособность предприятия. [4].

Процесс оценки научно-технического потенциала предприятий, в частности предприятий сектора ПСМ, основывается на анализе системы показателей, которые уточняются с учетом специфики отрасли производства и возможностью анализа инновационного потенциала предприятий, что дает возможность создавать блоки показателей и делать акцент именно на инновационном развитии. Данный анализ предполагает не только определение количественных и качественных итогов деятельности по состоянию на определенный момент времени, но и прогноз

тенденций изменения имеющихся показателей в динамике.

Научно-технический потенциал производства характеризует использование основных факторов производства через значительное количество показателей. Большой потенциал научно-технического развития является стратегическим ресурсом предприятия, который обеспечивает ему устойчивость в постоянно меняющихся условиях развития и позволяет становиться победителем в конкурентной борьбе.

Важно заметить, что ни один из единичных показателей не может в полной мере охарактеризовать такое значимое понятие, как научно-технический потенциал компании. От эффективного выбора показателей зависит объективность отражения имеющегося уровня научно-технического развития на предприятиях и соответственно понимание необходимости модернизации, или же продолжение работы на имеющемся уровне.

Процесс оценки научно-технического потенциала предприятия представляет собой начальный этап анализа необходимости проведения технологической модернизации. Различные взгляды ученых на проблему систематизации оценки научно-технического потенциала предприятия, и готовности к технологической модернизации, возможно, объяснить различием и спецификой отраслей, в которых функционируют хозяйствующие субъекты.

По данной причине, ученые часто не могут прийти к общему в вопросе подборе и оценки показателей. Каждая компания, и каждая отрасль стараются найти именно те показатели, которые в большей степени могут охарактеризовать ситуацию в компании на сегодняшний момент, оценить потенциал предприятия и определить эффективность научно-технических мероприятий.

Для определения научно-технического потенциала предприятий ПСМ авторами статьи, основываясь на работах ученых, предложена собственная методика, в основе которой лежит углубленный анализ научно-технического уровня производства предприятий промышленности строительных материалов, которая включает основные показатели, которые необходимы для проведения анализа для отрасли. Данная оценка основана на анализе систем специфических и стандартных показателей для отрасли, с возможностью определения инновационного потенциала предприятий, что дает возможность охарактеризовать важнейшие блоки показателей и представить оценку инновационного развития. Данные показатели отмечены на рисунке 1.

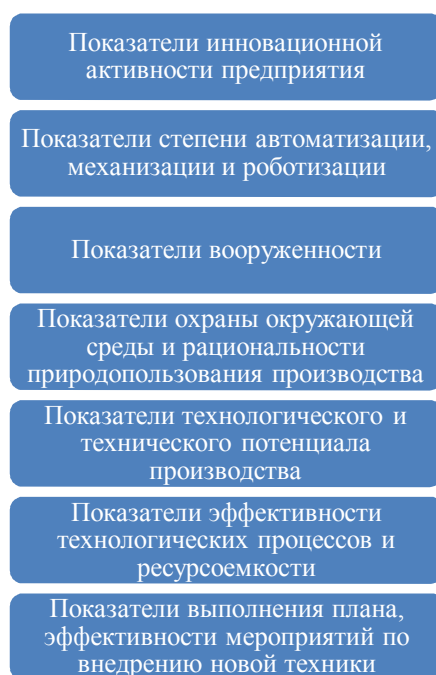


Рис. 1. Показатели научно-технического потенциала предприятий ПСМ

В последнее время значительное количество технологических модернизаций связано именно с инновациями. Инновационные технологии начинают играть определяющую роль в обновлении ассортимента и номенклатуры продукции, снижении себестоимости товаров, совершенствовании производственного процесса, создании прогрессивных новых принципов управления, иными словами создают основные конкурентные преимущества. Инновационная активность предприятия представляет собой основную характеристику его инновационного развития. Она характеризует готовность к обновлению основных элементов системы, а кроме этого восприимчивость ко всему новому. Активное внедрение новаций предприятиями дает возможность достижения достаточной степени технологической независимости, обеспечивает рост их конкурентоспособности и эффективности [5].

Оценка показателей инновационной активности предприятия является одним из важнейших факторов, влияющим на готовность компании к технологической модернизации. Учитывая вышеизложенное, показатели инновационной активности предприятий промышленности строительных материалов становятся первоочередными объектами изучения [6]. По этой причине остановимся на более детальном анализе показателей инновационной активности для предприятий ПСМ, которые являются базисом для оценки научно-технического потенциала предприятий отрасли.

В работах различных авторов можно встретить определение инновационной активности,

как интенсивности осуществления экономическими субъектами деятельности по разработке и внедрению усовершенствующих продуктов или новых технологий в хозяйственный оборот. По мнению Мельниковой О. Н. инновационная активность является созидательной деятельностью производителей услуги или товара, которая выражена в достижении диктуемых спросом приращений новизны технико-технологических, организационных, экономических, социальных, управленческих, психологических и иных показателей предлагаемых рынку товаров, услуг или процессов, производимых специалистами в конкурентоспособное время [7].

Кроме этого, под инновационной активностью необходимо понимать комплексную характеристику инновационной деятельности предприятия, включающей:

- восприимчивость предприятий к техническим и организационным новшествам;
- степень интенсивности и своевременность осуществляемых действий по созданию, эксплуатации и коммерциализации нововведений;
- возможность мобилизовать научно-технический, финансовый, кадровый и ресурсный потенциал нужного количества и качества;
- возможность обеспечить обоснованность применяемых методов;
- грамотность и рациональность организации технологии инновационного процесса по составу и последовательности операций [8].

На сегодняшний день организация и проведение достоверного анализа инновационной активности предприятий выступает актуальной

задачей, не только для компаний, но и для государства в целом. Однако единой методики и единого подхода к осуществлению такого анализа в мировой практике не существует.

В процессе создания состава показателей оценки инновационной активности предприятий, в частности промышленности строительных материалов, необходимо осуществлять так же на основе результатов разработок и исследований в данном направлении, анализируя зарубежный и отечественный опыт. Показатели должны находить отражение в международных стандартах в сфере инноваций, основываться на методических подходах, применяемых в процессе анализа инновационного развития компаний.

Основываясь на комплексе индикаторов инновационной активности EIS в странах Евросоюза и отечественных работах различных авторов, приведем перечень показателей, необходимых для просчета в отрасли ПСМ.

- Показатели экономической эффективности
- Показатели результативности и финансирования инновационной деятельности
- Показатели финансирования и результативности исследований и разработок
- Показатели взаимодействия со сторонними организациями

Кроме отмеченных показателей для лучшей оценки инновационного потенциала предприятия предлагается изучение дополнительных коэффициентов, таких, как: гибкость предприятия к нововведениям, коэффициент модернизационного (технического) развития, коэффициенты адаптивности предприятия к нововведениям.

Мы предлагаем использовать метод сопоставления фактических и эталонных значений для приведения данных коэффициентов к условно-сравнимому виду. В качестве эталонных возможно принимать наилучшие, достигнутые в отрасли, или теоретически возможные, величины.

Гибкость предприятия к нововведениям:

$$K_{GH} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{F} \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n B_n}{\sum_{i=1}^n F_3} \right), \quad (1)$$

где  $n$  – количество нововведений за исследуемый период времени, ед.;  $F$  – Среднегодовая стоимость ОПФ предприятия (цеха), руб.;  $N_i$  – стоимость  $i$ -го нововведения, руб.;  $B_n$  и  $F_3$  – время установки и эффективной работы нововведения, год.

Далее стоит определить показатель являющийся, интегральным показателем оценки развития предприятия - Коэффициент модернизационного (технического) развития предприятия  $U_{тр}$ .

$$U_{тр} = \sqrt[3]{K_{ТО} K_G K_A}, \quad (2)$$

где  $K_{ТО}$  – коэффициент технического оснащения производства;  $K_G$  – коэффициент гибкости к условиям рынка;  $K_A$  – коэффициент адаптивности к условиям рынка.

$$K_A = \sqrt{K_{АН} K_{АПР}}, \quad (3)$$

где  $K_{АН}$  – адаптивность предприятий к нововведениям;  $K_{АПР}$  – адаптивность предприятий потребностям рынка.

Как мы видим, технологическая модернизация, является прогрессивным процессом качественного преобразования производительных сил благодаря внедрению технологических инноваций.

На сегодняшний день проведение достоверного анализа научно-технического потенциала предприятия является актуальной задачей, как для самих предприятий, так и для страны в целом. Однако, как было уже отмечено в статье, единого подхода и единой методики к проведению данного анализа в мировой практике не существует. Учитывая специфику отрасли, в статье приведены авторские рекомендации, призванные усовершенствовать процедуру анализа научно-технического потенциала предприятий промышленности строительных материалов.

Рассмотренные более детально показатели инновационной активности предприятий являются начальным этапом оценки научно-технического потенциала предприятий промышленности строительных материалов. Лишь при полном анализе всех показателей, отмеченных на рисунке 1, можно оценивать потенциал предприятия и говорить о необходимости технологической модернизации.

Предлагаемая нами система показателей научно-технического потенциала предприятий ПСМ позволит, на наш взгляд, всесторонне и комплексно оценить их инновационный потенциал, а также дать перспективную и следующую оценку эффективности инновационной деятельности, что является залогом успешного инновационного развития и важным шагом на пути к технологической модернизации.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Блохин К.А. Методический подход к исследованию гибкой системы управления промышленным предприятием // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. №1. С. 112–115.
2. Страхова А.С., Унежева В.А. Инновационные технологии в строительстве как ресурс экономического развития и фактор модернизации.



ции экономики строительства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №6. С. 263–273.

3. Поршнев А.Г. Управление организацией: учебник для вузов. М.: ИНФА-М, 2003.

4. Суровушкина Е.Н. Сущность и методы оценки инновационной активности организации // Экономические науки. 2014. № 4. С. 78–81.

5. Сомина И.В. Оценка уровня и тенденций инновационно-технологического развития России // Белгородский экономический вестник. 2013. № 4. С. 8–15.

6. Рощупкина В. Н. Инновация и стратегия – важнейшие направления эффективной инновационной политики // Белгородский экономический вестник. 2013. № 3. С. 11–13.

7. Мельников О.Н., Шувалов В. Н. Инновационная активность как фактор повышения конкурентоспособности предприятия // Российское предпринимательство. 2009. № 9. С. 100–104

8. Демильханова Б.А. Методика оценки инновационной активности промышленного комплекса // Экономический анализ: теория и практика. 2013. № 19. С. 17–25.

---

**Doroshenko Y.A., Klimashevskaya A.A.**

**THE ANALYSIS OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL POTENTIAL OF THE ENTERPRISES OF CONSTRUCTION MATERIALS INDUSTRY IN THE CONTEXT OF ASSESSMENT OF NEED OF CARRYING OUT TECHNOLOGICAL MODERNIZATION FOR THE INDUSTRY**

*The most important condition for the effective functioning of the enterprises of construction materials industry is technological progress, which is an integral part of the technological modernization. The determining factor in assessing the need for technological upgrading in enterprises is an analysis of indicators of scientific and technological capacity of enterprises. For the choice of optimum indicators of scientific and technical potential it is necessary to consider specifics of the industry. The article describes the method of determining its own indicators, based on the analysis of standardized systems and specific indicators for the building materials industry. The process of evaluating indicators of innovation activity is one of the dominant factors influencing the enterprise readiness for technological upgrading. The choice of indicators is carried out on the basis of a set of indicators of innovation activity of domestic and foreign experience. Estimation of innovative activity of the enterprise is the initial step in the analysis of scientific and technological potential. Only in the complex analysis of all indicators of scientific and technical potential it is fully possible to estimate the capacity of the entities and to speak about feasibility of carrying out technological upgrade.*

**Key words:** technological modernization, industry of construction materials, scientific and technical potential, indicators of scientific and technical potential, innovative activity of the enterprise.

---

**Дорошенко Юрий Анатольевич**, профессор, доктор экономических наук, заведующий кафедрой стратегического управления.

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

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

E-mail: ROGOVA@intbel.ru

**Климашевская Анастасия Александровна**, аспирант кафедры стратегического управления,.

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

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

E-mail: anastasia.klimashevskaya@gmail.com

Прядко С.Н., канд. экон. наук, доц.,  
Винник А.Е., ст. препод.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

## ФОРМИРОВАНИЕ КЛЮЧЕВЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ В УПРАВЛЕНИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

vinnik@bsu.edu.ru

*В статье предоставлены результаты теоретического анализа динамики статистических данных, характеризующих формирование ключевых компетенций региональных предприятий строительной отрасли Белгородской области. Обоснована необходимость формирования ключевых компетенций, направленных на внедрение НИОКР в деятельность региональных предприятий.*

**Ключевые слова:** ключевые компетенции, строительная отрасль, региональные предприятия, ресурсы, конкурентные преимущества.

**Введение.** Российская национальная и региональная экономика, обладая многоукладностью и огромной дифференциацией в своём экономическом и технологическом развитии, должна попытаться сформировать постоянную основу инновационного развития. Поэтому возникает необходимость поиска новых подходов к формированию и управлению конкурентными преимуществами, как на организационном уровне, так и на уровне региона в целом. Основой для разработки конкурентных преимуществ нового порядка, действующего в условиях современной инновационной экономики, связывают с развитием ключевых компетенций на уровне отрасли, региона, предприятия. Формирование ключевых компетенций разрабатывается в последние десятилетия достаточно активно и связано с работами следующих авторов: Б. Вернерфельта [1], Э. Пенроуз, Р. Нельсона и С. Уинтера [7], Р. Сайерта и Д. Марча, Дж. Барни, Р. Гранта, И. Дикерса, Д. Коллиза, К. Кула, С. Монтгомери, Д. Тиса и Р. Рамелта. Среди отечественных ученых наиболее известными являются научные публикации В. Катькало, Г. Клейнера, В. Ефремова, И. Ханькова, И. Гуркова и других.

**Методология.** Основанием для исследования проблемы выявления и развития ключевых компетенций инновационно – активных предприятий, в том числе и строительной отрасли, послужили классические работы по экономической теории прибыли и конкуренции, управлению организациями; современные работы зарубежных и отечественных ученых по вопросам функционирования и развития региональных социально-экономических систем, а также теоретический анализ динамики статистических данных. Методология основана на использовании общенаучных методов логического и ретроспективного анализа, конкретизирована совокупностью специальных методов.

**Основная часть.** Впервые понятие стержневой (ключевой, корневой) компетенции было введено К.К. Прахаладом и Г. Хамелом и рассматривалось как «коллективные знания организации, направленные на координирование разнотипных производственных навыков и связывание воедино множественных технологических потоков» [5]. Таким образом, ключевая компетенция организации, во-первых, это ее ресурсные возможности, а во-вторых – способности, отражающие максимально возможные способы эффективного использования материальных и нематериальных ресурсов.

Ключевые компетенции в отличие от других факторов конкурентных преимуществ, имеют в своей основе долгосрочные устойчивые сложно копируемые элементы, поэтому выступают основой инновационного развития региональных социально-экономических систем, обеспечивающих их переход на качественно новый уровень. Ключевые компетенции формируются как комбинация интеллектуальных ресурсов (человеческого капитала) и организационного капитала, являются источником создания рыночного капитала и отражают способности социально – экономической системы эффективнее конкурентов использовать не только имеющиеся, но и создавать недостающие ресурсы (рис. 1).

Поскольку источником и способностей, и компетенций являются знания, которыми, в свою очередь, обладает один из наиболее важных ресурсов предприятия – персонал, приложение ресурсного подхода к человеческим ресурсам позволяет рассматривать их как независимый потенциал, который может быть преобразован посредством инструментов управления в специальные конкурентные преимущества организации, при условии, что сотрудники добавляют ценность, навыки и умения, которыми они обладают, являются редкими, уникальными и не

могут быть повторены конкурентами, а сами работники не могут быть заменены другими. Поэтому, соединение ключевых компетенций организации (информация, инструменты, стимулы) с индивидуальными (персональными) ком-

петенциями работников (знания, способности, мотивы) позволяют за счет эффекта синергии формировать устойчивые конкурентные преимущества бизнеса.



Рис. 1. Источники формирования ключевых компетенций на уровне хозяйствующего субъекта

Одним из основных направлений развития региональных предприятий является участие в формировании инновационной экосистемы, направленной на разработку и развитие компетенций, повышение эффективности взаимодействия участников рынка, популяризацию технологического предпринимательства, поддержку региональной инфраструктуры, а также содействие глобализации российской инновационной индустрии [9].

Для анализа эффективности формирования ключевых компетенций региональных предприятий Белгородской области, связанных с внед-

рением НИОКР, нами были проанализированы статистические данные по Белгородской области. Объектом исследования выступили региональные научно-образовательные организации, разрабатывающие и предлагающие рынку наукоемкие передовые технологии, и инновационно-активные предприятия, проводившие в анализируемом периоде какую-либо деятельность, связанную с созданием инноваций и имеющие какие-либо затраты на инновации [10]. Динамика разработки передовых производственных технологий в условиях Белгородской области представлена в таблице 1.

Таблица 1

**Динамика разработанных передовых производственных технологий  
(единиц)**

Показатель	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Передовые производственные технологии – всего	14	12	10	10	13	19	11	10	33
Проектирование и инжиниринг	2	3	3	5	2	5	3	4	9
Производство, обработка и сборка	3	2	1	1	3	4	2	1	5
Аппаратура автоматизированного наблюдения (контроля)	1	-	2	1	1	1	1	-	-
Связь и управление	1	-	-	-	2	4	-	3	8
Производственная информационная система	1	1	2	-	2	2	1	-	5
Интегрированное управление и контроль	6	6	2	3	3	3	4	2	6

Проведенный анализ показал, что за анализируемый период число передовых производственных технологий, разработанных и внедренных в условиях Белгородской области, увеличилось в 2,36 раз (с 14 в 2007 году до 33 – в 2015 году). В целом по направлениям разработок динамика была положительной по всем показателям. Максимальные показатели относятся к разработке технологий, связанных с проектированием и инжинирингом (рост показателя составил 450 %; с 2 единиц в 2007 году до 9 – в 2015 году). Значительное увеличение показателя в направлении связи и управления (с 1 единицы в 2007 году, до 8 – в 2015 году). Показатель «Интегрированное управление и контроль» имеет незначительную динамику в анализируемом периоде.

Взаимосвязанным показателем, характеризующим эффективность внедрения передовых технологий, связанных с наличием ключевых компетенций, необходимых для коммерциализации НИОКР, является деятельность региональных инновационно-активных предприятий. Анализ данных по проблеме исследования показал, что в настоящее время, в соответствии с международными рекомендациями, в статистике выделяют четыре типа инноваций: продуктовые, процессные, маркетинговые и организационные.

Проведённое исследование показало, что в Белгородской области в 2015 году из 401 обследованной организации 51 осуществляла какие-либо инновации: технологические, организационные или маркетинговые. Уровень инновационной активности этих организаций составил 12,7 %. В промышленном производстве из 272 обследованных организаций 44 осуществляли какие-либо инновации, уровень инновационной активности – 16,2 %. Вместе с тем статистические данные показывают, что на технологические инновации спрос со стороны организаций по-прежнему незначителен [10, с. 40]. Из общего числа обследованных организаций в 2015 году в Белгородской области 47 (11,7 %) занимались технологическими инновациями, в том числе из организаций промышленного производства – 41 (15,1 %) организаций. В организациях строительной отрасли Белгородской области складывается аналогичная ситуация: в последние годы по-прежнему не наблюдается существенного технологического прорыва и интенсивного массового освоения результатов исследований и разработок.

Как показывают статистические данные, для всех типов инноваций (технологических, организационных и маркетинговых) характерен низкий уровень инновационной активности, который, в первую очередь связан с недостатком

ключевых компетенций, необходимых для внедрения НИОКР. В анализируемом периоде уровень инновационной активности организаций, занимавшихся технологическими, организационными или маркетинговыми инновациями, находился в пределах от 9,2 до 12,7 % [10, с. 41].

**Заключение.** Проведенный анализ статистических данных, характеризующих наличие и эффективность развития ключевых компетенций региональных инновационно-активных предприятий, связанных с внедрением НИОКР, показал необходимость дальнейшего развития и активизации в регионе научной и инновационной деятельности, а также вовлечения частного бизнеса в процесс технологического развития.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вернерфельт Б. Ресурсная трактовка фирмы // Вестник СПб ГУ. 2006. Сер. 8. Вып. 1. С. 103–117.
2. Винник А.Е. Компетенции как ресурсы экономической системы // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №6. С. 278–282.
3. 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. 127–131
4. Луговская М.В. Корпоративные знания – основной ресурс инновационного развития российской экономики // Современная наука. 2011. № 1. С. 102–105.
5. Прахалад К.К., Хамел Г. Ключевая компетенция корпорации // Вестник СПбГУ. 2003. Вып. 3. С. 19–46.
6. Прядко С.Н. Исследование стержневых компетенций в управлении региональными научно-образовательными организациями // Научные Ведомости Белгородского государственного университета. Серия Экономика. Информатика. 2016. №9 (230). Выпуск. 38. С. 55–69.
7. Нельсон Р.Р., Уинтер С. Дж. Эволюционная теория экономических изменений, 2002. 540 с.
8. Тис Д. Дж. Получение экономической выгоды от знаний как активов: «новая экономика», рынки ноу – хау и нематериальные активы // Российский журнал менеджмента. 2004. №1. С. 95–120.
9. Российская венчурная корпорация. Развитие инновационной экосистемы. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rvc.ru/?ID=62300/>

10. Научно-инновационное развитие Белгородской области в 2015 году: аналитический

материал / Белгородстат. Белгород, 2016. 68 с.

---

**Pryadko S.N., Vinnik A.E.**

**THE FORMATION OF KEY COMPETENCIES IN THE MANAGEMENT OF REGIONAL ENTERPRISES**

*The article presents the results of theoretical analysis of the dynamics of the statistical data characterizing the formation of key competencies of the regional construction industry in Belgorod region. The necessity of formation of key competences, aimed at introducing scientific research and experimental development in the activities of the regional enterprises.*

**Key words:** *key competencies, building industry, regional enterprises, resources, competitive advantages.*

---

**Винник Алина Евгеньевна**, старший преподаватель кафедры менеджмента и маркетинга.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет.

Адрес: Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д. 85.

E-mail: vinnik@bsu.edu.ru.

**Прядко Светлана Николаевна**, кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента и маркетинга.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет.

Адрес: Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д. 85.

E-mail: pryadko\_s@bsu.edu.ru.

DOI: 10.12737/24127

Наумов А.Е., канд. техн. наук, доц.,  
Щенятская М.А., канд. экон. наук

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ДЛЯ ПОЛИТИКРИТЕРИАЛЬНОГО СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ПОРТФЕЛЬНЫХ АЛЬТЕРНАТИВ

marine-r@mail.ru

*Метод анализа иерархий является одним из наиболее распространенных методов принятия решений в инвестиционно-строительной деятельности, удачно сочетая формализацию и прозрачность используемых процедур с достоверностью получаемого результата. В работе рассмотрены ключевые этапы практической работы в рамках метода анализа иерархий при проведении политикритериального сравнительного анализа портфельных альтернатив, обоснована целесообразность многоуровневого иерархического структурирования критериев сравнения, представлены используемые процедуры количественной оценки согласованности попарных сравнений, произведен критический анализ целесообразности традиционной шкалы сравнительной важности альтернатив. Освещены отдельные дискуссионные аспекты практического использования метода анализа иерархий, создающие ряд организационно-математических сложностей его использования, такие как проблемы верификации согласованности суждений в матрицах попарных суждений и целесообразное упрощение традиционной шкалы сравнительной важности. Проанализирован опыт зарубежных исследователей и представлен авторский анализ методов эффективного решения поставленных вопросов использованием приближенных процедур верификации и рационализации применяемой шкалы, что позволяет полнее использовать прикладной потенциал метода анализа иерархий и активнее внедрять его в отраслевую практику.*

**Ключевые слова:** метод анализа иерархий, инвестиционный анализ, методы принятия решений, сравнительная важность альтернатив, матрица попарных сравнений.

Эффективное управление социально-экономическими системами напрямую зависит от адаптационных возможностей последних, выражающихся в отношении к непрерывно возникающей череде портфельных (единовременно образующихся и произвольно сочетаемых) альтернатив развития и функционирования систем. На первый план при этом выходит способность и возможность принимающего решение лица своевременно и результативно производить политикритериальное сравнение альтернатив методиками, сочетающими формализацию и прозрачность использования с достоверностью получаемого результата. К числу наиболее распространенных методов сравнительного анализа портфельных альтернатив, в полной мере отвечающих предъявляемым требованиям практичности и релевантности традиционно относят метод анализа иерархий (МАИ, analytic hierarchy process), предложенный в 1966 г. американским экономистом Томасом Саати (Thomas L. Saaty) и обретший заслуженную популярность и востребованность в различных теоретических и прикладных отраслях ряда современных социально-экономических дисциплин [1]. Несмотря на методологическую простоту базовых принципов, неограниченную область применения и шаблонность верификационных процедур МАИ прак-

тическое его использование содержат ряд дискуссионных аспектов, имеющих существенный исследовательский потенциал, что связано с общей сложностью задач поликритериального выбора, относящихся к наиболее значимым и перспективным задачам современной науки [2, 3].

МАИ относится к группе аналитических методов принятия решений и основан на количественном определении меры соответствия предлагаемых портфельных альтернатив установленным критериям эффективности с дальнейшим сравнительным анализом альтернатив по полученным мерам соответствия.

Ключевым достоинством МАИ является его практически неограниченная область использования и размерность поставленной задачи. Базовым принципом метода является предварительное структурирование предъявляемых критериев оценки в иерархическое дерево, что позволяет произвести декомпозицию поставленной задачи любой сложности в формат серии односложно решаемых попарных сравнений альтернатив, дающих набор элементарных мер соответствия для каждого иерархического уровня предъявляемых к сравнению критериев. Пример иерархической структуры критериев для сравнения инвестиционных альтернатив представлен на рис. 1.

Попарное сравнение альтернатив для каждого отдельного из имеющихся на текущем иерархическом уровне критериев осуществляется с использованием шкалы их сравнительной важности (*relative importance scale between two*

*alternatives*), предложенной автором метода и в наиболее распространенном виде оперирующей девятью степенями сравнительной важности (рис. 2).

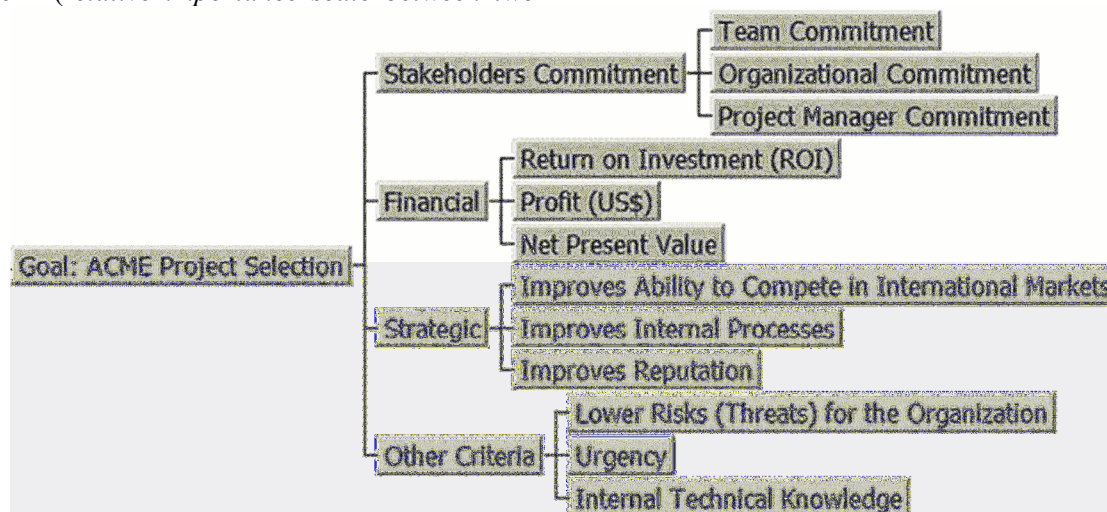


Рис. 1. Пример иерархической структуры критериев МАИ для сравнения инвестиционных альтернатив [4]

Scale	Numerical Rating	Reciprocal
Extremely Preferred	9	1/9
Very strong to extremely	8	1/8
Very strongly preferred	7	1/7
Strongly to very strongly	6	1/6
Strongly preferred	5	1/5
Moderately to strongly	4	1/4
Moderately preferred	3	1/3
Equally to moderately	2	1/2
Equally preferred	1	1

Рис. 2. Основная шкала сравнительной важности альтернатив, используемая МАИ [4]

Stakeholders Commitment Criteria			
	Team Commitment	Organizational Commitment	Project Manager Commitment
Team Commitment	1	3	1/5
Organizational Commitment	1/3	1	1/9
Project Manager Commitment	5	9	1

Рис. 3. Пример матрицы попарных сравнений (Comparison matrix) альтернатив на текущем иерархическом уровне критериев оценки [4]

Процедура попарных сравнений альтернатив организуется отдельными сериями на каждом иерархическом уровне критериев оценки, традиционным методом протоколирования чего являются составляемые принимающим решение лицом матрицы попарных сравнений (*comparison matrix*), пример которой приведен на рис. 3. Попарному сравнению с составлением соответствующих матриц и определением элементарных мер соответствия подлежат как все сравни-

ваемые альтернативы на текущем иерархическом уровне критериев, так и критерии текущего иерархического уровня.

Следующая за проведенной серией попарных сравнений композиция иерархически структурированных элементарных мер соответствия позволяет получить комплексную меру соответствия каждой альтернативы всему набору критериев и произвести окончательное ранжирование альтернатив, связав их привлекательность с



величинами поликритериальных мер соответствия по произвольному алгоритму (рис. 4.). Сами меры соответствия всегда демонстрируют относительную долю альтернатив в условной единице (максимально возможному соответствию), в то время как получаемые в дальней-

шем рейтинговые оценки альтернатив, на основе которых и производится их ранжирование, могут определяться и по нелинейным алгоритмам, неравнозначно оценивающим единичное приращение меры на различных уровнях соответствия.

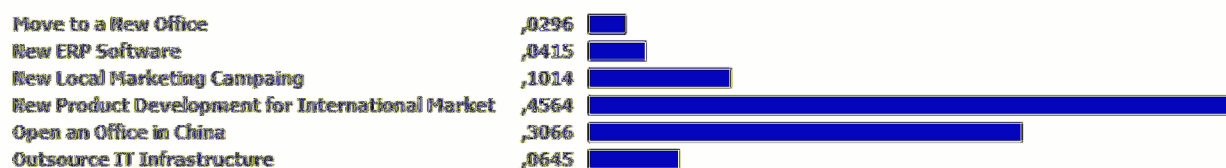


Рис. 4. Пример количественных поликритериальных мер соответствия сравниваемых альтернатив [4]

Ключевым вопросом применимости МАИ на практике, как метода, предполагающего структурную декомпозицию решаемой задачи с последующей композицией элементарных решений, полученных попарными сравнениями в общем, является качество процедуры оценки согласованности попарных сравнений (*consistency check*) [5, 6]. В МАИ показателем согласованности, определяемым для каждой матрицы попарных сравнений, является коэффициент согласованности  $CR$  (*consistency rate*), вычисляемый на основе собственного вектора матрицы  $\lambda$  (*eigenvector*) и рандомизированного индекса согласованности  $RI$  (*randomized index*), определяемого размерностью матрицы  $n$ :

$$CR = \frac{\lambda - n}{RI(n-1)} \quad (1)$$

Предельным значением  $CR$ , определяющим минимально допустимую согласованность оценок в матрице попарных сравнений является 10 % (для матриц размерностью 5 и более) и 5 % (для матриц размерностью 3 и 4). Определение  $\lambda$  представляет собой нетривиальную математическую задачу, решаемую многократными последовательными приближениями, что усложняет анализ согласованности оценок на практике. Рикардо Варгас (Ricardo Vargas) предложил процедуру приближенного определения собственного

вектора, получаемого на основе нормализованной матрицы попарных сравнений [4]. Оценка расхождения значений  $\lambda$  получаемых точным и приближенным методами, данная Р. Варгасом составляет 1–2 % (рис. 5), что позволяет неограниченно использовать приближенную процедуру с приемлемой обеспеченностью получаемых результатов 95 %.

Важным вопросом практического использования МАИ является целесообразность размерности шкалы сравнительной важности. 9-балльной шкала в ее классическом виде предложена Т. Саати и основана на его авторской интерпретации психофизиологического закона Вебера-Фехнера о том, что интенсивность ощущения прямо пропорциональна логарифму интенсивности раздражителя применительно к оценке субъективности качественных абстрактных оценок, даваемых пользователями МАИ. Очевидно, что человеческое восприятие не всегда однозначно трактует пограничные состояния качества. Достаточно сложно многократно, объективно и достоверно установить разницу между соседними степенями соответствия критерию, особенно в крайних зонах (скажем, между *equally to moderately* и *moderately* или *very strong to extremely* и *extremely*) [7, 8].

	Aproximate Eigen Vector	Exact Eigen Vector	Difference (%)
Stakeholders C	0.0693 (6,93%)	0.0684 (6,84%)	0,0009 (1,32%)
Financial	0.3946 (39,46%)	0.3927 (39,27%)	0,0019 (0,48%)
Strategic	0.4571 (45,71%)	0.4604 (46,04%)	0,0033 (0,72%)
Other Criteria	0.0789 (7,89%)	0.0785 (7,85%)	0,0004 (0,51%)

Рис. 5. Оценка расхождения значений  $\lambda$  получаемых точным и приближенным методами [4]

Учитывая заложенную в МАИ возможность неограниченной декомпозиции структуры решаемой задачи на иерархические уровни, очевидно, любую задачу метода можно свести к боль-

шому числу малоразмерных матриц попарных сравнений. В случае малой размерности матрицы целесообразность использования 9-балльной шкалы становится сомнительной, и важным ас-

пектом повышения эффективности использования МАИ в таком случае является рациональное упрощение бальности шкалы. Минимальное приемлемая бальность может быть оценена анализом получаемой погрешности метода для матриц попарных сравнений определенной размер-

ности. Автором был проведен численный эксперимент использования упрощенных шкал различной бальности для матрицы  $4 \times 4$ , являющейся элементарным уровнем декомпозиции задачи в большинстве случаев использования МАИ на практике (рис. 6).

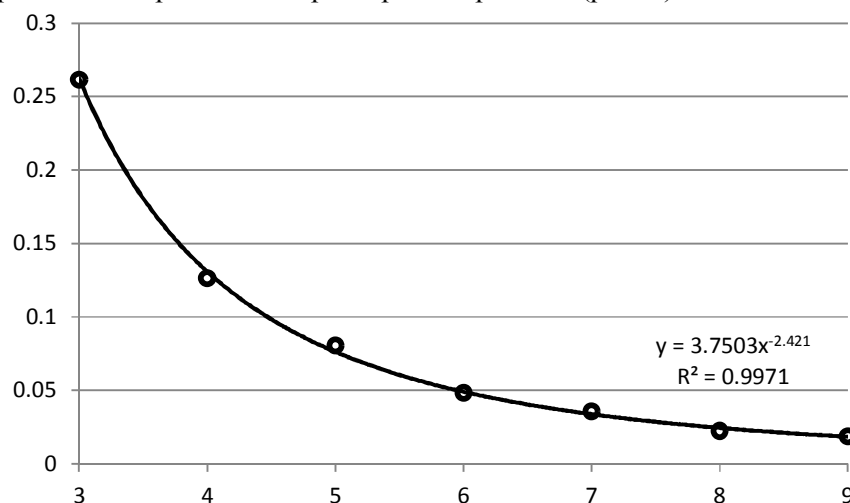


Рис. 6. Оценка погрешности МАИ, создаваемая упрощением шкалы сравнительной важности для матрицы попарных сравнений  $4 \times 4$ : по горизонтали – бальность упрощаемой шкалы (3...9); по вертикали – доля матриц с заведомо случайными оценками, успешно прошедших процедуру оценки согласованности (исследования автора)

В качестве показателя, характеризующего даваемую упрощением шкалы погрешность, использовалась предельная доля имитационно смоделированных матриц попарных сравнений с заведомо случайными оценками, тем не менее успешно прошедших процедуру оценки согласованности по критерию  $CR$  (1). Результаты эксперимента хорошо приближаются степенной функцией вида  $Ax^B$ , что позволяет констатировать нелинейную динамику прироста погрешности на каждый балл упрощения шкалы и, установив приемлемый уровень погрешности в 5–10 %, определить минимально целесообразную бальность шкалы 5. В немалой степени важным полученный результат делает и то, что пятибалльная шкала оценки качества широко распространена в мире, привычна и интуитивно понятна большинству пользователей МАИ.

Таким образом, рассмотренные в работе практические вопросы, создающие ряд организационно-математических сложностей использования МАИ в классической постановке, могут быть эффективно решены использованием упрощенных процедур верификации согласованности оценок и рационализации применяемой шкалы сравнительной важности, что позволяет полнее использовать прикладной потенциал метода и активнее внедрять его в аналитическую практику.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Saaty T.L. The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill International, 1980. 150 p.
2. Авилова И.П., Стрекозова Л.В. Ретроспективный подход к оценке организационно-технологических рисков инвестиционно-строительного проекта / Недвижимость: экономика, управление. 2012. № 2. С. 98–102.
3. Рыкова М.А., Авилова И.П., Байдина О.В. Практические аспекты количественного учета рисков при определении экономической эффективности инвестиционно-строительных проектов // Экономика и предпринимательство, 2014. №12 (ч. 4). С. 594–596.
4. Vargas R. Using the Analytic Hierarchy Process (AHP) to Select and Prioritize Projects in a Portfolio. Washington: PMI Global Congress, 2010. 22 p.
5. Наумов А.Е., Иванов А.В., Куннуев Ю.Ш. Модели программных решений при управлении развитием городского хозяйства в условиях неопределенности // Недвижимость: экономика, управление. 2016. № 2. С. 51–58.
6. Авилова И.П., Щенятская М.А., Товстий В.П. К вопросу о мультикритериальном сравнении эффективности инвестиционных альтернатив // В сборнике: Современные технологии в строительстве, теплоснабжении и энергообеспечении: Междунар. науч.-практ. конф. Саратов: Изд-во СГАУ им. Н.И. Вавилова. 2015. С. 35–40.

7. Grabovy P.G., Naumov A.E., Avilova I.P. Scientific Aspects of Productivity Management in the Investment and Construction Sector. 2016. International Business Management, 10 (7): 1354–1364.

8. Авилова И.П., Товстий В.П. Сравнительная оценка эффективности инвестиционных альтернатив на основе рентабельной внутренней нормы доходности // Научные труды SWorld. 2012. Т. 31. № 4. С. 81–83.

---

**Naumov A.E., Shchenyatskaya M.A.**

**PRACTICAL ISSUES OF USING THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS IN MULTI-CRITERIA ANALYSIS OF PORTFOLIO ALTERNATIVES**

*Hierarchy analysis process is one of the most used methods of decision-making in investment analysis, which successfully combines formalization and transparency of the procedures with the reliability of the result. In the paper the key stages of the practical issues of using the analytic hierarchy process in multi-criteria analysis of portfolio alternatives are focused. The expediency of multilevel hierarchical decomposing of comparison criteria is presented, the procedures used for quantify the consistency of pairwise comparisons are shown, the critical analysis of the scale of relative importance was made. Some controversial aspects of practical use of the analytic hierarchy process, which met with a number of organizational and mathematical difficulties, such as the inconsistency determination in matrices of pairwise comparison and reasonable simplifying of the traditional scale of relative importance were discussed. Guidelines for effective solution of the issues above using approximate calculation of eigenvectors and rationalization of the scale shown on the basis of experience of foreign researchers and the author's analysis. Main paper's results allow better use of the applied analytic hierarchy process and more active implement it in management practice.*

**Key words:** analytic hierarchy process, investment analysis, decision-making methods, relative importance of the alternatives, matrix of pairwise comparison.

---

**Наумов Андрей Евгеньевич**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой экспертизы и управления недвижимостью.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

E-mail: andrena@mail.ru

**Щенятская Марина Александровна**, кандидат экономических наук, доцент кафедры экспертизы и управления недвижимостью.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

E-mail: marine-r@mail.ru

DOI: 10.12737/24074

*Герасименко О.А., канд. экон. наук, доц.  
Белгородский государственный национальный исследовательский университет  
Авилова Ж.Н., канд. соц. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

## ЗАРУБЕЖНЫЙ И РОССИЙСКИЙ ОПЫТ РАЗВИТИЯ ИНСТИТУТОВ ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОГО ПАРТНЕРСТВА

gerasimenko@bsu.edu.ru

*В мировой практике негосударственные институты (центры) развития ГЧП появились в начале 2000-ных годов. Первым был создан Partnerships UK, затем Центр развития ГЧП ЮАР и штата Виктория в Австралии. Появлению таких центров в большинстве случаев предшествовало создание аналогичных государственных структур. Так, например, в Великобритании еще в 1992 году в рамках новой концепции государственно-частного партнерства «Частная финансовая инициатива» был сформирован специальный государственный орган «Treasury Task Force» для оказания разносторонней помощи министерствам и ведомствам в вопросах привлечения частных инвестиций в инфраструктуру, в частности, в строительную отрасль. Некоторые страны в процессе создания национальных центров развития ГЧП не только консультируются с ведущими зарубежными центрами, но еще и привлекают их к непосредственному созданию таких институтов развития.*

**Ключевые слова:** *государственно-частное партнерство, регион, институт, развитие, государственные структуры.*

**Введение.** Эксперты выделяют три основные функции центров развития ГЧП:

- оценка бизнес-планов и написание рекомендаций для органов, принимающих решения о реализации проектов государственно-частного партнерства (например: MAPPP, PSA, NTPPPU S.A, Parpublica, PIMAC);
- консультационная поддержка государственных и частных организаций при запуске и реализации проектов ГЧП, информационное содействие развитию рынка государственно-частного партнерства (например: Partnerships UK, Infrastructure Ontario, PBC);
- поиск и распространение лучших практик государственно-частного партнерства.

**Методология.** Основанием для исследования проблемы развития государственно-частного партнерства послужили фундаментальные труды классиков научной мысли по широкому спектру проблем, а также современные работы зарубежных и отечественных ученых по вопросам функционирования и развития различных региональных социально-экономических систем.

В процессе исследования были использованы диалектический метод, предопределяющий изучение явлений в их постоянном развитии и взаимосвязи. В работе применялись также методы ситуационного, структурно-функционального, экономико-статистического, компаративного анализа, табличная и графическая интерпретация эмпирико-фактологической информации.

**Основная часть.** В 2009 году была создана первая и единственная в России негосударственная некоммерческая организация, образованная для координации органов государственной власти, органов местного самоуправления, делового и экспертного сообщества при осуществлении деятельности, связанной с реализацией инфраструктурных проектов с применением механизмов ГЧП – Центр развития государственно-частного партнерства (НП «Центр развития ГЧП»). Целью Центра является объединение ресурсов государства и бизнеса, консолидация экспертного сообщества в области ГЧП для привлечения инвестиций и компетенций в развитие общественной инфраструктуры. Инициаторами создания Центра выступили крупные коммерческие структуры, органы государственной власти, общественные организации, экспертное и научное сообщество [1].

Ключевые направления деятельности Центра:

- сопровождение ГЧП-проектов. Организация в субъектах РФ системы управления проектами ГЧП в соответствии с методикой «квалифицированный заказчик»;
- разработка и экспертиза законодательства - подготовка нормативно-правовых актов федерального и регионального значения, а также экспертиза законодательства;
- аналитика - мониторинг рынка ГЧП и подготовка информационно-аналитических материалов, а также проведение прикладных исследований в интересах государственных структур и частных компаний;

- информирование – развитие специализированных СМИ: информационно-аналитического портала «ГЧП Инфо» и отраслевого электронного издания «ГЧП Журнал»;

- формирование общественного мнения – проведение круглых столов и экспертных совещаний, организация конференций по тематике ГЧП и инфраструктуры;

- подготовка кадров - проведение образовательных программ повышения квалификации и переподготовки кадров в сфере ГЧП [2, 3].

В 2010 году Центром развития государственно-частного партнерства разработана концепция «Квалифицированный заказчик». На основании концепции Центр предоставляет следующий комплекс услуг государственным органам в регионах:

- разрабатывает проекты нормативно-правовых актов, регламентирующих деятельность государственных органов субъекта в сфере ГЧП;

- предоставляет типовые организационные документы для деятельности региональных филиалов центров развития;

- консультирует по вопросам применения методологии управления проектами ГЧП;

- создает Службу Квалифицированного заказчика – специализированную организацию для управления проектами ГЧП. Служба Квалифицированного заказчика может создаваться:

А) на базе действующего государственного органа субъекта РФ (или иных организаций, отвечающих за привлечение инвестиций в экономику региона);

Б) на договорной основе, путем наделения Центра развития ГЧП полномочиями Квалифицированного заказчика.

Привлечение Центра развития ГЧП к реализации концепции Квалифицированный заказчик позволяет осуществлять подготовку и реализацию пилотных проектов ГЧП одновременно с формированием в регионе собственной системы управления (таблица 1) [4].

Таблица 1

Характеристика мероприятия по реализации ГЧП

№п/п	Мероприятие	Состав мероприятий
1	Внедрение методологии управления проектами ГЧП	<ul style="list-style-type: none"> <li>• адаптация и запуск в работу методических материалов, необходимых для деятельности проектного офиса по ГЧП</li> </ul>
2	Внедрение информационной системы (ИС) управления проектами ГЧП	<ul style="list-style-type: none"> <li>• проведение семинаров по использованию методологии и формирование целостного видения проблематики ГЧП в РФ и за рубежом</li> <li>• адаптация ИС управления ГЧП проектами под задачи заказчика</li> </ul>
3	Организация проектного офиса по подготовке и реализации проектов ГЧП	<ul style="list-style-type: none"> <li>• внедрение ИС, включая обучение пользователей</li> <li>• организация технической поддержки и сопровождения ИС</li> <li>• регламентация деятельности органов власти по развитию ГЧП в субъекте РФ</li> <li>• консультации по вопросам применения методики управления проектами</li> </ul>

Структуры поддержки ГЧП проектов при финансовых институтах:

Внешэкономбанк. С целью содействия в подготовке, оценке и реализации проектов ГЧП с привлечением бюджетного финансирования в Государственной корпорации «Банк развития и внешнеэкономической деятельности (Внешэкономбанк)» в июне 2008 года была создана Дирекция государственно-частного партнерства.

Газпромбанк. В целях осуществления системного взаимодействия Газпромбанка с регионами и государственными органами в части оценки применимости, бюджетной и экономической эффективности использования инстру-

ментов ГЧП при реализации инвестиционных проектов, а также подготовки заключения по вопросам коммерческой и финансовой структуры проектов на основе государственно-частного партнерства в 2013 году в Газпромбанке был создан Центр ГЧП, как самостоятельное структурное подразделение.

Государственные структуры поддержки ГЧП проектов в регионах:

- Санкт-Петербург – государственное бюджетное учреждение «Агентство стратегических инвестиций»;

- Москва – государственное бюджетное учреждение «Городское агентство управления инвестициями»;
- Воронежская область – автономное учреждение «Агентство привлечения инвестиций Воронежской области»;
- Кировская область – Консультативный совет по инвестиционной политике при Правительстве области;
- Нижегородская область – сектор государственно-частного партнерства Министерства инвестиционной политики;
- Новосибирская область – отдел развития инвестиционной деятельности, проектов и программ Минэкономразвития;
- Республика Удмуртия – управление инвестиций и государственно-частного партнерства Министерства экономики.

Всего более чем в 67 регионах Российской Федерации приняты региональные законы о государственно-частном партнерстве, из них более 25 создали специализированные органы сопровождения ГЧП проектов.

В 2013 году в Торгово-промышленной палате РФ создан Комитет по государственно-частному партнерству.

Цель: консолидация усилий бизнеса, государства и экспертного сообщества по продвижению и совершенствованию механизмов государственно-частного партнерства для привлечения инвестиций и компетенций в развитие инфраструктуры.

Задачи:

- совершенствование нормативно-правовой базы ГЧП в Российской Федерации, в том числе на региональном уровне;
- налаживание устойчивых деловых связей с зарубежными операторами и экспертами в вопросах реализации проектов ГЧП с целью выявления и тиражирования лучших зарубежных практик;
- расширение сфер и отраслей применения механизмов государственно-частного партнерства;
- совершенствование методического сопровождения проектов государственно-частного партнерства в РФ и регионах;
- совершенствование механизмов отбора частного партнера, в том числе посредством организации общественного контроля и формирования негосударственного реестра операторов;
- информационное содействие развитию государственно-частного партнерства в РФ и отдельным проектам в сфере ГЧП, в том числе посредством формирования национальной базы проектов ГЧП.

Зарубежный опыт реализации проектов с применением механизмов взаимодействия государства и частного бизнеса работает уже долгое время и постоянно совершенствуется. Темпы развития реализации проектов ГЧП в зарубежных странах весьма различны. Такие страны как Великобритания, Франция, Германия и Испания уже достаточно хорошо развили данную область и являются в ней лидерами, но имеются такие страны, которые только начинают осваивать такие программы.

Страны-лидеры по количеству соглашений ГЧП в Европе по данным 2015 года, распределились следующим образом: на долю Великобритании приходится 39 %, Франции – 17 %, Германии – 13 %, Испания – 12 % и доля прочих стран составляет 20 %. Безусловным лидером является Великобритания, которая первая использовала механизм партнерства бизнеса и государства. Рассматривая историю развития ГЧП в Великобритании, стоит отметить, что первые проекты появились в 1981 году в связи с перестройкой лондонских доков. Затем в 1992 правительство Дж. Мейджора объявило о новой форме ГЧП – «Частная финансовая инициатива» (PFI – Private Finance Initiative), заключающейся в том, чтобы передать частному сектору функции финансирования строительства (эксплуатации, реконструкции, управления и т.п.) государственных объектов производственной и социальной сферы. В 1997 году, пришедшее к власти лейбористское правительство Т. Блэра, продолжило развитие государственно-частного партнерства [5, 6, 7]. Проектами этого периода в Великобритании стали такие, как создание интегрированной системы утилизации отходов на острове Уайт, общественной библиотеки в г. Борн-мун, школ в Бриджпорте и Дорсете, домов престарелых в Суррее, строительство здания полиции в Илкестоне, северного кольца Бирмингема и железнодорожной сети Кройдона [8].

В Германии реализацию проектов на основе ГЧП первоначально использовали в кооперативном строительстве. Первые некоммерческие строительные сообщества были созданы на основе частных инвестиций в середине XIX века. В результате сотрудничества некоммерческих компаний и государственного сектора данные компании вынуждены были налагать некоторые ограничения на собственный бизнес и политику получения прибыли. Государство же при этом предоставляло им налоговые льготы. Удачной моделью сочетания интересов публичного и частного партнерства является проект по реконструкции крупнейшего аэропорта в Германии во Франкфурте-на-Майне. Франция обладает прочными традициями государственно-частного

партнерства, включающими в себя деятельность «Сообщества смешанной экономики» (SEM) и представление концессии. Законодательно основы SEM приходятся на 1966 и 1983 гг. Согласно законодательству, основным для SEM является то, что государство и местные власти управления должны иметь в составе активов большую долю, соответственно и играть доминирующую роль в управлении ими. Примерами реализации проектов на основе механизмов ГЧП можно отметить следующие: строительство евротоннеля, соединяющего Англию и Францию под проливом Ла-Манш, Эйфелева башня в Париже. Если рассматривать сферы применения ГЧП в развитых странах, то они имеют большое разнообразие.

К этим сферам относятся [9]:

- транспорт – в данной сфере с применением ГЧП реализуется строительство и эксплуатация трубопроводов, железнодорожных дорог и автомагистралей, а также строительство и обслуживание систем мониторинга и управления движением, а также много других проектов в транспортной сфере, включая городской транспорт;
- жилищно-коммунальное хозяйство – обслуживание населения, обновление и эксплуатация коммунальных сетей, таких как водоснабжение, канализация, вывоз мусора и его утилизация, уборка улиц;
- экология – создание, обслуживание и развитие городских и загородных парков с правом эксплуатации природных ресурсов и получении дохода от организации экологического туризма;

- недвижимость – с применением ГЧП осуществляется строительство и эксплуатация общественных зданий и муниципального жилья, в обмен на это частным компаниям предоставляется возможность застройки и участия в коммерческих проектах;

- общественный порядок и безопасность – в данной сфере обеспечивается порядок на транспорте и в общественных местах, которые обслуживаются частными компаниями, осуществляется организация и эксплуатация парковок;

- телекоммуникации – создание телекоммуникационной инфраструктуры и предоставление услуг потребителям;

- финансовый сектор – в данной сфере осуществляется привлечение частных страховых и управляющих компаний в такие сферы как обязательное социальное страхование и государственное пенсионное обеспечение;

- образование и медицина – с использованием механизмов ГЧП ведется строительство или обновление больниц, школ и других учебных заведений; в данном случае частные компании получают право на застройку и развитие прилегающей территории.

Анализируя данные 2015 года по количеству проектов на основе ГЧП в Европе, можно сказать, что лидирующую позицию занимает сфера образования, сместив транспортную сферу на второе место. Третье и четвертое место приходится на сферу здравоохранения и общественные услуги, затем идут госзаказы и оборона, телекоммуникация, окружающая среда. На рис. 1 представлено распределение количества проектов на основе ГЧП в Европе [10].

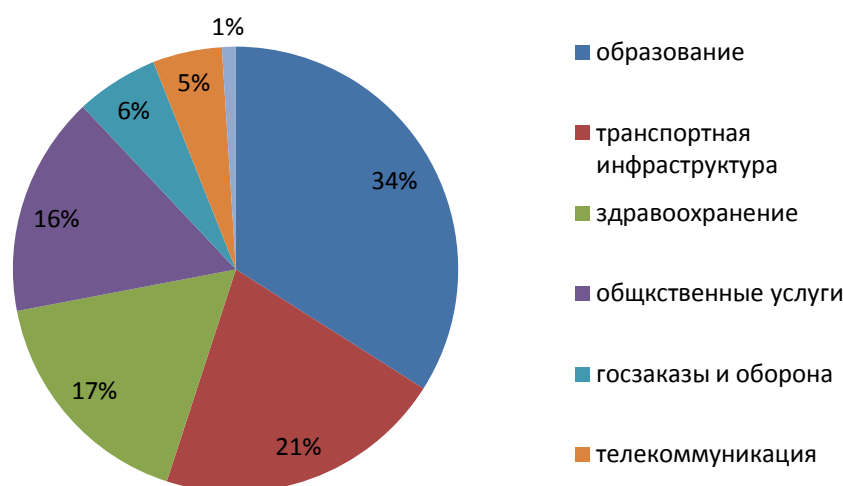


Рис. 1. Количество проектов на основе ГЧП в Европе по данным 2015 года

Проанализируем страны по специфике сфер, на которые в настоящее время делается уклон при реализации проектов на основе госу-

дарственно-частного партнерства. Например, Голландия реализует проекты ГЧП в таких сферах, как строительство дорог, коммунальные



сооружения, государственные здания, образование и здравоохранение. Германия, в настоящее время, уделяет большее внимание реализации проектов ГЧП в сфере транспортной инфраструктуры, а именно, строительство туннелей, а также в областях обороны, здравоохранения и образования. В Финляндии реализован проект

ГЧП по строительству дороги Хельсинки - Лахти и колледж в Эспоо. Сейчас данная страна проявляет интерес к областям легко-рельсового транспорта, обороны и здравоохранения [11].

В таблице 2 представим страны по отраслевой структуре, в которых осуществляется развитие проектов ГЧП.

Таблица 2

### Отраслевая структура реализации проектов ГЧП

Страна	Отрасль
Великобритания	Образование, здравоохранение, оборона
Финляндия	Дорожная концессия, школа и высшее образование
Франция	Дорожная концессия, концессия на водоснабжение
Греция	Дорожная концессия, строительство железных дорог
Ирландия	Транспорт, образование, водоснабжение, утилизация отходов
Италия	Больницы, транспорт, утилизация отходов
Голландия	Водоснабжение, скоростное железнодорожное сообщение
Португалия	Аэропорты, дорожная концессия
Испания	Дорожная концессия, региональные дорожные концессии
Япония	Здравоохранение, жилищное хозяйство, технологии, транспорт на региональном уровне
Австралия	Дороги, больницы, исправительные учреждения
ЮАР	Исправительные учреждения, водоснабжение, здравоохранение, образование

**Выводы.** Проведенный анализ зарубежного опыта реализации проектов на основе государственно-частного партнерства показывает, что государство и частный сектор объединяют свои усилия и опыт в решении особо значимых общественных задач.

Такие проекты набирают существенные обороты, и их количество постоянно увеличивается. Нарботанный зарубежный опыт в рамках государственно-частного партнерства позволит использовать его в тех странах, которые только встают на путь развития в данном направлении.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Государственно-частное партнерство в России. М., Центр развития государственно-частного партнерства, 2013. С. 29–36.
2. Тхориков Б.А. Методология индикативно-го управления // Актуальные проблемы гумани-

тарных и естественных наук. 2012. № 10. С. 154–157.

3. Семибратский М.В. Бюджетная стратегия региона в новых экономических условиях России // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 2014. Т. 29. № 1-1 (172). С. 41–45.

4. Ломовцева О.А., Герасименко О.А. Приоритеты и механизмы ГЧП в формировании инновационного промышленного комплекса региона // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 2015. №13(210). Вып.35/1. С. 5–9.

5. Дорошенко Ю.А., Климашевская А.А. Технологическая модернизация предприятий: барьеры, критерии принятия решения и механизм реализации // Белгородский экономический вестник. 2015. № 2 (78). С. 20–27.

6. Дорошенко Ю.А., Никулина Т.Ю. Особенности создания регионального венчурного фонда посевных инвестиций на условиях госу-

дарственно-частного партнерства // Белгородский экономический вестник. 2012. № 3 (67). С. 3–7.

7. Варнавский В.Г. Управление государственно-частными партнерствами за рубежом. // Вопросы государственного и муниципального управления, 2012. № 2. С. 134–147.

8. Лихачев В. Практический анализ современных механизмов ГЧП в зарубежных странах, или как реализовать ГЧП в России. [Электронный ресурс]. – Режим доступа свободный: <http://www.apec.ru/ru/uploadfiles/PPP.pdf>.

9. Частно-государственное партнерство при реализации стратегических планов: практика и рекомендации / СПб.: Международный центр

социально-экономических исследований «Леонтьевский центр», 2005. 32 с.

10. Развитие государственно-частного партнерства в странах ЕС и России // Инициативы XXI века. [Электронный ресурс]. – Режим доступа свободный: <http://www.ini21.ru/?id=1231>.

11. Колосов А.С., Рисин И.Е., Сысоева Е.Ф. Компаративный анализ зарубежной практики организации государственно-частного партнерства // Известия Юго-Западного государственного университета, 2012. № 1 (40). Ч. 2. С. 117–124.

12. Авилова Ж.Н., Качурова Е.В. Формирование инновационной среды: от фундаментальной науки к комплексным разработкам // Белгород, 2013.

---

**Gerasimenko O.A., Avilova Z.N.**

**FOREIGN AND RUSSIAN EXPERIENCE OF INSTITUTES OF PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIP**

*The article is devoted to the Russian experience of the use of public-private partnership, the main problems related to its implementation in the Federation, as well as in the sectors of the construction sector. The article also studied the experience of individual countries in the implementation of public-private partnership. The main event on public-private partnership development, the implementation of which allows today to effectively apply the institute of public-private partnership in solving social problems.*

*In this case, the search for consensus in the understanding of the essence of its authors realized the analysis of general and particular features of the category, including identified: 1) generalized notion category as private; 2) the selection of the essential characteristics of this form of interaction of building infrastructure. Isolation of the common symptoms of the category, achieved within the framework of the analysis of foreign and domestic experience of its use.*

**Key words:** *public-private partnership, region, institution development, state structures.*

---

**Герасименко Ольга Александровна**, кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента и маркетинга.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет.

Адрес: Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д. 85.

E-mail: [gerasimenko@bsu.edu.ru](mailto:gerasimenko@bsu.edu.ru)

**Авилова Жанна Николаевна**, кандидат социологических наук, доцент кафедры социологии и управления. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308000, Белгород, ул. Костюкова, 46.

E-mail: [janna-avilova@mail.ru](mailto:janna-avilova@mail.ru)

Шамаева О.П., канд. соц. наук, доц.,  
Хорошун Н.А., канд. соц. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## РЕГУЛИРОВАНИЕ ТРУДОВОГО ПОВЕДЕНИЯ КАК СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

nara.rita@yandex.ru

*Реформирование социально-экономических структур государства, новые условия жизни, опирающиеся на утверждение цивилизованных рыночных отношений, предъявление высоких требований к профессиональному статусу современного труженика вызвали необходимость учитывать в процессе стратегического управления городом особенности формирования трудовой мотивации населения вообще и молодежи – в частности. В рамках управленческой науки к исследованию мотивации как ее базового элемента разработан системный подход, который позволяет рассматривать трудовую мотивацию как часть системы управления в области строительной индустрии, взаимосвязанную с остальными элементами системы управления, в том числе и стратегического планирования.*

**Ключевые слова:** строительная индустрия, стратегическое управление, трудовая мотивация, рыночная экономика, трудового поведения.

**Введение.** Реформирование социально-экономических структур государства, новые условия жизни, опирающиеся на утверждение цивилизованных рыночных отношений, предъявление высоких требований к профессиональному статусу современного труженика вызвали необходимость учитывать в процессе стратегического управления городом особенности формирования трудовой мотивации населения вообще и молодежи – в частности.

Социально-трудовая среда современной России характеризуется исключительным динамизмом и противоречивым характером. С одной стороны, не забыты и играют весьма значительную роль прежние трудовые и общественные стандарты и представления, с другой, еще не сформированы правовые и нравственные нормы, отвечающие рыночным основам и демократическим принципам.

Существенные деформации произошли в отраслевой и профессионально-квалификационной структуре занятости, профессиональных ориентирах и предпочтениях. Значительно снижен престиж рабочих профессий, труда в бюджетных отраслях экономики. Большинство, как правило, предпочитает рабочие места, не требующие длительных сроков подготовки и глубоких профессиональных знаний, но приносящих относительно быстро высокие доходы. Довольно значительными темпами продолжает расти теневая экономика, неформальная занятость, снижается роль государственных гарантий, во многих случаях безработица и социальная незащищенность граждан становится повседневной реальностью.

Проблемы профессионального самоопределения обусловлены не только объективными социально-экономическими издержками переходного периода, но и слабостью или во многих случаях отсутствием соответствующей работы с учащимися общеобразовательных школ и приравненных к ним учреждений образования.

Другими словами, проблема регулирования процессов трудовой мотивации и трудового поведения должен рассматриваться на сегодняшний день как абсолютно необходимый элемент стратегического управления. Пренебрежение данной проблемой может ставить под сомнение саму возможность построения эффективной стратегии развития города.

**Методика.** При написании данной статьи использовались методы анализа документов, социологического опроса.

**Основная часть.** На современном этапе развития российского общества особую актуальность и социальную остроту приобретают проблемы регулирования трудового поведения молодежи, которая вынуждена адаптироваться к сложившимся социально-экономическим условиям. Эти условия характеризуются нестабильностью, противоречивостью, социальной напряженностью, неопределенностью и, в целом, рискогенностью. Становление рыночной экономики и основанного на ней рынка труда в современном российском обществе происходит в условиях трансформации системы базовых ценностей, которые под влиянием комплекса факторов – социально-экономического, глобализационного и социокультурного – определяются противоречивым сочетанием традиционных и

стихийно формирующихся рационально-индивидуалистических ценностей. В этих условиях важным является научный анализ трудовых ценностей в ценностно-мотивационной структуре современной российской молодежи [1].

Становление рыночной экономики, возрождение предпринимательской деятельности в России ориентирует молодежь на те ценности, которые являются наиболее адекватными для достижения успеха в современном российском обществе, в котором такие социальные явления, как безработица, сильнейшее социальное расслоение, ограничение возможностей социальной мобильности и многие другие негативные явления стали неотъемлемой частью действительности. Более того, в результате трансформации российского общества и сопровождающих этот процесс масштабных изменений в социально-экономической сфере на социальной арене постсоветского государства появилась достаточно обширная социальная общность – незанятая молодежь, которая в силу специфики возрастных социально-психологических характеристик оказалась недостаточно подготовленной к современным реалиям рынка труда [2].

Одна из основных проблем на рынке труда современного российского общества заключается в острой нехватке высококвалифицированных специалистов, несоответствии уровня выпускаемых вузами специалистов потребностям общества. Исследователи отмечают, что почти половина выпускников вузов вынуждена менять свою специализацию, причем кардинальным способом, в результате чего новая профессия зачастую существенно отличается от прежней, полученной после обучения в вузе [3]. И это происходит в условиях острой нехватки специалистов на рынке труда и их постоянном сокращении. Большинство работодателей ориентируется на кадры, владеющие опытом работы, а также несколькими смежными профессиями или специальностями, что позволяет быть более мобильными в профессиональной деятельности.

Стабилизация общественной и социально-экономической жизни страны напрямую связана с созданием эффективного, высококвалифицированного, социально мобильного и социально ориентированного рынка труда, на котором молодежь представляет в современных условиях основную силу, является основным социальным резервом и потенциалом страны, способным наиболее быстро и удачно адаптироваться в поле быстро изменяющихся информационных технологий, экономических реалий. Именно молодежь должна стать объектом наиболее пристального внимания со стороны государствен-

ной политики в области урегулирования трудовых отношений и трудового поведения, что способствует выработке оптимальной стратегии развития.

Вместе с тем, мы наблюдаем сложную ситуацию, в которой оказалась современная российская молодежь, вынужденная буквально «выживать» на рынке труда и осуществлять вынужденную мотивацию труда, которая свидетельствует о том, что в современном российском обществе и в его молодежной среде наиболее ярко проявляется кризис трудовых ценностей и трудовой мотивации [4]. Положение российской молодежи на рынке труда характеризуется высоким уровнем безработицы, увеличением периода незанятости на ранних стадиях трудовой и профессиональной карьеры, что приводит к недоинвестированию в человеческий капитал молодых когорт, росту девиантных практик в молодежной среде и в целом к увеличению социальных рисков [5].

Исследователи акцентируют внимание на том, что в современной России за годы реформирования уровень производительности труда постоянно снижается, и этот процесс протекает синхронно с процессом снижения квалифицированности и мастерства специалистов, постоянной нехваткой специалистов в различных отраслях народного хозяйства, поскольку молодежь, как учащаяся, так и получившая образование (да и не только молодежь), вынуждена работать в области, далекой от своей специальности, что не способствует процессу профессионализации.

В условиях трансформации российского общества и перехода к рыночным отношениям необходимым становится анализ трудовой мотивации как важной системообразующей и организующей компоненты эффективных трудовых отношений, эффективной трудовой деятельности и в целом эффективного рынка труда. Однако высокая мотивация, связанная со стремлением повысить свой профессионализм, производительность, профессиональную культуру и работать на личное благо и благо своей страны, достигается достаточно сложно в условиях социально-экономической нестабильности и неопределенности, а также несформированности истинно рыночных отношений, что в комплексе и повлияло и продолжает оказывать влияние на мотивационную структуру молодежи в российском государстве и, прежде всего, на ее ценностную сторону, что проявилось в трансформации трудовых ценностей молодого поколения России.

Решение молодежной проблемы в области ее трудоустройства и профессиональной самореализации должно осуществляться на несколь-

ких уровнях, главными из которых являются семья, образование (школа, вузы и т.д.) и государство. Система трудовой социализации, включающая трансляцию истинных трудовых ценностей через поколенческие и образовательные структуры, должна закрепляться эффективной системой трудоустройства молодежи и ее профессионального и материального роста. Другими словами, государство и общество должны гарантировать, что те трудовые ценности и мотивы, которые будут способствовать повышению производительности труда, общественному развитию и экономическому процветанию государства и общества, будут способствовать также и реализации жизненных планов и целей самой молодежи. Именно такой консенсус должен быть положен в основу диалога между молодежью, обществом и государством[6].

На формирование ценностных основ мотивации труда современной молодежи оказывают влияние общие тенденции трансформации системы ценностей в современном российском социуме, отражающие социокультурный раскол и духовный кризис российской культуры и ее базовых трудовых ценностей.

Положение современной российской молодежи на рынке труда можно охарактеризовать следующим образом: высокий уровень социальной и трудовой мобильности молодежи, выражающийся в готовности смены вида профессиональной деятельности.

Затем можно выделить ограниченность для определенной части молодежи возможностей профессиональной самореализации и устройства на работу по специальности, а также несоответствие получаемого образования потребностям современного рынка труда, что провоцирует рост молодежной безработицы и закрепление поведения, связанного с отложенностью молодежью включения в трудовые отношения.

Также отличительной чертой молодежи является неравномерность распределения молодых специалистов в сфере материального и духовного производства, а также в государственном и частном секторах экономики; структурная профессиональная диспропорция спроса и предложения на молодежном рынке труда в связи с отсутствием взаимодействия института образования и труда; рост территориального расслоения в молодежной среде, сильно влияющего на положение сельской молодежи на рынке труда. Можно сказать, что эти и иные факторы формируют негативный фон в оценке молодежью своих будущих перспектив в плане профессиональной самореализации и достижения жизненных планов.

Трудовую мотивацию можно определить как совокупность внутренних и внешних движущих сил, энергии, интересов и потребностей, которые побуждают человека к трудовой деятельности. Другими словами, трудовая мотивация является отражением внутренней структуры субъекта трудовой деятельности, его готовности к совершению определенных действий для удовлетворения определенных потребностей и достижения жизненных целей и планов.

Трудовая мотивация может быть рассмотрена также с позиций ее функциональной принадлежности: как функция управления, которая реализуется через создание определенной системы мотивирующих воздействий, т.е. воздействий на побуждающие факторы человека, под влиянием которых у него возникает потребность работать так, чтобы содействовать достижению целей организации; и как функция самоактуализации, которая позволяет индивиду направлять свою энергию и активность на трудовую деятельность с целью удовлетворения своих потребностей. Конечно, на практике эти две стороны трудовой мотивации переплетаются воедино, так как, работая, отдавая свои силы и энергию на благо организации, общества, индивид параллельно удовлетворяет те из своих потребностей, которые важны для него в данный момент, в данных условиях.

В рамках управленческой науки к исследованию мотивации как ее базового элемента разработан системный подход, который позволяет рассматривать трудовую мотивацию как часть системы управления, взаимосвязанную с остальными элементами системы управления, в том числе и стратегического планирования.

Главной особенностью формирования мотивационной сферы сознания молодежи является состояние становления, что, безусловно, и определяет неустойчивость социального положения молодежи и специфику процесса мотивации ее социальной деятельности.

Становление трудовой мотивации, как и становление личности в целом происходит в процессе социализации в семье, в которой впервые индивид приобретает первые сведения о труде, его ценности, видит образцы трудового поведения и отношения к труду родителей, родственников, на основе чего формируется так называемая внутренняя мотивационная картина, которая потом лишь дополняется отдельными штрихами. В процессе социализации индивида передается социальный опыт предшествующих поколений, осуществляется интеграция индивида в общество, так что характер вхождения молодого человека во взрослое сообщество, во

взрослую жизнь, во многом, определяется характером социализации в семье, школе.

Если выделить основные тенденции в сфере профессиональной самореализации современной российской молодежи на рынке труда в условиях девальвации ценности труда в молодежной среде российского общества, возможно, обозначатся основные проблемы, от решения которых зависит будущее молодежи и экономическое развитие страны.

Трудовая мотивация молодежи отражает в целом характер трудовой мотивации в обществе в его различных социально-демографических группах. Современная ситуация в сфере социально-трудовых отношений в России в настоящее время может быть оценена как кризис труда, и особое значение приобретает кризис трудовых ценностей и трудовой мотивации, что, по ее мнению, связано с усилением механизмов принуждения к труду в период социально-экономических реформ.

Сегодня среди молодежи в большинстве случаев преобладает вынужденная мотивация труда, т.е. молодые люди вынуждены работать часто не по специальности, работать за оплату труда, которая не устраивает, терпеть определенные недостатки в работе и в ее условиях из-за страха потерять то, что есть, вынуждены уезжать из своего региона в поисках трудоустройства и т.д. Вынужденная мотивация представляет собой внутреннее побуждение человека к труду, но под воздействием системы отрицательных стимулов в условиях ограниченной свободы ради удовлетворения прежде всего витальных потребностей существования (выживания) в числе ее явных недостатков выделяются: невысокое качество работы; отсутствие творчества в работе, инноваций; деградация трудовых ценностей, так как вынужденный тип мотивации способствует «отмиранию» прежде всего высших социогенных потребностей в творчестве и самореализации; блокируется внутренняя мотивация, являющаяся неиссякаемым и основным источником трудовых достижений. Поэтому вынужденную мотивацию можно назвать «псевдомотивацией», подчеркивая при этом ее неэффективность с точки зрения использования трудового потенциала молодого человека [7].

Так, показателем вынужденной мотивации молодежи в современных российских условиях может служить характер социальной и профессиональной мобильности молодых людей, который, по оценкам Н.Е. Сараповой, часто носит неформальный характер включения в трудовые отношения после вуза (9,3 %), сознательно отсрочиваемый этап трудоустройства (26,8 %), рост числа молодых специалистов в территори-

альной мобильности в поисках перспектив лучшего трудоустройства (5,8 %), несоответствие вида трудовой деятельности молодых людей с высшим образованием уровнем и типу их образования, квалификации (58,1 %) [8]. Исследование, проведенное в г. Новочеркасске, демонстрирует следующие позиции молодежи при оценке факторов, мешающих получить хорошую работу: отсутствие личных связей (38,5 %), недостаток квалификации и навыков (45,5 %), при этом любая работа устраивает в большей степени мужчин (51 %), и 50,5 % опрошенной молодежи отдает предпочтение высокой зарплате перед стабильной занятостью [7], т.е. молодежь готова идти на жертвы в плане работы не по специальности, частной смены работы и т.д. при условии высокой оплаты труда. Как видно, материальный фактор оказывает определяющее влияние на трудовую мотивацию и вынуждает молодежь предпринимать шаги, не способствующие профессиональной самореализации и совершенствованию.

Реалии и перспективы трудоустройства современной российской молодежи сказываются и на ее жизненных планах, главными из которых, по мнению С.В. Скутневой, являются: материальное благополучие, высокий заработок (первое место в системе ранжирования жизненных целей), интересная работа, дело по душе, но при этом среди средств достижения этих жизненных целей работать по специальности собираются только 16,6 % юношей и 8 % девушек (в коммерческих структурах) и 7,8 % и 14,6 % в госструктурах соответственно) [9].

Основная проблема, затрудняющая самоопределение молодежи в социально-профессиональной сфере, заключается в том, что отсутствует или затруднен профессиональный рост и достойное вознаграждение за труд [10], что и формирует «зависимое» сознание молодежи от заработной платы, от родителей, от работодателей и т.д. В таких условиях зависимости формирование самостоятельности, ответственности и жизненной активности несколько осложняется [11].

Важно создать условия для эффективной трудовой адаптации молодежи к рынку труда, который предъявляет к современному молодому специалисту комплекс новых требований – адекватного самоотношения, соответствующего уровня социальной компетенции, высокой степени социально-психологической пластичности, владения психологическими технологиями адаптивного социального функционирования.

Важным направлением в создании системы трудовой мотивации молодежи является мониторинг для оценки действия мотивационных

факторов в молодежной среде. Данный мониторинг должен проводиться достаточно регулярно, а его результаты должны стать объектом исследования, анализа и последующего принятия решения в структурах, несущих ответственность за социальное развитие молодежи: молодежные комитеты, бюро по трудоустройству и т.д., а также представлены широким массам для оценки на общественном уровне всей серьезности ситуации.

**Выводы.** Таким образом, система управления трудовой мотивацией должна включать в себя: систему мониторинга трудовой мотивации; систему трудовой социализации (основные агенты: семья, школа, вуз и др. учебные заведения); систему непрерывного образования, ведущую роль в которой должно выполнять государство в виде разработки государственных программ, выделения субсидий на получение образования, его продолжение и т.д.; систему трудоустройства, которое должно проводиться на различных уровнях и организациях (вуз, муниципальные и региональные структуры и др.) Ситуация в мотивационной сфере трудового поведения молодых россиян, определяющая как социальное развитие самой молодежи, так и социально-экономическое развитие страны в целом, убедительно показывает не только необходимость регулирования и управления процессами формирования трудовых ценностей и трудовой мотивации в молодежной среде, но, более того, рассматривать процесс регулирования и управления как составной элемент стратегического управления города.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Спиридонова Е.Л. Социальное самочувствие незанятой городской молодежи в условиях безработицы (социологический анализ) / Автореф. канд. социол. наук: Новочеркасск, 2011. С. 3.
2. Лоншакова Н.А. Региональный вуз и рынок труда: проблемы адаптации // Социологические исследования. 2013. № 2. С. 68.
3. Озерникова Т.Г. Принуждение к труду и вынужденная мотивация в современной России. Иркутск, 2011.
4. Рошин С.Ю. Переход «учеба - работа»: омут или брод. М.: ГУ ВШЭ, 2006. С. 4.
5. Avilova Z.N., Gulei I.A., Shavyrina I.V. Formation of the customer-centric organizational culture of the university as a factor of effective social and economic development of the region // Mediterranean Journal of Social Sciences. 2015. T.6. № 3. С.207–216.

6. Озерникова Т.Г. Принуждение к труду и вынужденная мотивация в современной России: Иркутск, 2011.

7. Сарапова Н.Е. Социальная мобильность выпускников вузов и молодых специалистов в регионе: институциональный аспект: Автореф. дис. канд. социол. наук.: Пенза, 2010.

8. Скутнева С.В. Гендерные аспекты жизненного самоопределения молодежи // Социологические исследования. 2013. № 11. С. 75.

9. Кравченко, Е.Ю. Противоречивые проблемы рекрутинга в концепции социального управления организацией // Современные подходы к модернизации экономики, образования и кооперации: Материалы международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов. Белгородский университет кооперации, экономики и права. Белгород: Издательство БУКЭП, 2012. С. 72–77.

10. Хорошун Н.А., Шамаева О.П. Кадровая политика как часть стратегически ориентированной политики организации // Инновационная наука. 2016. № 1-3 (13). С. 178–183.

11. Vladimir N. Fomin, Nikolai S. Danakin, Inna A. Gladkova, Irina V. Savenkova and Lilia E. Gai, 2015. Stadias and Mechanisms of Presentations of Professional Formation and Personality Development. The Social Sciences, 10: 1460-1468. <http://medwelljournals.com/abstract/?doi=ssci-ence.2015.1460.1468>

12. Gusev R.V., Avilova Zh.N. Evaluation of the complex organizational and economic factors, determining of commodity-sales enterprise policy. В сборнике: European Innovation Convention Vienna, 2013. С. 21–32.

13. Диагностика как функция социального управления Бахарев В.В., Камалова Р.Ш., Мукминов Р.Р. В сборнике: История науки и техники глазами молодых исследователей Международная научная конференция, посвященная 130-летию испытания первого российского самолета А. Можайского: Сборник статей. Ульяновский государственный технический университет. 2012. С. 284–293.

14. Гузаиров В.Ш. Актуальные проблемы подготовки специалистов по медиации // Наукоемкие технологии и инновации (XXI научные чтения) Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2014. С. 95–100.



---

**Shamaeva O.P., Khoroshun N.A.****REGULATION OF WORK BEHAVIOR AS A PART OF STRATEGIC MANAGEMENT**

*Reforming socio-economic structures of the state, new conditions of life, based on the approval of the civilized market relations, the presentation of high requirements to the professional status of the modern worker, we had to consider in the process of strategic city management features of formation of motivation of the population in General and youth in particular. In the managerial Sciences to the study of motivation as its basic element developed a systematic approach that allows us to consider motivation as part of the management system in the construction industry, is interconnected with the other elements of the management system, including strategic planning.*

**Key words:** *construction industry, strategic management, labor motivation, market economy, labor behavior.*

---

**Шамаева Ольга Петровна**, кандидат социологических наук, кафедры социологии и управления.

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

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

**Хорошун Нарине Агасиевна**, кандидат социологических наук, кафедры социологии и управления.

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

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

E-mail: nara.rita@yandex.ru

Малыхина И.О., канд. экон. наук, ст. преп.,  
Брежнев А.Н., канд. экон. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ПРОЕКТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ РАЗВИТИЯ ИНЖИНИРИНГОВОГО ЦЕНТРА, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ВУЗА

imalykhina@inbox.ru

Сегодня отечественная экономика переживает непростые времена, связанные с нестабильностью геополитической обстановки в мире, усилением санкционной политики западных стран по отношению к Российской Федерации, ограниченным доступом к иностранным инвестициям и другими факторами, которые напрямую влияют на скорость и качество экономического развития государства. Однако Россия сегодня идет по пути инновационного развития, поэтому генерация и внедрение в промышленное производство инноваций является приоритетом.

Осознанная необходимость инновационного развития России обуславливает важность совершенствования и получения высоких результатов в таких относительно молодых видах деятельности для нашей страны, как проектное управление и инжиниринг. В статье рассмотрено влияние проектного управления как формы инновационного менеджмента на развитие инжинирингового центра, созданного на базе вуза. Устойчивый рост спроса на инжиниринговые услуги, которые способствуют качественному и результативному внедрению новейших технологических решений в производство, во многом связан с существенным усложнением научных результатов в научно-технической, исследовательской и инновационной сферах. Поэтому использование принципов и методов проектного управления создает условия для высокой результативности реализации инновационных проектов, к которым относятся создание и развитие инжиниринговых центров, в том числе в сфере промышленности строительных материалов.

**Ключевые слова:** проектное управление, инновации, инжиниринговый центр, вуз, проекты.

**Введение.** Общеизвестным является тот факт, что теория проектного управления сегодня закономерно может быть признана современной наукой со своей методологией, методическими подходами и практическими рекомендациями в части решения наиболее важных проблем данной предметной области знаний. Свое активное развитие проектное управление как вид научных знаний получило во второй половине XX века в США. К необходимости обновления существующих на тот момент и трудно поддающихся изменениям организационных структур, основанных на бюрократических принципах, общество пришло вследствие быстрых и существенных изменений внешней среды. Вопрос важности применения новых методов и способов управления был неоспорим, но активно развить теорию проектного управления удалось лишь с развитием программного обеспечения и повсеместной компьютеризацией, при этом основывается данная теория на принципах сетевого планирования. Проектное управление сегодня пришло на смену функционального подхода, и его эффективность очевидна, несмотря на незрелость [1].

Сегодня российская экономика нуждается не просто в модернизации, а в принципиальном изменении вектора движения. Россия должна двигаться по пути инновационного развития, и первые шаги в данном направлении уже сдела-

ны. Так, принятая Стратегия инновационного развития Российской Федерации до 2020 года предполагает реализацию стратегически важных проектов различной степени сложности и применение основ проектного управления. Необходимость трансформации экономической системы, привлечения инвестиций, формирования инновационных инфраструктур, реализации инновационных проектов, инновационно-инвестиционного развития регионов обусловили целесообразность применения на государственном уровне методов проектного управления [2].

Одним из таких стратегически важных инновационных проектов, которые реализуются государством и где необходима применение методов проектного управления ни у кого не вызывает сомнений, является развитие инжиниринга в России с перспективой доведения качества предоставляемых инженерно-консультационных услуг до требований мирового рынка. Если обратиться к истории, рынок инжиниринговых услуг начал формироваться в начале XX века США, и в середине XXI века инжиниринг уже являлся самостоятельной областью коммерческой деятельности.

В современных условиях экономического развития деятельность, связанная с предоставлением инжиниринговых услуг, является не только признаком развитой экономики, но и

способом кооперации государства, сектора высшего образования и промышленности. По оценкам авторитетных ученых, мировой объем рынка инжиниринговых услуг к 2020 году составит 1 триллион долларов США [3].

По данным отчетов компетентных министерств и ведомств, сегодня в России дефицит научных кадров, вызванный их оттоком за рубеж вследствие распада СССР, устранен. Если бы в настоящее время темпы развития науки и техники, которые наблюдались в советском прошлом, сохранились, отметим, что инженерный опыт тогда шел в ногу с мировым, или функции инжиниринговых компаний также выполнялись бы в научно-исследовательских, конструкторских, проектных, технологических и опытно-экспериментальных организациях, тогда объемы, качество и новизна технологических решений во многом превосходили бы мировые.

**Методология.** Отметим важную роль в развитии методологии формирования проектного управления таких ученых, как Й.А. Шумпетера, П. Друкера, К. Фридмана, П. Мартина, К. Тейта, С.Ю. Глазьева, М.Л. Разу, Ю.А. Дорошенко, И.В. Соминой, И. Ильинской, А.М. Либмана и др.

М.Л. Разу определяет проектное управление как особый вид управленческой деятельности, который основывается на предварительной коллегиальной разработке комплексно – системной модели действий для достижения оригинальной цели и направленный на реализацию этой модели [4].

А.М. Либман под «проектным управлением» подразумевает совокупность руководящих задач, организаций, технических приемов и средств в целях осуществления проекта [5].

К.Л. Жихарев утверждает, что проектное управление является развитием региональных инновационных систем, и предполагает выделение трех уровней управления, а именно управление инновационными: проектами, программами и портфелем региона [6].

Опираясь на научную терминологию и обобщая опыт российских и зарубежных ученых в части определения понятия «проектное управление», попытаемся представить авторское определение данной экономической категории. Так, проектное управление – это комплекс квалифицированных управленческих решений в профессиональных областях относительно управления всеми ресурсами организации, основанный на применении принципов, методов и средств инновационного менеджмента в целях максимально результативного достижения поставленных целей с учетом имеющихся требо-

ваний по времени, финансам и индивидуальным особенностям проекта.

Важно отметить труды ученых, также разрабатывавших методологию и методические подходы к решению проблем формирования и поисков путей развития инжиниринговых центров, в том числе, созданных на базе высших школ, а именно С. Клана, Р. Литана, Л. Митчелла, М. Портера, Н. Розенберга, Ю.А. Дорошенко, М.А. Гершмана, Л.М. Гохберга, И.А. Кузнецова.

В своих исследованиях И.Ю. Чекмачов и Е.В. Иода определяют инжиниринг как предоставление на возмездной основе исследовательских, проектно-конструкторских, аналитических и консультационных услуг, а также рекомендаций в части технической, производственной, экономической и управленческой составляющих процесса коммерциализации произведенной продукции и эффективного использования инфраструктурных объектов [7].

Б.Г. Прахов и Н.М. Зенкин понимают инжиниринг как совокупность работ и услуг, включающих: составление технических заданий; проведение НИР, составление проектных предложений и ТЭО строительства промышленных и других объектов; проведение инженерно-исследовательских работ; разработку технических проектов и рабочих чертежей строительства новых и реконструкции действующих промышленных и других объектов; разработку предложений во внутризаводской и внутрицеховой планировке, межоперационным связям и переходам; проектирование и конструкторскую разработку машин, оборудования, установок, приборов, изделий; разработку составов материалов, сплавов, других веществ и проведение их испытаний; разработку технологических процессов, приемов и способов; консультации и авторский надзор при шеф-монтаже, пусконаладочных работах и эксплуатации оборудования и объектов в целом; консультации экономического, финансового или иного порядка [8].

Анализируя и обобщая подходы различных авторов к определению инжиниринга, представим собственное определение данной категории как возможности использования на возмездной основе результатов фундаментальных и прикладных научных исследований, носящее консультационный и рекомендательный характер, с целью совершенствования практических навыков и производственных процессов в различных отраслях народного хозяйства, в том числе в промышленности строительных материалов.

**Основная часть.** Сущностью процесса трансформации применяемой системы управления является необходимость ее дополнения но-

вейшими организационными методами и принципами сбалансированного и эффективного взаимодействия структур традиционного и инновационного типов.

Ю.А. Дорошенко и И.В. Сомина выделяют следующие преимущества проектного управления [9]:

- возможность взаимодействия хозяйствующих субъектов на ином качественном уровне, что может быть достижимо благодаря единству интересов участников проекта, оговоренным заранее временным рамкам реализации проекта, экономической независимостью проектных менеджеров;
- возможность грамотного и наиболее рационального распределения и применения ограниченных ресурсов;
- возможность получения всесторонней экономической оценки на всех этапах реализации проекта.

Данная оценка заключается в возможности осуществления комплексного обзора окружения на систематической основе для идентификации наиболее важных для успешной реализации проекта участников и факторов. При этом данная процедура может осуществляться в форме случайного наблюдения или запланированного надзора. Факторы, влияющие на проект, могут быть управляемыми, то есть на которые можно воздействовать или неуправляемыми, то есть поддающиеся только оценке.

Однако проектное управление сегодня находится на начальной стадии развития, поэтому выделенные учеными недостатки легко объяснимы [10]:

- несовершенство нормативно-правовой базы, регламентирующей проектную деятельность;
- участники проекта стимулируются на заключительных этапах его реализации;
- непроработан механизм комплексной оценки эффективности проектов.

Проектное управление реализуется посредством прохождения следующих этапов реализации проекта [11]:

- инициация: заключается в необходимости проведения процедуры оформления и регистрации заявки инициатором проекта в соответствии с существующими требованиями;
- планирование: производится планирование сроков реализации проекта, объемов и качества необходимых ресурсов, ответственных лиц и др.;
- реализация: осуществление необходимых, в том числе специализированных работ, определяющих успех реализации проекта;

- закрытие проекта: подведение итогов, анализ результатов от реализации проекта.

Проектное управление является формой инновационного менеджмента, и может быть применимо любыми субъектами экономических отношений, в том числе и высшими школами, чья инновационная инфраструктура служит основой для формирования инжиниринговых центров. И если рассматривать вуз не только как генератора новейших знаний и технологических решений, но и как инфраструктурную основу для создания коммерческих компаний различной направленности (инжиниринговые центры, технологические центры, малые инновационные предприятия, бизнес-инкубаторы и др.), открываются обширные возможности для привлечения средств из внебюджетных источников финансирования, укрепления имиджа, а также предоставления возможности научно-педагогическому коллективу участвовать в научно-исследовательских проектах, расширяя компетентностные возможности и профессиональные знания.

Каким образом происходит процесс кооперации вуза и инжинирингового центра? Прежде всего, вуз предоставляет внутренние ресурсы, а именно возможность использования собственной инновационной инфраструктуры, а также оказывает важную информационную поддержку. Также вуз осуществляет еще одну важную функцию – предоставляет возможность установления контактов и впоследствии укрепления связей между инжиниринговым центром и заинтересованными в их деятельности партнерами и потенциальными заказчиками. При этом методы проектного управления, применяемые как менеджментом инжинирингового центра, так и менеджментом вуза в деятельности названных организаций и при их взаимодействии способствуют минимизации негативных последствий от наступления рискованных ситуаций, вызванных проблемами с укреплением инновационного потенциала вуза и активностью осуществления инновационной деятельности. Таким образом, вузы также заинтересованы в создании под своим крылом инжиниринговых центров хотя бы потому, что они являются способом повышения собственной коммерческой активности и конкурентоспособности. При этом инжиниринговые центры стимулируют процесс развития не только собственной проектно-технологической, инженерной и научной инфраструктуры, но и тех вузов и научных организаций, на чьей базе созданы.

Таким образом, выделим основные задачи, которые выполняют инжиниринговые центры [10]:

- поиск и взаимодействие с потенциальными заказчиками;
- развитие многопрофильного инфраструктурного обеспечения;
- взаимодействие и привлечение к работам научно-педагогического коллектива и студенческого контингента;
- координация работы в рамках реализации проекта.

Развитие инжиниринга в России является приоритетной задачей. В полной мере реализованы механизмы государственной поддержки, что проявляется в реализации принципа государственно-частного партнерства, также государством производятся бюджетные ассигнования на развитие инжиниринговых центров и компаний и координирование участников инжиниринга как самостоятельной коммерческой деятельности на основе квалифицированного применения методологических подходов и практических рекомендаций в области проектного управления.

**Выводы.** Сегодня можно закономерно утверждать, что развитие национальной экономики во многом определено эффективностью применяемых методов проектного управления, в том числе, с целью повышения активности и результативности развивающихся инжиниринговых центров. Однако в современных условиях развитие инжиниринга в России напрямую зависит от государственной политики. Но стоит отметить, что объемы промышленных заказов инжиниринговых услуг ежегодно растут, и если подобные темпы сохранятся, в недалеком будущем будут превалировать.

В заключение подчеркнем, что в развитии инжиниринговой деятельности в России заинтересованы все участники экономических отношений. Кооперация науки, образовательного сектора, инновационной инфраструктуры высших школ, как основы для создания инжинирингового центра, и научно-исследовательских институтов обеспечит прочную основу развития инжиниринга и повысит инвестиционную привлекательность данной отрасли. Российский рынок инжиниринга имеет большой потенциал роста, и грамотное применение основ проектного управления позволит добиться этого роста быстрее и эффективнее.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Заренков В.А. Управление проектами. М.: Изд. АСВ, 2006. 312 с.
2. Дементьев В.В. Проектное управление в системе стратегического планирования // Бюджет. 2012 г. №8. режим доступа: <http://bujet.ru/article/200687.php>
3. Дорошенко Ю.А., Малыхина И.О. Инжиниринговые центры как фактор повышения эффективности функционирования инновационной инфраструктуры вуза // Белгородский экономический вестник. 2015. № 4 (80). С. 15–19.
4. Разу М.Л. Управление проектом. Основы проектного управления: учебник. М.: Изд. КНОРУС, 2007. 768с.
5. Либман А.М. Проектный менеджмент: ускоренный курс. М: Изд. «Дело и Сервис», 2005. 192 с.
6. Жихарев К.Л. Проектное управление развитием региональной инновационной системы. М.: Изд. Социум, 2011. 207 с.
7. Чекмачев И.Ю., Иода Е.В. Инжиниринговый центр как элемент инновационной инфраструктуры региона // Социально-экономические явления и процессы. 2014. №9 (Том 9). С. 84–94.
8. Прахов Б.Г., Зенкин Н.М. Изобретательство и патентование. К.: Изд. Техника, 1981. 208 с.
9. Дорошенко Ю.А., Сомина И.В. Моделирование результативности инновационной деятельности // Социально-гуманитарные знания. 2012. № 8. С. 172–177.
10. Дорошенко Ю.А., Капустин Е.В. Управление проектами, связанными с созданием и использованием объектов интеллектуальной собственности // Реформирование системы управления на современном этапе: Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции. Пенза, 2004. С. 80–82.
11. Чижова Е.Н., Брежнев А.Н., Кондрашова Е.А. Основные виды показателей качества инновационного проекта и требования к их выбору // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. №3. С. 119–121.

**Malykhina I.O., Brezhnev A.N.**

### PROJECT MANAGEMENT AS A TOOL FOR DEVELOPMENT ENGINEERING CENTER, BASED AT THE UNIVERSITY

*Today, the domestic economy is going through difficult times associated with the instability of the geopolitical situation in the world, a strengthening of the sanctions policy of Western countries towards the Russian Federation, limited access to foreign investment and other factors that directly affect the speed and quality of*

*economic development of the state. However, Russia today is on the path of innovative development, so the generation and usage in industry innovation is a priority. Recognition of necessity of innovative development of Russia determines the importance of improving and obtaining good results in such a relatively young activities for our country as project management and engineering. In this paper, the influence of project management as a form of innovative management in the development of the engineering centre, based at the University. Steady growth in demand for engineering services, which contribute to qualitative and effective implementation of the latest technological solutions in production, largely due to the significant complexity of scientific results in scientific, research and innovation. Therefore, the use of the principles and methods of project management creates the conditions for high performance implementation of innovation projects, which include the creation and development of engineering centers, including in the field of building materials industry.*

**Key words:** *project management, innovation, engineering center, university projects.*

---

**Малыхина Ирина Олеговна**, кандидат экономических наук, старший преподаватель кафедры Стратегического управления.

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

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

E-mail: imalykhina@inbox.ru

**Брежнев Алексей Николаевич**, кандидат экономических наук, доцент кафедры Стратегического управления.

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

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

E-mail: imalykhina@inbox.ru

Лычева И.М., канд. экон. наук, доц.,  
Молчанова В.А., канд. экон. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## РАЗВИТИЕ ОТНОШЕНИЙ С КЛИЕНТАМИ В БАНКОВСКОМ РИТЕЙЛЕ

Licheva\_irina@mail.ru

*Динамизм происходящих в отечественном банковском секторе преобразований, так или иначе, касается взаимоотношений банков с их клиентами. Клиентская база по-разному реагирует на реформирование банковской системы: есть категория клиентов, которые не принимают действия ЦБ РФ, они утверждают, что монополия государственных банков приведет к ухудшению обслуживания, снижению качества банковских продуктов и рискованности совершаемых банковских операций. Но есть и другая категория клиентов, которые позитивно оценивают перемены и считают увеличение государственного присутствия на банковском рынке естественным ходом развития. Они связывают эти изменения с возможностью увеличения финансирования важнейших отраслей реального сектора экономики: строительства, металлургии, машиностроения. Задача банковского сектора экономики и сегодня, и в предыдущие периоды во многом схожа: банки всё ещё продолжают искать ускользающий Грааль – продолжительные отношения с клиентами. Несмотря на высокие технологии, графические интерфейсы и маркетинговые стратегии реализация поставленной задачи во многом еще остается не ясной.*

**Ключевые слова:** розничный банковский бизнес, маркетинг лояльности, CRM-стратегия, индивидуальный подход к клиенту.

**Введение.** Формирование продолжительных отношений с клиентами является стратегической целью не только банковского бизнеса. Практически во всех сферах экономики предпринимаются попытки создать клиентскую базу с долгосрочными взаимоотношениями. Одной из главных причин, подталкивающих бизнес к интенсивным поискам в данном направлении, является ужесточение конкурентной борьбы внутри отрасли и за ее пределами. Разрабатываемые программы и стратегии лояльности клиентов отличаются большим разнообразием и высокой стоимостью, однако четких критериев успешности их реализации пока не выработано.

**Методология.** В ходе изучения проблем создания клиентоориентированной модели банковского бизнеса были использованы методы научного исследования: наблюдения, обобщения, индукции, дедукции, синергии, которые позволили использовать мировой опыт в решении данной проблемы.

**Основная часть.** Построение длительной и конкурентоспособной лояльности среди розничных клиентов банков, как цель, поставленная перед индустрией, с особой четкостью была обозначена еще в 1990-х годах в банковском сообществе Запада. Банки получили возможность организации правильного ведения банковских дел с учётом взаимоотношений с клиентами. Однако переход к клиентоориентированной модели бизнеса оказался для кредитных учреждений сложным и достаточно затратным.

Западные банки осознали необходимость перехода от продуктовой ориентированности к

клиентской лояльности, когда столкнулись с заметной потерей клиентской доли на финансовом рынке. Банки постепенно стали уступать позиции инвестиционным фирмам и страховым компаниям полного цикла. По данным Федерального Резерва в середине 90-х годов только 16 % активов средней американской семьи хранилось в банках (11,4 % на банковских счетах и 4,3 % на депозитах), по сравнению с 29 % в 1989 году. Клиенты предпочитали банковским продуктам и услугам вклады во взаимные фонды и денежный рынок [7].

Американский банковский сектор ответил на сокращение клиентской базы серией поглощений и слияний, которые привели к консолидации функций, снижению операционных издержек и повышению доходов. И на данном этапе этих действий оказалось достаточно, чтобы отрасль сохранила свои позиции.

Продукто-центричная организация бизнеса заставляет его концентрироваться только на окупаемости отдельных банковских продуктов, а от банковской индустрии требуется научиться оценивать доходность продуктов и услуг для клиентов банка. Осуществить переход к клиентоориентированной модели, можно реорганизовав бизнес в соответствии с более индивидуальным подходом к клиентам. Формирование моделей этого подхода связано с зарождением концепции банкинга. Это стало возможным благодаря освоенной банками в 1980 году новейшей технологии, базы данных CIF (Central Information File - Центральный Информационный Файл), позволявшей получать отчет об от-



ношениях с клиентами по всему предприятию, а не по отдельным подразделениям. Уже тогда была сделана попытка создать единый всеохватывающий портрет клиента. На его основе и вкуче с логикой решений, основанной на политике банка, предполагалось создать условия для более профессионального решения проблемы отклика на запросы клиентов в соответствии с политикой банка и ценностью для банка клиента. Несомненным преимуществом этой технологии для банка, стала появившаяся дополнительная возможность предлагать клиентам персонализированные продукты и услуги.

Но данная тенденция не получила быстрого развития среди большинства коммерческих банков, так как она потребовала значительных изменений в работе персонала банка. Менеджеры отделений банка и служащие должны были переквалифицироваться в продавцов банковских продуктов, что было сопряжено с целым рядом организационных преобразований, которые не увенчались особыми достижениями.

Продолжившийся отток клиентов в розничном банковском сегменте в конце 1990-х годов вызвал появление новой концепции управления отношениями с клиентами – CRM (Customer Relationship Management). CRM опиралась на достижения технологического бума этого периода, но была очень похожа на банковскую модель отношений с клиентами. Главным ее отличием стала установка дорогого программного обеспечения для повышения эффективности операций и экономии себестоимости, то есть управление клиентами сводилось к овладению современными технологиями. Полностью сосредоточившись на технологической составляющей концепции и забыв о том, что ключевым понятием в CRM является «клиент», банки совершили целый ряд серьезных просчетов. По оценке Meridien Research, Inc., финансовые службы компаний по всему миру потратили в 2002 году \$6,7 миллионов на технологии для CRM. Исследовательская фирма Best Practices LLC сделала выводы о том, что 70 % всех проектов по CRM заканчиваются неудачей, без заметного возврата инвестиций [7].

Однако в начале 2000-х годов значительным прорывом в создании уникальной программы лояльности, являвшейся образцовой для всей индустрии банковского ритейла, стал Banco Popular Premiа. Он не только показал потрясающие результаты в реализации программы, но и заронил зерна, которым в будущем предстояло дать ростки в формировании длительной клиентской лояльности. Успешное воплощение этой программы стоило значительных инвестиций и перераспределения ресурсов в сфере кли-

ентской поддержки, обучения персонала, технологий и стратегических партнерств чему, в немалой степени, способствовало общее видение цели программы на самом высоком уровне руководства [3].

CRM-стратегия в нашей стране постепенно распространяется в начале 2000-х годов, причем пионерами являются телекоммуникационные компании и крупные розничные сети продаж продуктов. Степень проникновения в деятельность коммерческих банков значительно варьируется, так как этот период в отечественном розничном бизнесе имел продукто-центричную направленность. На рис.1 представлен стандартный путь развития розничного банковского бизнеса, который в последние пять лет сфокусировал маркетинговую деятельность на клиенте, и прошел определенный путь в становлении и совершенствовании процесса взаимоотношения коммерческих банков со своими клиентами:

- практически во всех розничных банках страны аналитический подход к формированию предложений и стратегий взаимоотношений с клиентами повсеместно принят и развивается;

- в банковском сообществе укрепилось понимание, что самым эффективным методом ведения розничного бизнеса следует признать индивидуальный подход к клиенту;

- массовые рекламные мероприятия не только не являются эффективными, а даже наоборот, наносят урон розничному бизнесу, снижая заинтересованность со стороны клиентов;

- практически все основные розничные банки прошли этап создания хранилища информации о клиентах, где аккумулируются все доступные о нем данные и первичную сегментацию клиентской базы, разделив ее по наиболее укрупненным признакам, например, массовый сегмент, высокодоходный и VIP-сегменты, или возрастная сегментация. Эти этапы в большей степени связаны с реализацией технологических решений. Общепринятыми этапами в реализации CRM-стратегии принято считать: этап создания хранилища информации о клиентах; сегментации клиентской базы; скоринги и вероятности; работа с триггерами и событиями; пересчет предложений в режиме реального времени [2]. Заключительные этапы CRM самые трудные, но уже не в технологическом аспекте, а в неспособности кредитных организаций выстроить стратегию лояльности со стороны клиентов.

Банковской индустрии придется смириться с постоянной утечкой клиентов в следующие несколько лет – тенденцией, которая отрицательно повлияет на рентабельность банков. Пока противостоять этой тенденции российский бан-

ковский сектор, как в 90-х годах американский, пытается серией поглощений и слияний, которые привели к консолидации функций, сниже-

нию операционных издержек и стабилизации доходности (табл.1).



Рис. 1. Стандартный путь развития розничного банковского бизнеса [2]

Таблица 1

#### Количественные характеристики кредитных организаций России (единиц) [4]

Показатель	1.01. 2012	1.01. 2013	1.01. 2014	1.01. 2015	1.01. 2016	1.04. 2016	1.05. 2016	1.06. 2016
Зарегистрировано кредитных организаций Банком России и другими органами	1112	1094	1071	1049	1021	1008	1005	1000
Действующие кредитные организации (кредитные организации, имеющие право на осуществление банковских операций)	978	956	923	834	733	707	696	689
Кредитные организации, у которых отозвана (аннулирована) лицензия на осуществление банковских операций	134	137	148	214	288	300	308	311
Кредитные организации, имеющие лицензии на осуществление операций в иностранной валюте	661	648	623	554	482	460	452	446
Кредитные организации, имеющие генеральные лицензии	273	270	270	256	232	229	227	226

Количество действующих кредитных организаций за последние пять лет сократилось на 245 банков (25 %), с учетом данных 2016 года сокращение составило 267 банков (29,6 %). 215 банков лишены лицензии на валютные операции. Возможно, на данном этапе, этих действий окажется достаточно, чтобы отрасль сохранила свои позиции. Однако даже на фоне очевидных успехов процесса мега-слияний, банки продол-

жают формирование моделей взаимоотношений со своими клиентами. Потенциала слияний и поглощений в банковской отрасли, для сохранения доходности может на долго не хватить, если она будет концентрироваться только на технологической составляющей CRM.

Но утечка клиентов – это только вершина айсберга. Банки уже столкнулись со многими проблемами, которые напрямую связаны с кли-

ентской лояльностью. Основные принципы маркетинга лояльности - материальные и нематериальные льготы, выгодные ценовые предложения, интерактивный, поддерживаемый диалог с клиентами и т.п. – все это является основой реализации трех заключительных этапов стратегии CRM в банковской розничной индустрии. Программы лояльности, основанные на взаимодействии с клиентами, привлекают в розничные банки потребителей с "правильным" профилем, позволяющем строить долгосрочные отношения. Российские банки должны учесть опыт Banco Popular Premia в начале 2000-х годов, который достиг высоких результатов, сфокусировав свою деятельность, прежде всего, в перераспределении ресурсов в сфере клиентской поддержки.

**Выводы.** Розничный банковский бизнес в России столкнулся с похожими проблемами американского «коллеги». Построение модели клиентоориентированного бизнеса американцы пытались решить за счет только широкого распространения высоких технологий в анализе клиентской базы, установления онлайн-контактов с клиентами, попытками реагирования на их запросы. Однако только технологической составляющей в CRM-стратегии оказалось недостаточно. Клиентская лояльность во многом может быть спрогнозирована, но она в настоящее время не имеет поддержки со стороны банков. Высокие процентные ставки по кредитам для физических лиц в 2015 году сократили кредитный портфель на 5,7 % и заметно увеличили объемы просроченной задолженности. Результаты 2016 года продолжают тенденцию 2015 г. [4]. Вместе с тем, объемы кредитования предприятий в 2015 году выросли на 12,7 %. Программа лояльности для корпоративных клиентов со стороны банковского сообщества в 2015 году оказалась более результативной.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Актуальные проблемы управления финансами в российской экономике: монография / С. М. Бухонова, Ю. А. Дорошенко, Ю. И. Селиверстов и др.; под общ. ред. д-ра экон. наук, проф. С.М. Бухоновой. Белгород: Изд-во БГТУ,

2013. С.221.

2. Иванова С.С. Управление взаимоотношениями с клиентами в крупном розничном бизнесе // Деньги и кредит. 2016. №4. С. 39–46.

3. Краевая А. Программы лояльности должны быть комплексными // Банковская практика за рубежом. 2007. №4. С.26–34.

4. Обзор банковского сектора Российской Федерации. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.cbr.ru/analytics/bank\\_system/obs\\_ex.pdf](http://www.cbr.ru/analytics/bank_system/obs_ex.pdf) (дата обращения: 20.07.2016)

5. Российский рынок M&A. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.akm.ru/rus/ma/stat/2015/12.htm> (дата обращения: 15.07.2016)

6. Рынок розничного банковского кредитования май 2016.pdf. [Электронный ресурс]. URL: <http://nacfin.ru/wp-content/uploads/2016/05> (дата обращения: 22.07.2016)

7. Ханифин Билл. Новая модель отношений банка с клиентами. [Электронный ресурс]. URL: <http://loyaltymarketing.ru/articles/2006/07/17/%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F-%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B9%D0%B1%D0%B0%D0%BD%D0%BA%D0%B0%D1%81%D0%BA%D0%BB%D0%B8%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%BC%D0%B8> (дата обращения: 20.07.2016)

8. Рынок банковских CPM: итоги 2015 года. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pcweek.ru/idea/article/detail.php?ID=18612> (дата обращения: 20.07.2016)

9. Васильева И.А. Предпосылки создания эффективной системы продаж розничных банковских продуктов. // Экономика и современный менеджмент: теория и практика. Сборник статей по материалам XLIX международной научно-практической конференции. Новосибирск. 2015. № 5 (49). С. 14–17.

10. Ушанов А.Е.. Сервисная модель работы банка с клиентами сегмента крупного и среднего бизнеса. // Управление в кредитной организации. 2013. № 4. С.86–93.

**Licheva I.M., Molchanova V.A.**

## IMPROVING CONSUMER LENDING MODEL CLIENTS

*The dynamism of the ongoing reforms in the domestic banking sector, one way or another, concerns the relationship of banks with their clients. The customer base responds differently to the reform of the banking system: there is a category of clients who do not take the action of the Central Bank of the Russian Federation, they argue that the monopoly of state-owned banks will lead to a deterioration of service, reduction in quality of banking products and riskiness of banking operations. But there is another category of customers who are positive about the changes and consider increasing the state presence in the banking market of the natural course of development. They link these changes with the possibility of increasing the funding the most*

*important sectors of the real sector of the economy: construction, metallurgy, mechanical engineering. The problem of the banking sector today and in previous periods is similar in many respects: banks still continue to search for the elusive Holy Grail - lasting relationships with customers. Despite the high technology, graphical user interfaces and marketing strategy for the implementation of the task is still unclear in many respects.*

**Key words:** *retail banking; loyalty marketing; CRM-strategy; individual approach to the client*

---

**Лычева Ирина Михайловна**, кандидат экономических наук, доцент кафедры финансового менеджмента.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

E-mail: Licheva\_irina@mail.ru

**Молчанова Вера Алексеевна**, кандидат экономических наук, доцент кафедры финансового менеджмента.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

E-mail: Molchanova\_VA@mail.ru

Научное издание

**«Вестник БГТУ имени В.Г. Шухова»**  
**№ 1, 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 10.01.17. Подписано в печать 02.12.16. Формат 60×84/8  
Усл. печ. л. 29,06. Уч.-изд. л. 31,25.  
Тираж 1000 экз. Заказ 404. 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

