МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВЕСТНИК БГТУ им. В.Г. ШУХОВА

№ 6, 2015 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.

© Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2015

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р., Гайфуллин А. Р.
ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК В ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ ГЛИНИТА ПОЛИМИНЕРАЛЬНОЙ КАОЛИНИТСОДЕРЖАЩЕЙ ГЛИНЫ НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ 7

Бондаренко В.М., Панченко Л.А.
ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ И ДИНАМИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ 12

Шестаков Н.И., Урханова Л.А., Буянтуев С.Л., Семенов А.П., Смирнягина Н.Н.
АСФАЛЬТОБЕТОН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМОДИФИКАТОРОВ 21

Алфимова Н.И., Лесовик В.С., Агеева М.С., Трунов П.В., Шадский Е.Е.
ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОЧНОСТЬ МОДИФИЦИРОВАННОГО ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ 25

Высоцкая М.А., Чевтаева Е.В., Ширяев А.О.
ХОЛОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДОРОЖНО-РЕМОНТНЫХ РАБОТ 30

Даниленко Е.П., Калачук Т.Г., Королёв А.С.
СТРАТЕГИЧЕСКИЙ МАСТЕР-ПЛАН СОЗДАНИЯ МУЛЬТИПАРКА БЕЛГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ 35

Ядыкина В.В., Гридчин А.М., Траутваин А.И., Вербкин В.И.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПОЛИМЕРОВ И ПЛАСТИФИКАТОРОВ НА СВОЙСТВА БИТУМА БНД 60/90 И АСФАЛЬТОБЕТОНА НА ЕГО ОСНОВЕ 40

Козлов Н.А., Зинченко С.М., Козлова И.Э.
ВЛИЯНИЕ АКТИВНОЙ МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ ПУМИЦИТА НА ПРОЦЕССЫ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ НЕАВТОКЛАВНОГО ПЕНОБЕТОНА 46

Логачев К.И., Плотников К.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯ СКОРОСТЕЙ В СПЕКТРЕ ДЕЙСТВИЯ МЕСТНОГО ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ОТСОСА ПРИЕМНОЙ ВОРОНКИ КОРПУСА КРУПНОГО ДРОБЛЕНИЯ 50

Черныш Н.Д., Тарасенко В.Н.
МИКРОКЛИМАТ СЕЛИТЕБНОЙ ТЕРРИТОРИИ КАК МНОГОКОМПОНЕНТНАЯ СРЕДА АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ 57

Степанова-Третьякова Н.С., Храбатин В.М.
НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТВОРЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В АРХИТЕКТУРЕ 62

Логанина В.И., Кислицина С.Н., Фролов М.В.
ИЗВЕСТКОВОЕ КОМПОЗИЦИОННОЕ ВЯЖУЩЕЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ АЛЮМОСИЛИКАТНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ 70

Лесовик В.С., Перькова М.В., Бабаев В.Б.
АРХИТЕКТУРНАЯ ГЕОНИКА КАК МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В АРХИТЕКТУРНОЙ НАУКЕ И ПРАКТИКЕ 74

Коврижкина О.В.
КОМПОЗИЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АРХИТЕКТУРНАЯ ГРАФИКА 80

Русина С.Ю., Высоцкая М.А.
РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОЙ НАНОМОДИФИЦИРОВАННОЙ БИТУМНО-ПОЛИМЕРНОЙ МАСТИКИ 87

Черныш Н.Д., Коренькова Г.В., Митякина Н.А.
ПРОБЛЕМЫ, МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КУЛЬТУРЫ СОЗДАНИЯ АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЫ 93

Строкова В.В., Огурцова Ю.Н., Боцман Л.Н.
ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВНОГО КОМПОНЕНТА НА СТЕПЕНЬ ПРОПИТКИ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА ПРИ ЭПИКРИСТАЛЛИЗАЦИОННОМ МОДИФИЦИРОВАНИИ 97

Чернышева Е.В., Серых И.Р., Статинов В.В., Статинов В.Ф.
НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СТАЛЕБЕТОНННЫХ ПОЛИГОНАЛЬНЫХ ПЛИТ 102

Бабаев В.Б., Перькова М.В., Крушельницкая Е. И., Жданова И.Г.
ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПРОСТРАНСТВЕННОЕ МАКЕТИРОВАНИЕ
И ПРОТОТИПИРОВАНИЕ 106
Лебедев В.М.
СИСТЕМОКВАНТЫ КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ 112
Есипов С.М.
АНАЛИЗ МЕТОДИК ПРОЕКТИРОВАНИЯ УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
КОНСТРУКЦИЙ КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ 114
Клюев С.В., Клюев А.В., Лесовик Р.В.
ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ФИБРОБЕТОНА 119
Черныш А.С.
К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ СЛОЖЕННЫХ ПРОСАДОЧНЫМИ
ГРУНТАМИ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ И УВЛАЖНЕНИИ 122
Немировский Ю.В., Болтаев А.И.
ДИАГРАММЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНОВ И ЖЕЛЕЗОБЕТОНОВ 125
Фомина Е.В., Войтович Е.В., Фомин А.Е., Лебедев М.С. Кожухова Н.И.
ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОГО КАЧЕСТВА ШЛАКА ОЭМК ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ
ЕГО В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТАХ 130
Перькова М.В., Борзых Е.А.
ОЦЕНКА ВЗАИМОСВЯЗИ СОЦИАЛЬНЫХ И ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ
В ПЛАНИРОВКЕ Г. СТРОИТЕЛЬ 134
Ильинская Г.Г., Сопин Д.М., Богусевич В.А., Лесовик Г.А., Черкесов М.Ф.
СУХИЕ ОТДЕЛОЧНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ
ВЯЖУЩИХ ДЛЯ УСТРОЙСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ 139
Строкова В.В., Баскаков П.С., Мальцева К.П.
УТОЧНЕНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА КРИТИЧЕСКОЙ ОБЪЕМНОЙ КОНЦЕТРАЦИИ
ПИГМЕНТОВ В СОСТАВЕ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ 144
Ядыкина В.В., Гридчин А.М., Траутваин А.И., Чистяков Ю.П.
ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА
ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА НА ПРИМЕРЕ EVOTHERM,
АЗОЛ 1007 И АДГЕЗОЛ 3-ТД 149
Сулейманова Л.А.
ЭНЕРГИЯ ВНУТРЕННИХ СВЯЗЕЙ В МАТЕРИАЛЕ – ОСНОВА ЕГО ПРОЧНОСТИ,
ДЕФОРМАТИВНОСТИ И СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ РАЗЛИЧНЫМ ФАКТОРАМ 154

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Агарков А.М., Шарапов Р.Р., Бойчук И.П., Прокопенко В.С.
ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАТОРА 160
Семикопенко И.А., Воронов В.П., Горбань Т.Л.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ УГЛАМИ СХОДА ЧАСТИЦ МАТЕРИАЛА
С РАДИАЛЬНОЙ И КРИВОЛИНЕЙНОЙ ЛОПАСТЕЙ И КООРДИНАТАМИ ЗАГРУЗОЧНЫХ
ПАТРУБКОВ В ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ПРОТИВОТОЧНОЙ МЕЛЬНИЦЕ 164
Вострикова М.А.
БАЗОВАЯ МОДЕЛЬ СХЕМЫ ПРИБОРА ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ
СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ОТ СОЕДИНЕНИЙ СЕРЫ 166
Щербинина О.А., Щербинин И.А., Уваров В.А.
ВЫЧИСЛЕНИЕ ТАНГЕНЦИАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТЫ ВЕКТОРА СКОРОСТИ ВЯЗКОГО
МАТЕРИАЛА В РОТОРНО-ПУЛЬСАЦИОННОЙ УСТАНОВКЕ 170
Голдобина В.Г.
ПЕРЕНОСНОЙ СВЕРЛИЛЬНЫЙ СТАНОК ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ 174
Графкина М.В., Нюнин Б.Н., Свиридова Е.Ю.
МЕХАНИЗМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ИНФРАЗВУКА ОТ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ
СРЕДСТВ КАК НЕГАТИВНОГО ФАКТОРА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ 178

Шарапов Р.Р., Мамедов А.А., Харламова Е.В.
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРИВОДОВ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН НА ЭВМ (ТАБЛИЧНЫЙ ПРОЦЕССОР EXCEL) 183
Семикопенко И.А., Воронов В.П., Жуков А.А.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗОНЕ АКТИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РОТОРОВ АГРЕГАТОВ ДЕЗИНТЕГРАТОРНОГО ТИПА 187
Богданов В.С., Семернин А.Н., Анциферов С.И., Колесник В.А.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЛАНЕТАРНОГО СМЕСИТЕЛЯ 190
Бондаренко И.Р.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ 196

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Радоуцкий В.Ю., Васюткина Д.И., Кудинова А.И.
АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛИКВИДАЦИЕЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ 200
Шаптала В.В.
МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ЗАПЫЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ ЦЕМЕНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА 205
Юдин Д.А., Фролов С.В., Магергут В.З.
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГРУППОВОГО УЧЕТА АРГУМЕНТОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЦЕМЕНТНОЙ ПЕЧЬЮ 210
Чуев А.В.
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ИНДИКАТОРНЫХ СЕТЕЙ 216
Степовой А.А., Магергут В.З.
СГЛАЖИВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ СОВЕТУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЦЕМЕНТНОЙ ПЕЧЬЮ 222

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Кущев Л.А., Суслов Д.Ю.
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА АНАЭРОБНОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ В БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВКАХ 227
Бессмертный В.С., Ильина И.А., Лесовик В.С., Борисов И.Н., Бондаренко Н.И., Бондаренко Д.О.
КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ДЕГИДРАТАЦИИ ГИДРОСИЛИКАТОВ ПРИ ПЛАЗМЕННОЙ МОДИФИКАЦИИ СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА 231
Алмобарак Фалак
ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ АДСОРБЦИИ ИОНОВ НИКЕЛЯ НА ГЛИНИСТЫХ СОРБЕНТАХ 236
Тарасова Г.И., Шевага О.Н.
ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБРАТНЫХ ЭМУЛЬСИЙ И МЕХАНИЗМ ИХ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕРМОЛИЗНЫМ ДЕФЕКАТОМ $ТД_{600}$ 239

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Всяких М.В., Самхарадзе А.К.
РЫНОК АВТОКРЕДИТОВАНИЯ В РОССИИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ 243
Демура Н.А., Ярмоленко Л.И.
УПРАВЛЕНИЕ ЗАТРАТАМИ КАК НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ 248
Слабинская И.А.
СОВРЕМЕННАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ФИНАНСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ 253

Шаптала В.Г., Радоуцкий В.Ю., Ветрова Ю.В.
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛ И СРЕДСТВ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ 257
Череповская Н.А.
НОВЫЕ ПОДХОДЫ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ В СФЕРЕ БИОТЕХНОЛОГИЙ 261
Щенятская М.А., Наумов А.Е.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ В ЖИЛИЩНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ 264
Пивко И.С.
О ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ИННОВАЦИЯМИ, УРОВНЕМ ЗРЕЛОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ И ЭТАПАМИ РАЗВИТИЯ РЫНКА 269
Всяких Ю.В., Всяких М.В.
РИСКИ НА РЫНКЕ МЕЖБАНКОВСКОГО КРЕДИТОВАНИЯ И СПОСОБЫ ИХ МИНИМИЗАЦИИ 273
Сомина И.В.
СТРУКТУРИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА МАКРО- И МЕЗОУРОВНЕ 277
Спиридонов Э.С., Духовный Г.С., Супрун Э.В.
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА 281
Романович Л.Г., Евтушенко Е.И., Романович М.А.
МАЛЫЙ БИЗНЕС СФЕРЫ ИННОВАЦИЙ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛИЗАЦИИ 287

НАШИ АВТОРЫ 291

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Рахимов Р. З., д-р техн. наук, проф.,
Рахимова Н.Р. д-р техн. наук, проф.,
Гайфуллин А. Р., канд. техн. наук, ст. преп.
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК В ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ ГЛИНИТА ПОЛИМИНЕРАЛЬНОЙ КАОЛИНИТСОДЕРЖАЩЕЙ ГЛИНЫ НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

Rahimov@ksaba.ru

Приведены результаты сравнительных исследований влияния добавок в портландцемент прокаленной при температурах 400-800 ^{0}С и молотой до удельной поверхности 250-800 м^2/кг полиминеральной глины с содержанием 62 % каолинита Нижне-Увельской глины и метакаолинита на свойства цементного камня. Установлено, что добавки прокаленной при определенных температурах в диапазоне 400-800 ^{0}С и молотой удельной поверхности в пределах 250-500 м^2/кг указанной глины могут приводить к более высоким показателям свойств цементного камня, чем аналогичные по содержанию добавки метакаолина с удельной поверхностью 1200 м^2/кг.

Ключевые слова: *пуццолан, добавка, полиминеральная глина, метакаолин, температура, прокаливание, удельная поверхность, портландцемент, цементный камень, прочность.*

Введение. Одним из направлений решения проблем ресурсо- и энергосбережения и экологии при обеспечении устойчивого развития в производстве и применении вяжущих веществ и материалов на их основе является и модификация их введением тонкомолотых минеральных добавок [1, 2]. Глубокое понимание механизмов гидратации портландцемента, которое достигнуто в настоящее время, способствует введению большого до 95 % содержания минеральных добавок.

Наиболее известные – доменный шлак и зола в действительности доступны не во всех странах/регионах и в гораздо меньших объемах, чем производится портландцемента, поэтому большее замещение клинкера может быть достигнуто только расширением сырьевой базы минеральных добавок такими как натуральные пуццоланы и активированные глины [3].

Наполнители из прокаленных и обожженных до частичного или полного спекания глин с древних времен находят применение в качестве тонкомолотых пуццолановых добавок в цементные и известковые вяжущие и материалы и изделия на их основе [4…6].

Глины – повсеместно распространённое, доступное, местное и дешевое сырье для получения пуццоланов. Термически активированные глины классифицируются как искусственные пуццоланы европейским стандартом EN197-1-2000.

Они применяются в виде цемянки, глинита, горелых пород, аглопорита, керамзита и керамзитовой пыли [6, 7]. Глинит получают измельчением обожженных глин при температурах 600…800 ºС [6, 9]. В последнее время определенное применение в качестве пуццолановой добавки для повышения показателей физико-технических свойств цементных композитов получил один из разновидностей глинита – метакаолин (МК), который представляет собой продукт термической обработки мономинеральных с высоким – до 90 % и выше содержанием минерала каолинита каолиновых глин [10, 11]. В состав качественных сортов метакаолина входят 50…55 % SiO_2 и 40…45 % Al_2O_3 [11, 12].

Определенным препятствием для широкомасштабного производства и применения метакаолина как пуццоланы является ограниченность месторождений и запасов чистых каолиновых глин во многих странах, в том числе и в России. Указанные выше обстоятельства в последнее десятилетие привели в ряде стран к проведению исследований пуццоланической активности термообработанных глинистых минералов помимо каолинита и возможности получения пуццолановых добавок из глинистого сырья с различным содержанием каолинита или полным его отсутствием, то есть повсеместно распространённых обычных глин. Применение таких прокаленных глин получает распространение в развитых странах [13]. Выявлено [14], что некоторые термоактивированные глинистые минералы повышают степень гидратации цемента в большей степени, чем каолинит.

Установленные особенности активности прокаленных глинистых минералов привели в последние два десятилетия к расширению исследований пуццолановой активности различных по составам глин [5, 13…15].

В начале 40-х гг. XX века Всесоюзным научно-исследовательским институтом цемента (ВНИИЦ) были произведены масштабные и систематические исследования пуццоланической

активности распространенных на территории СССР месторождений 207 разновидностей глин, среди которых были и каолиновые [8]. В числе отдельных их результатов отмечается, что: все глины, подвергнутые обжигу при температуре 500–800 ºС, обнаруживают гидравлические свойства в той или иной степени; из 207 разновидностей глин только 24 (11 %) оказались непригодными для получения продукта с достаточной гидравлической активностью, из 12 прокаленных глин с наиболее высокой пуццолановой активностью – 9 мергелистые и лишь 3 – высококаолиновые.

Учитывая вышеотмеченное, очевидно, является целесообразным возобновление исследований и разработок в этом направлении в нашей стране для создания научной базы организации производства пуццолановых добавок на основе молотых распространенных глин во многих регионах с полным учетом их минерального состава.

Ниже приведены результаты исследований в этом направлении, в частности, влияния добавок в портландцемент прокаленной и молотой полиминеральной глины с содержанием в числе минералов 62 % каолинита на свойства цементного камня в сравнении с влиянием добавок высококачественного метакаолина.

1.Материалы и методы исследований

1.1 Материалы исследований

а) Нижне-Увельская глина.

Химический состав, в %: SiO_2 – 66,79; Al_2O_3 – 20,71; Fe_2O_3 – 1,63; TiO_2 – 0,98; MgO – 0,41; CaO – 0,62; MnO – 0,04; K_2O – 0,65; P_2O_5 – 0,08; Na_2O < 0,3; SO_3/S - 0,13; ппп – 7,7; H_2O – 0,66.

Химический состав глины определялся по содержанию оксидов в % на абсолютно сухую навеску с использованием ARL OPTYMK – спектрометра.

Минеральный состав, в %: кварц – 33; каолинит – 62, слюда – 4, плагиоклаз – 1.

Гранулометрический состав глин – фракций, в %: глинистая – 65; пылевидная – 18,5; песчанная – 16,5.

На рис. 1 приведена рентгенограмма Нижне-Увельской глины, полученной с использованием дифрактометра D8 Advance фирмы Breeker.

На рис. 2 приведены данные результата дифференциально-термического анализа Нижне-Увельской глины, по которым установлены следующие показатели процесса ее дегидратации: первый эндоэффект – температурный интервал 30…250 ºС, температурный пик – 127,5 ºС, потеря массы – 1,45 %; второй эндоэффект – температурный интервал – 420…670 ºС, температурный пик – 590 ºС, потеря массы – 9,3 %; третий эндоэффект температурный интервал – 910…960 ºС, температурный пик – 940 ºС, потеря массы – 0,6 %; общая потеря массы – 10,44 %.

б) Метакаолин ВМК производства ООО «Синерго» (Магнитогорск) (ТУ572901-001-65767184-2010)

Химический состав метакаолина, в %: SiO_2 – 51,4; Al_2O_3 > 42; Fe_2O_3 – 0,8; H_2O < 0,5; ппп < 1. Удельная поверхность 1200 м^2/кг.

Пуццоланическая активность, мг $Ca(OH)_2$ > 1000/г.

в) Портландцемент

Для определения пуццоланической активности глинистых термоактивированных наполнителей использовался портландцемент ПЦ500 Д-0-Н.

Химический состав цемента, масс, %: CaO – 63; SiO_2 – 20,5; Al_2O_3 – 4,5; Fe_2O_3 – 4,5; SO_3 – 3.

Минералогический состав цемента: C_3S – 67,0; C_2S – 11,0; C_3A – 4,0; C_3AF – 15,0.

Показатели портландцемента:

- удельная поверхность – 345 см^2/г (по цементу),
- насыпная плотность – 1000 г/л,
- нормальная густота – 26 %,
- начало схватывания – 2 часа 50 мин,
- конец схватывания – 4 часа 10 мин.

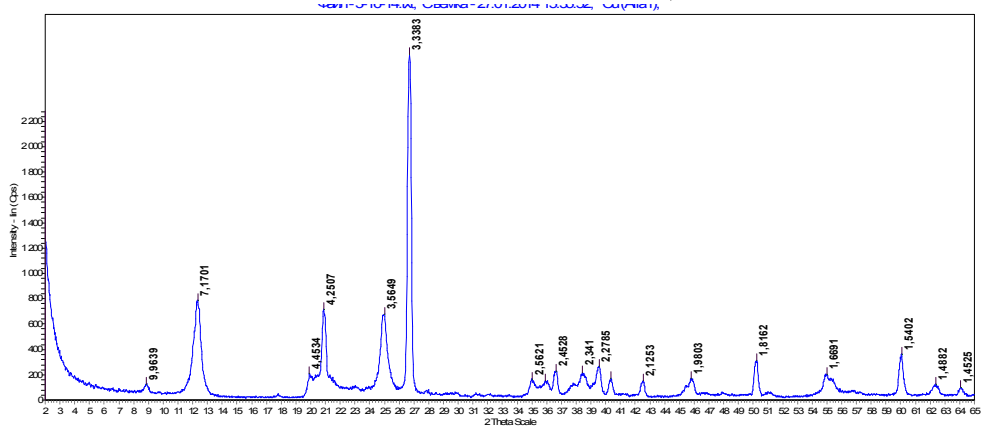


Рис. 1. Рентгенограмма Нижне-Увельской глины

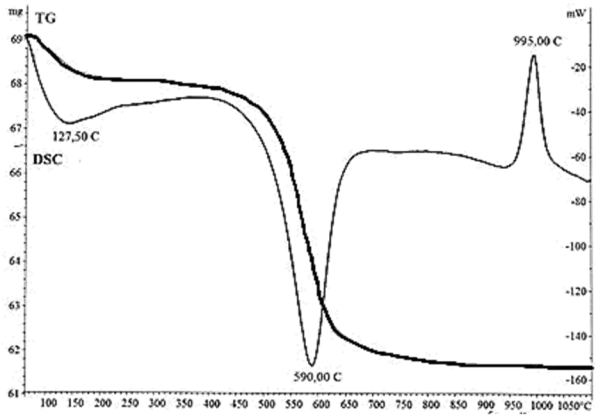


Рис. 2. Кривые дифференциально-термического анализа Нижне-Увельской глины

1.2 Методы исследования. а) Прокаливание глины производилось при 400, 600 и 800ºС со скоростью подогрева 1,7; 2,5 и 3,3ºС в минуту и изотермической выдержкой при этих температурах в течении 3-х часов.

Прокаленная глина подвергалась помолу в лабораторной мельнице МПЛ-1 до удельной поверхности 250, 500 и 800 м^2/кг.

б) Пуццоланическая эффективность прокаленных и молотых навесок глины определялась по изменению свойств портландцементного камня от содержания их добавок в портландцемент. Цементный камень из теста нормальной густоты испытывался после термовлажной обработки по режиму 4 + 6 + 3 ч с изотермической выдержкой при 85ºС.

2. Результаты исследований. Цементный камень без добавок в портландцементе имеет следующие показатели свойств: прочность при сжатии – 573 кг/см^2, средняя плотность – 2270 кг/м^3, водопоглощение – 1,0 %; коэффициент размягчения – 0,92.

В табл. 1 и 2 приведены результаты исследований изменения прочности при сжатии, средней плотности, водопоглощения и коэффициента размягчения цементного камня от содержания добавок метакаолина и прокаленной при различных температурах и молотой до различной удельной поверхности Нижне-Увельской глины.

Анализ представленных в табл. 1, 2 результатов исследований позволяет сделать выводы о влиянии добавки в портландцемент прокаленной и молотой Ниже-Увельской глины и метакаолина на прочность при сжатии, среднюю плотность, водопоглощение и коэффициент размягчения цементного камня.

Таблица 1

Зависимость свойств цементного камня от содержания добавок метакаолина

Количество добавки, %	Средняя плотность, кг/м^3	Предел прочности при сжатии, кг/см^2	Водопоглощение, %	Коэффициент размягчения
0	2270	573	1	0,92
5	2298	740	1,7	0,925
10	2239	629	1,8	0,96
15	2134	523	1,95	0,93
20	2121	507	3	0,935

1. Введение в портландцемент добавок прокаленной при 400 ºС Нижне-Увельской глины приводят к следующим изменениям свойств цементного камня:

– 5…15 % молотой до 250 м^2/кг добавки приводят к увеличению прочности при сжатии на 18,7…3,7 % водопоглощения с 1,0 % до 2,0…2,3 %, коэффициент размягчения с 0,92 до 0,95…0,94 и снижению средней плотности на 16,…2,1 %;

– 5…10 % молотой до 500 м^2/кг добавки приводят к повышению прочности при сжатии на 12,0…1,4 %, водопоголщение с 1,0 % до 2,0…2,3 %, снижению коэффициента размягчения с 0,92 до 0,91-0,88 и средней плотности 3,9…4,2 %;

– 5…10 % молотой до 800 м^2/кг добавки приводят к повышению коэффициента размягчения с 0,92 до 0,94, водопоглощения с 1,0 % до 3,1–4,0 %, снижению прочности при сжатии на 2,7…8,4 % и средней плотности на 1,5…1,9 %;

2. Добавки в портландцемент прокаленной при 600 ºС Нижне-Увельской глины приводят к следующим изменениям свойств цементного камня.

– 5…20 % молотой до 250 м^2/кг добавки приводят к повышению прочности при сжатии на 42,2…16,2 %, водопоглощения с 1,00 % до 1,21…2,50 %, коэффициента размягчения с 0,92 до 0,9…0,94, снижению средней плотности на 0,48…4,00 %;

– 5…15 % молотой до 500м^2/кг добавки приводят к повышению прочности при сжатии на 23,2…0,7 %, водопоглощения с 1,00 % до 1,21…1,47 %, при содержании добавки 5…10 % повышается коэффициент размягчения с 0,92 до 0,95…0,92 и снижается средняя плотность на 0,9…1,1 %;

– 5…10 % молотой до 800 м^2/кг добавки приводят к повышению прочности при сжатии на 4,7…1,2 %, водопоглощения с 1,0 % до

2,7…3,3 %, коэффициент размягчения с 0,92 до 0,97, снижению средней плотности на 0,66 %;

3. Введение в портландцемент добавок прокаленной при 800 ºС Нижне-Увельской глины приводят к следующим изменениям свойств цементного камня:

– 5…15 % молотой до 250 м^2/кг добавки приводят к повышению прочности при сжатии на 26,2…20,8 %, водопоглощения с 1,00 % до 1,11…1,32 %, коэффициента размягчения с 0,92 до 0,95…0,92 и к снижению средней плотности на 2,1…4,0 %;

– 5…20 % молотой до 500 м^2/кг добавки приводят к повышению прочности при сжатии с 61,1…9,6 %, коэффициент размягчения с 0,92 до 0,97…0,93 и к снижению средней плотности на 0,2…2,0 %, водопоглощения с 1,00 % до 0,85…0,75 %.

– 5…10 % молотых до 800 м^2/кг добавки приводят к повышению прочности при сжатии на 18,7…12,6 %, водопоглощения с 1,0 % до 2,4…2,6 %, снижения коэффициента размягчения с 0,92 до 0,91, средней плотности на 0,7…0,8 %.

Таблица 2

Показатели свойств цементного камня с добавками прокаленной при 400 ºС, 600 ºС и 800 ºС и молотой до 250 м^2/кг, 500 м^2/кг и 800 м^2/кг Нижне-Увельской глины

№ п/п	Количество добавки, %	Предел прочности при сжатии, кг/см^2			Средняя плотность, кг/м^3			Водопоглощение,%			Коэффициент размягчения		
		Тонкость помола добавки, м^2/кг											
		250	500	800	250	500	800	250	500	800	250	500	800
Температура прокаливания 400 ºС													
1	5	680	642	649	2234	2202	2241	2,0	3,0	3,0	0,95	0,960	0,940
2	10	709	581	563	2231	2201	2241	2,1	4,0	3,1	0,95	0,945	0,935
3	15	594	523	497	2222	2195	2235	2,3	4,4	4,0	0,94	0,935	0,925
4	20	464	521	463	2178	2195	2232	2,9	4,8	5,5	0,92	0,920	0,930
Температура прокаливания 600 ºС													
5	5	815	703	713	2259	2235	2347	1,21	2,30	2,0	0,96	0,970	0,930
6	10	876	643	691	2264	2195	2348	1,32	2,55	2,0	0,96	0,975	0,925
7	15	786	577	576	2266	2165	2302	1,47	2,80	2,0	0,97	0,965	0,925
8	20	666	569	537	2177	2109	2235	2,50	3,10	2,1	0,94	0,960	0,920
Температура прокаливания 800 ºС													
9	5	723	923	668	2222	2251	2251	1,11	0,85	2,4	0,95	0,930	0,915
10	10	765	821	638	2200	2223	2244	1,19	0,80	2,6	0,94	0,935	0,910
11	15	692	644	534	2178	2178	2216	1,32	0,75	3,0	0,92	0,910	0,910
12	20	558	628	492	2178	2143	2156	2,20	0,75	3,3	0,92	0,900	0,890

Введение в портландцемент 5…10 % метакаолина с удельной поверхностью 1200 м^2/кг приводят к повышению прочности при сжатии цементного камня на 29,1…9,8 %, водопоглощение с 1,0 % до 1,7…1,8 %, коэффициента размягчения с 0,920 до 0,925…0,960; повышению средней плотности при содержании 5 % добавки на 1,2 %.

5. Добавки в портландцемент 5…20 % прокаленной при температурах в диапазоне 400…800ºС и молотых до удельной поверхности 250…500 м^2/кг приводят к более высокому повышению прочности при сжатии цементного камня, чем аналогичные добавки метакаолина.

6. Добавки в портландцемент прокаленной при определенных температурах в диапазоне 400…800^{0}С и молотых до 250…800 м^2/кг Нижне-Увельской глины приводят к более значительному повышению средней плотности и коэффициента размягчения цементного камня, чем аналогичные по содержанию добавки метакаолина.

Заключение. Добавки 5…20 % в портландцемент прокаленной при определенных температурах в диапазоне 400…800ºС и молотой до 250…500 м^2/кг содержащей 62 % каолинита полиминеральной глины определенного химического и минерального состава могут приводить к более высокому повышению прочности при сжатии, средней плотности и коэффициента размягчения цементного камня, чем соответствующие по содержанию добавки метакаолина.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ramachandran V.S. (ed) Concrete Admixtures Handbook – Properties, Science and Technology, 2nd ed. William Andrew Publishing, New York. 1999. 964 p.

2. Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р. Строительство и минеральные вяжущие прошлого, настоящего и будущего // Строительные материалы. 2013. №1. С. 124-128.

3. Scrivener K.L., Nonut A. Hydratation of cementations materials, present and future // Cement and concrete research. 2011. 41. P. 651-665.

4. . Витрувий М. Десять книг об архитектуре. М.: Архитектура-С. 2006. 326 с.

5. Castello L.R., Henrandes H.I.F., Scrivener K.L., Antonic M. Evolution of calcined clay soils as supplementary cementations materials // Proceedings of a XIII International Congress of the chemistry of cement. Madrid : Instituto of Ciencias de la Construction ”Eduardo Torroja”. 2011. P. 117

6. Волженский А.Р., Буров Ю.С., Колокольников В.С. Минеральные вяжущие вещества, технология и свойства. Учебник 3-у изд. перераб. и доп. Стройиздат. 1979. 480 с.

7. Рахимов Р.З., Халиуллин М.И., Гайфуллин А.Р. Состав и пуццолановые свойства керамзитовой пыли // Академия. Архитектура и строительство. 2013. №4. С. 112-116.

8. Глинит-цемент / Сборник статей ВНИИЦ. Под ред. Аксенова В.И. // Вып.11. М.-Л.: Главн. ред. стр. лит. 1935. 171 с.

9. Siddigye R., Klaus I. Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete // Applied Clay Science. 2009. Vol. 43. №3-4. P. 392-400.

10. Брыков А.С. Метакаолин // Цемент и его применение.2012. №7-8. С. 36-41.

11. Badogiamies S., Kakali G., Tsivilis S. Metakaolin as supplementary cementitious material. Optimization of kaolin to metakaolin conversion // J. Therm. Anal. Calorim. 2005. Vol. 81. №2. P.457-462.

12. Habert G., Choupay N., Escadeillas G., Guillame D. et al. Clay content of argillites influence on cement based mortars // Applied Clay Science. 2009. Vol. 43. № 3-4. P. 322-330.

13. He C., Osbaeck B., Makovicky E. Pozzolanic reactions of six principal clay minirals: Activation, reactivity assessments and technological effects // Cement and Concrete Research. 1995. №25. 1961 p.

14. Ambroise J., Murat M., Pera J. Hydration reaction and hardening of calcined and related minerals: Extension of the research and general conclusions // Cement and Concrete Research. 1985. №15. 261 p.

15. R. Fernandez, F. Martirena, K.L. Scrivener, The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison betwwen Kaolinite, illite and montmorillonite // Cement and Concrete Research. 2001. 41(1). P. 113-122.

Rakhimov R.Z., Rakhimova N.R., Gayfullin A.R.

THE EFFECT OF POLYMINERAL CAOLINITE-CONTAINING CLAY ON THE PROPERTIES OF THE HARDENED CEMENT PASTE

The results of the comparative studies of the effect of metakaolinite and Niznhe-Uvelskoy polymineral clay with 62 % caolinite calcined at 400-800 °C and ground up to 250-800 m^2/kg on the properties of the hardened cement paste are presented in this article. The admixtures of calcined at certain temperatures at 400-800 ºC and ground up to 250-500 m^2/kg give better results in terms of improvement the properties of the hardened cement paste than that of metakaolin of specific surface area 1200 m^2/kg.

Key words: *pozzolana, admixture, polymineral clay, metakaolin, temperature, calcination, specific surface area, Portland cement, cement paste, strength.*

Бондаренко В.М., д-р техн. наук, проф.
НИИ строительной физики РААСН, Москва
Панченко Л.А., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ И ДИНАМИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ

panchenko.bstu@mail.ru

В статье дана оценка железобетонных конструкций зданий с позиций потери энергии при неупругом деформировании. Рассмотрено влияние коррозионных повреждений и динамического воздействия. Установлены коэффициенты потери энергии при отмеченных обстоятельствах. Исследовано влияние на энергетические показатели силового сопротивления однопролетных балок различных факторов, в частности, типа нагружения и граничных условий.

Ключевые слова: *коррозионные повреждения бетона, потери энергии, силовое сопротивление, ползучесть, граничные условия.*

Несущие строительные конструкции промышленных зданий испытывают длительные эксплуатационные динамические нагружения. При этом, для большинства таких нагрузок характерна стабильная периодичность. Между тем, каждый цикл нагружения–разгружения сопровождается рассеиванием (потерями) энергии силового деформирования материалов, а количественные значения энергетических потерь зависят от соотношения упругого и неупругого деформирования. Последнее, в свою очередь связано с особенностями структуры материалов, предыстории и режима нагружения, условий эксплуатации, в том числе и прежде всего от наличия коррозионных повреждений.

Поскольку потери энергии, рассеиваемой при силовом деформировании несущих строительных конструкций, являются частью энергии, используемой в технологическом процессе предприятий, и могут составлять 1/3...1/2 общих потерь энергии на деформирование, постольку возникает задача оптимизации строительных решений для промышленных зданий с учетом стоимости указанных потерь.

Предпосылки решения этой задачи состоят в следующем:

1. Традиционное уравнение силового сопротивления бетона [4] имеет запись:

$$\varepsilon(t,t_0)=\frac{S_{\text{мгн}}[\sigma(t)]}{E_{\text{мгн}}(t)}+S_{\text{пол}}[\sigma(\tau)]C(t,t)-\int_{t_0}^{t}S_{\text{пол}}[\sigma(\tau)]\frac{dC(\tau,t_0)}{d\tau}d\tau, \quad (1)$$

где $\varepsilon(t,t_0)$ – полная относительная деформация, накопленная в течение интервала времени $t-t_0$, $\sigma(\tau)$ и $\sigma(t)-$ текущее напряжение и напряжение в момент времени t, $S_{\text{мгн}}[\sigma(t)]-$ функция напряжений для мгновенных деформаций, $S_{\text{пол}}[\sigma(\tau)]-$ функция напряжений для деформаций ползучести, $E_{\text{мгн}}(t)-$ модуль мгновенной деформации, $C(\tau,t_0)-$ мера простой ползучести [1, 2], t_0,τ,t –время начала наблюдения, текущее время, время окончания наблюдения соответственно.

Если нагрузка носит вибрационный характер, то значение меры ползучести $C(\tau,t_0)$ должно быть дополнительно умножено на коэффициент виброползучести $\mathrm{K_в}$, определяемый по формуле [2, 4]:

$$\mathrm{K_в}=p+(1-p)\varepsilon_{\mathrm{p}}^{0}, \quad (2)$$

где $p={}^{\sigma_{\min}}\!/_{\sigma_{\max}}$ – коэффициент асимметрии нагружений, $\varepsilon_{\mathrm{p}}^{0}=\omega\left(\frac{\sigma_{\max}}{\mathrm{R}}\right)\mathrm{e}^{8.6\cdot10^{-3}}$, ω – частота колебаний,

$$C_{\text{в}}(\tau,t_0)=K_{\text{в}}C(\tau,t_0) \quad \text{при } K_{\text{в}}>1; \quad (3)$$

R – нормативная призменная прочность бетона на сжатие, равная

$$R=(0{,}37-0{,}001B)B, \quad (4)$$

где $B-$ класс бетона (МПа),

$E_{\text{мгн}}=4{,}55\cdot10^{-4}-1{,}74\cdot10^{-5}\frac{1}{R}$ (МПа).

2. Функции напряжений принимаются в следующем виде [8]:

$$S_{\text{мгн}}[\sigma(t)]=\sigma(t)\left\{1+V_{\text{мгн}}\left[\frac{\sigma(t)}{R}\right]^{m^{\text{мгн}}}\right\}; \quad (5)$$

$$S_{\text{пол}}[\sigma(\tau)]=\sigma(\tau)\left\{1+V_{\text{пол}}\left[\frac{\sigma(\tau)}{R}\right]^{m^{\text{пол}}}\right\},$$

при сжатии:

$$V_{\text{мгн}}=\frac{37{,}5}{R}; \quad m_{\text{мгн}}=5{,}7-0{,}05R;$$

$$V_{\text{пол}}=\frac{45{,}0}{R}; \quad m_{\text{пол}}=5{,}0-0{,}07R;$$

при растяжении:

$$V_{t,\text{мгн}} = 0{,}3 + 0{,}037R; \quad m_{t,\text{мгн}} = 0{,}8 + 0{,}23R; \qquad V_{t,\text{пол}} = 1{,}5; \qquad m_{t,\text{пол}} = 1. \tag{6}$$

3. Учитывается, что количественные различия параметров нелинейности мгновенных деформаций и деформаций ползучести обуславливают трудности непосредственного применения (1); в связи с этим, по предложению Ю.Н. Работнова, реализованному для железобетона в [7], нелинейное уравнение (1) приводится к квазилинейной форме [5]:

$$\varepsilon(t,t_0) = \frac{\bar{S}\,[\sigma(t)]}{E_{\text{вр.л}}(t,t_0)}; \tag{7}$$

где $\bar{S}[\sigma(t)] = \sigma(t)\left\{1 + \bar{V}\left[\frac{\sigma(t)}{R}\right]^{\bar{m}}\right\}$,

$$\frac{1}{E_{\text{вр.л}}(t,t_o)} = \frac{1}{E_{\text{мгн}}(t)} + C(t,t_0),$$

или

$$E_{\text{вр.л}}(t,t_0) = \frac{\text{E}_{\text{мгн}}(t)}{1 + E_{\text{мгн}}(t)C(t,t_0)}.$$

При этом значения $\bar{V}$ и $\bar{m}$ находятся из условий равенства (1) и (7) в двух фиксированных точках: при $\sigma = R$ и $\sigma = \gamma R$, где γ, как правило, равно 0,7 (заметим, что в линейной постановке $V_{\text{мгн}} = 0$, $V_{\text{пол}} = 0$):

$$\bar{V} = \frac{(1+V_{\text{мгн}})\frac{1}{E_{\text{мгн}}} + (1+V_{\text{пол}})C(t,t_0)}{\frac{1}{E_{\text{мгн}}(t)} + C(t,t_0)} - 1\,; \tag{8}$$

$$\bar{m} = \frac{1}{\ln\gamma}\ln\left[\frac{1}{\gamma}\frac{(1+V_{\text{мгн}}\gamma^{m_{\text{мгн}}})\frac{1}{E_{\text{мгн}}(t)} + (1+V_{\text{пол}}\gamma^{m_{\text{пол}}})C(t,t_0)}{\frac{1}{E_{\text{мгн}}(t)} + C(t,t_0)} - 1\right].$$

В интересах упрощения расчетных алгоритмов целесообразно использовать запись Граффа [4]:

$$\varepsilon(t,t_0) = \bar{a}(t,t_0)\sigma^{\bar{e}}, \tag{9}$$

параметры которой $\bar{a}\,и\,\bar{e}$, также находятся из равенства ε по выражениям (1) и (7) в двух фиксированных точках – при $\sigma = R$ и $\sigma = \gamma R$ [7]:

$$\bar{a}(t,t_0) = \frac{(1+\bar{V})R^{(1-\bar{e})}}{\text{E}_{\text{вр.л}}(t,t_0)}; \quad \bar{e} = 1 + \frac{1}{\ln\gamma}\ln\frac{1+\bar{V}\gamma^{\bar{m}}}{1+\bar{V}}, \tag{10}$$

то есть получим:

$$\sigma = \left[\frac{1}{\bar{a}(t,t_0)}\right]^{1/\bar{e}}\varepsilon^{\,1/\bar{e}}, \quad \text{или } \sigma = \left[\frac{E_{\text{вр.л}}(t,t_0)}{(1+\bar{V})R^{(1-\bar{e})}}\right]^{1/\bar{e}}\varepsilon^{\,1/\bar{e}}. \tag{11}$$

Отметим, что: а) соотношения (1), (7) и (11) соответствуют только ветви нагружения диаграммы $\sigma - \varepsilon$ бетона как при сжатии, так и при растяжении (при растяжении вводится индекс t):

$$\sigma_t = \left[\frac{1}{\bar{a}_t(t,t_0)}\right]^{1/\bar{e}_t}\varepsilon^{\,1/\bar{e}_t}, \quad \text{или } \sigma_t = \left[\frac{E_{\text{вр.л}}(t,t_0)}{(1+\bar{V}_t)R_t^{(1-e_t)}}\right]^{1/\bar{e}_t}\varepsilon^{\,1/\bar{e}_t}; \tag{12}$$

б) ветвь разгружения согласно теории Энгессера-Ясинского [4] представляется прямой линией, параллельной начальной модульной линии (рис. 1).

На диаграмме начало координат является началом нагружения; при разгружении часть деформаций ε и ε_t восстанавливается $(\varepsilon_{\text{об}}, \varepsilon_{t,\text{об}})$, а часть не восстанавливается $(\varepsilon_{\text{ноб}}, \varepsilon_{t,\text{ноб}})$. Указанные свойства деформирования оцениваются коэффициентами обратимости $K_{\text{об}}$ и необратимости $K_{\text{ноб}}$ при ($K_{\text{об}} + K_{\text{ноб}} = 1$):

$$K_{\text{об}} = \frac{\varepsilon_{\text{об}}}{\varepsilon} \quad \text{или} \quad K_{\text{об}} = \frac{1}{1 + \bar{V}\left(\frac{\sigma}{R}\right)^{\bar{m}}}; \qquad K_{\text{ноб}} = \frac{\varepsilon_{\text{ноб}}}{\varepsilon} = 1 - K_{\text{об}};$$

$$K_{\text{об,t}} = \frac{\varepsilon_{\text{об}t}}{\varepsilon_t} \quad \text{или} \quad K_{\text{об},t} = \frac{1}{1+\bar{V}\left(\frac{\sigma_t}{R_t}\right)}; \qquad K_{\text{ноб,t}} = \frac{\varepsilon_{t,\text{ноб}}}{\varepsilon_t} = 1 - K_{\text{об,t.}} \tag{13}$$

Зависимости (1) и (9) относятся к восходящим ветвям частей диаграммы в области сжатия А и в области растяжения Б, точки T и T_t – точки так называемого «невозврата». Линии разгрузки 2–3 и $2_t - 3_\text{t}$ параллельны начальной модульной линии $1–1_t$.

После разгрузки образуются фигуры 024 и 02_t4_t, которые представляют собой части площади диаграммы, соответствующие работе, затраченной на силовое деформирование единицы объема образца (при сжатии $\overrightarrow{W}$, при растяжении $\overrightarrow{W_t}$); площади фигур 324 и $3_\text{t}2_\text{t}4_\text{t}$ соответствуют работе, затраченной на восстановление формы и размеров образцов (при сжатии $\overleftarrow{W}$ при растяжении $\overleftarrow{W_t}$); фигуры 023 и 02_t3_t являются так называемыми петлями гистерезиса, их площади равны потере энергии за один цикл нагруже-

ния–разгружения: при сжатии $\Delta W = \overrightarrow{W} - \overleftarrow{W}$, при растяжении $\Delta W_t = \overrightarrow{W_t} - \overleftarrow{W_t}$.

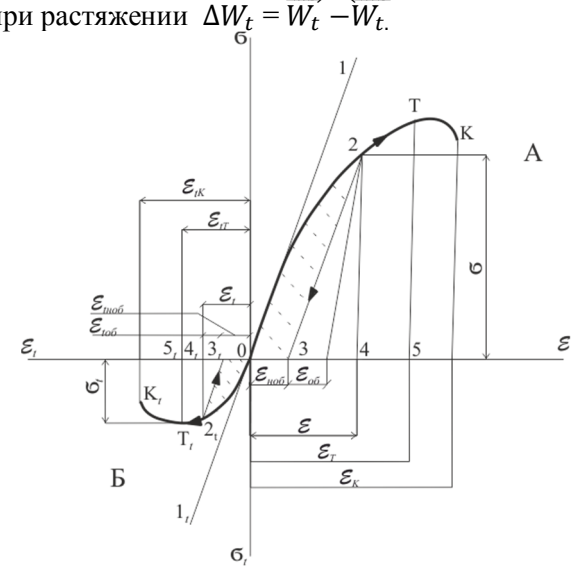


Рис. 1. Диаграмма напряжения–полные относительные деформации σ – ε для неповрежденного коррозией бетона (А – область сжатия, Б – область растяжения)

Используя (11) и (12), вычислим $\overrightarrow{W}$ и $\overleftarrow{W}$ (формулы отличаются символом t):

$$\overrightarrow{W} = \int_0^{\varepsilon} \sigma d\varepsilon = \left[\frac{E_{\text{вр.л}} R^{\bar{e}-1}}{1+\bar{V}}\right]^{1/\bar{e}} \frac{\varepsilon^{1+1/\bar{e}}}{1+1/\bar{e}};$$

$$\overrightarrow{W_t} = \int_0^{\varepsilon_t} \sigma_t \, d\varepsilon_t = \left[\frac{E_{\text{вр.л}} R_t^{\bar{e}_t-1}}{1+\bar{V}_t}\right]^{1/\bar{e}_t} \frac{\varepsilon_t^{1+1/\bar{e}_t}}{1+1/\bar{e}_t}; \quad (14)$$

$$\overleftarrow{W} = \frac{E_{\text{вр.л}} \varepsilon_{\text{об}}^2}{2}; \qquad \overleftarrow{W_t} = \frac{E_{\text{вр.л}} \varepsilon_{t,\text{об}}^2}{2}.$$

Оценка энергетических потерь оценивается коэффициентом потери энергии в единице объема образца [6]:

$$\Psi = \frac{\Delta W}{\overrightarrow{W}} \quad \text{или} \quad \Psi = \frac{\Delta W}{\overleftarrow{W}}, \qquad (15)$$

при связи между ними:

$$\Psi = \frac{\Psi_c}{1+\Psi_c}; \quad \Psi_c = \frac{\Psi}{1-\Psi}.$$

Для эксплуатируемых бетонных и железобетонных конструкций характерен так называемый кольматационный тип коррозионных повреждений, при котором по мере углубления агрессивного компонента в бетонное тело продукты коррозии заполняют поры и трещины, их влияние энтропийно уменьшается и на некоторой глубине δ исчезает.

В прикладных расчетах глубина коррозионных повреждений δ к моменту времени t оценивается формулой [4]:

$$\delta(t) = \left[1 - \Delta\delta(t_0, t_0) e^{-a(t-t_0)}\right] \delta_{\text{кр}} \qquad (16)$$

при

$$\Delta\delta = 1 - \frac{\delta(t_0, t_0)}{\delta_{\text{кр}}(t_0)},$$

где t_0 – начало коррозионных воздействий, a – параметр скорости продвижения повреждений; $\delta_{\text{кр}}$ – наибольшая глубина проникновения фронта коррозионных повреждений к моменту их стабилизации (заметим, что a и $\delta_{\text{кр}}$ должны быть установлены экспериментально для всех основных сочетаний номинации бетона и агрессора).

Это приводит к функции сохранения исходных характеристик силового сопротивления бетона по глубине повреждений [5]:

$$K^* = \sum_{i=0}^{i=2} a_i z_i, \qquad (17)$$

при $K^* = \frac{R^*}{R} = \frac{E^*}{E} = \frac{C_0}{C^*}$ ...

При этом возможны два случая расположения поверхности контакта агрессивной среды и бетона: 1) поверхность контакта и наружная грань конструкции совпадают, когда в наружном слое возможно частичное сохранение силового сопротивления ($K_1^* > 0$); 2) наружный слой полностью разрушен и поверхность контакта перемешается вглубь тела бетона; параметры a_i определяются из условия сопряжения функции K^* неразрушенного слоя бетона и значения K^* полностью разрушенного бетона (K^*= 0).

При $z = p$ $K^* = 1$; $\frac{dK^*}{dz} = 0$.

В первом случае:

$$a_0 = 1 - (1 - K_1^*)\left(\frac{p}{\delta}\right)^2; \quad a_1 = \frac{2(1-K_1^*)\,p}{\delta^2}; \quad a_2 = -\frac{(1-K_1^*)}{\delta^2}; \qquad (18)$$

во втором случае:

$$a_0 = 1 - \left(\frac{p}{\delta}\right)^2; \quad a_1 = \frac{2p}{\delta^2}; \quad a_2 = -\frac{1}{\delta^2}, \quad (19)$$

где K_1^* – коэффициент сохранения исходного силового сопротивления на наружной грани образца (первый случай); p – толщина неповрежденного слоя бетона между осью отсчета от нулевой линии напряжений до фронта коррозионного повреждения; δ– глубина повреждений (отрезок $\delta_{\text{кр}}$ между поверхностью контакта с агрессором и слоем p).

Учет влияния коррозионных повреждений на силовое сопротивление бетона осуществляется введением единого коэффициента K^*:

$$E^*_{\text{мгн}} = 4{,}55 \cdot 10^4 - 1{,}74\frac{10^5}{\overline{K}^* R}; \quad C^*(\tau, t_0) = \frac{C(\tau,t_0)}{\overline{K}^*}; \tag{20}$$

$$\varepsilon_p^0 = \omega\left(\frac{\sigma_{max}}{\overline{K}^* R}\right) e^{8{,}6\cdot 10^{-3}};$$

$$V^*_{\text{мгн}} = \frac{37{,}5}{\overline{K}^* R}; \quad m^*_{\text{мнг}} = 5{,}7 - 0{,}05\overline{K}^* R; \quad V^*_{\text{пол}} = \frac{45}{\overline{K}^* R}; \quad m^*_{\text{пол}} = 5{,}0 - 0{,}07\overline{K}^* R;$$

$$V^*_{t,\text{мгн}} = 0{,}3 + 0{,}035\overline{K}^* R; \quad m^*_{t,\text{мнг}} = 0{,}8 + 0{,}23\overline{K}^* R; \quad V^*_{t,\text{пол}} = 1{,}5; \quad m^*_{t,\text{пол}} = 1.$$

Итак, $\overline{K}^*$– расчетное значение коэффициента сохранения исходной величины R (4), определяемое с помощью условного бетонного цилиндра (радиусом r, высотой h), размеры которого назначаются из условия равенства площади его поперечного сечения и площади сечения кубика 15×15×15, то есть $r = \frac{15}{\sqrt{\pi}}$. Для этого сечение цилиндра разделяется на n колец i с площадью A_i, в пределах каждого из которых $\overline{K}^*$ считается неизменным и определяется как средняя величина:

$$\overline{K}^* = \frac{\sum_{i=1}^n \overline{K}^* A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}. \tag{21}$$

В дальнейшем необходимо различать ситуации по времени начала коррозионных воздействий:

1. Коррозионные воздействия начинаются после внешнего нагружения и стабилизации напряженно-деформированного состояния бетона (рис.2).

2. Коррозионные воздействия начинаются до внешнего нагружения с последующей стабилизацией напряженно-деформированного состояния бетона (рис.3).

На рис. 2 и рис. 3: А – область после появления трещин; Б – область до появления трещин (символы «$n.$т» и «$q.$т» соответственно).

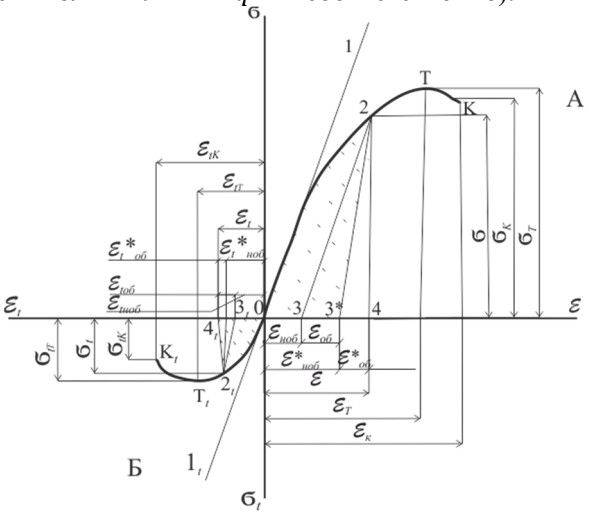


Рис. 2. Диаграмма напряжения–полные относительные деформации для случая коррозионного воздействия, приложенного после начала внешнего нагружения

При этом отметим, что при сохранении формы диаграммы $\sigma - \varepsilon$ (рис.1) различие между ними заключается в соответствии с зависимостью (20).

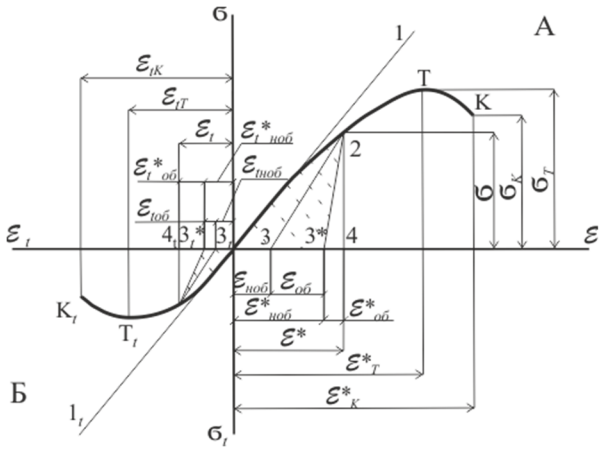


Рис. 3. Диаграмма напряжения–полные относительные деформации для случая коррозионного воздействия, приложенного до внешней нагрузки

На рис. 2 и рис. 3 заштрихованные фигуры 023 и 02_t3_t представляют собою петлю гистерезиса (потери энергии при силовом деформировании и восстановлении деформации единицы объема образца) при сжатии $\Delta W = \overrightarrow{W} - \overleftarrow{W}$, при растяжении $\Delta W_t = \overrightarrow{W}_{\text{t}} - \overleftarrow{W}_{\text{t}}$; при этом площади петель гистерезиса меняются в связи с указанным изменением начала коррозионных воздействий, когда уменьшаются обратимые деформации (коэффициент обратимости), то есть снижается восстанавливаемость деформаций после разгрузки и критические силы при расчете на устойчивость [2].

Современные методы расчета силового сопротивления изгибу железобетонных конструкций исходят из того, что прочность сечений оценивается без учета влияния бетона растянутой зоны, а сопротивление образованию трещин и жесткость – с учетом влияния.

Указанные методологические расхождения преодолеваются разделением конструкции (например, балки) на участки по признаку трещинообразования: участки без трещин ($M < M_{\text{тр}}$) и участки с трещинами ($M > M_{\text{тр}}$). При этом жесткость первых определяется по схемам линейного сопротивления материалов, а жесткость вторых рассчитывается без непосредственного учета участия растянутого бетона. Компенсация этого расхождения осуществляет-

ся условным увеличением силового сопротивления растянутой арматуры и реализуется введением для ее модуля деформации множителя $1/\Psi_s \geq 1$, зависящего от уровня действующего изгибающего момента $\frac{M}{M_{\text{пр}}}$ (или $\frac{M}{M_{\text{тр}}}$). При этом в диапазоне $\frac{M}{M_{\text{пр}}} < \frac{M}{M_{\text{тр}}}$ значение Ψ_s назначается по эмпирическим формулам норм, а в зоне $0 < \frac{M_{\text{тр}}}{M_{\text{пр}}}$ – по аналогичным формулам с обеспечением сопряженности путем использования одинаковых по структуре записей в обеих зонах (рис. 4) [3].

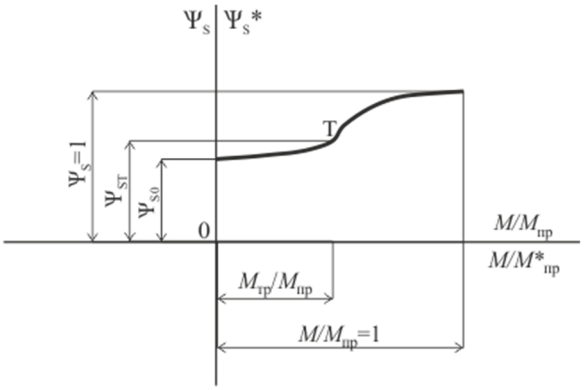


Рис. 4. Схема изменения параметра Ψ_s в зависимости от уровня действующего изгибающего момента $M/M_{\text{пр}}$ (или $M/M^*_{\text{пр}}$)

Сведения о коэффициентах в формуле (22) содержатся в табл. 1.

В табл. 1 принято:

$$\Psi_{s0} = \left(1 + \frac{E_{\text{б0}} J_0}{E_s J_s}\right)^{-1};$$

$$\Psi_{s\text{т}} = \Psi_{s0} + в_{q.\text{т}} \left(\frac{M_{\text{тр}}}{M_{\text{пр}}}\right)^{c_{q.\text{т}}}, \qquad (24)$$

Здесь M – изгибающий момент, $M_{\text{пр}}$ – предельный момент по прочности сечения, $M_{\text{тр}}$ – предельный момент по образованию трещин ($M^*_{\text{пр}}$ и $M^*_{\text{тр}}$ – тоже с учетом коррозионных повреждений).

Общая запись имеет вид:

$$\Psi_s = a + в \left(\frac{M}{M_{\text{пр}}}\right)^c \text{ или } \Psi^*_s = a + в \left(\frac{M}{M^*_{\text{пр}}}\right)^c. \quad (22)$$

Сопряженность $\Psi_{sq.\text{т}}$ и $\Psi_{sn.\text{т}}$ обеспечивается соблюдением условий:

$$\Psi_{sq.\text{т}}\left(\frac{M_{\text{тр}}}{M_{\text{пр}}}\right) = \Psi_{sn.\text{т}}\left(\frac{M}{M_{\text{пр}}}\right); \quad \left.\frac{d\Psi_{sq.\text{т}}}{d\left(\frac{M}{M_{\text{пр}}}\right)}\right|_{\frac{M_{\text{тр}}}{M_{\text{пр}}}} = \left.\frac{d\Psi_{sn.\text{т}}}{d\left(\frac{M}{M_{\text{пр}}}\right)}\right|_{\frac{M_{\text{тр}}}{M_{\text{пр}}}}. \qquad (23)$$

где E_s и $E_{\text{б0}}$ – начальные модули деформаций арматуры и бетона; $J_t, J_{\text{б}}, J_s$ и J'_s – моменты инерции растянутой зоны бетона, сжатой зоны бетона, растянутой арматуры и сжатой арматуры, рассчитываемые относительно центра тяжести приведенного сечения; $M_{\text{бт}}$ – момент трещинообразования соответствующего неармированного сечения, S – параметр, определяемый по табл. 2.

Примем во внимание, что кривизна деформированной внешними нагрузками балки имеет выражение:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M(x)}{D(x)} = \frac{\varepsilon}{z}, \qquad (25)$$

получаем:

$$\varepsilon = \frac{M}{D} z; \quad \varepsilon_{\text{ф}} = \frac{M}{D} x,$$

где ρ – радиус кривизны, D – жесткость [5], $\varepsilon_{\text{ф}}$ – фибровые деформации, x – высота сжатой зоны, z – ордината, отсчитываемая от нейтральной оси сечения.

Таблица 1

Связь параметров $a_{q.\text{т}}, в_{q.\text{т}}, c_{q.\text{т}}$ с параметрами $a_{n.\text{т}}, в_{n.\text{т}}, c_{n.\text{т}}$

Область	$a_{q.\text{т}}/a_{n.\text{т}}$	$в_{q.\text{т}}/в_{n.\text{т}}$	$c_{q.\text{т}}/c_{n.\text{т}}$
А	1,3	$-S\frac{M_{\text{бт}}}{M_{\text{пр}}}$	–1
Б	$\left(1 + \frac{E_{\text{б0}} J_{\text{б0}}}{E_s J_s}\right)^{-1}$	$\frac{\Psi_{s\text{т}} - \Psi_{s0}}{\left(\frac{M_{\text{тр}}}{M_{\text{пр}}}\right)^{c_{n.\text{т}}}}$	$S\frac{в_{n.\text{т}} c_{n.\text{т}}}{\Psi_{s\text{т}} - \Psi_{s0}}\left(\frac{M_{\text{тр}}}{M_{\text{пр}}}\right)^{c_{n.\text{т}}}$

Таблица 2

Значение параметра S в зависимости от режима внешних воздействий

Кратковременное, статическое	Длительное, статическое	Динамическое
1,05	0,8	0,3

Используя выражение (11), найдем фибровое напряжение сжатой и растянутой зон (*h,* – высота сечения, *x* – высота его сжатой зоны):

$$\sigma_{\text{ф}} = \left[\frac{E_{\text{вр.л}} M R^{(1-\text{в})} x}{(1+\bar{V})D}\right]^{1/\bar{\text{в}}}; \qquad \sigma_{t.\text{ф}} = \left[\frac{E_{\text{вр.л}} M R_t^{(1-\text{в}t)} (h-x)}{(1+\bar{V}_t)D}\right]^{1/\bar{\text{в}}_t}. \tag{26}$$

Затем, умножив и разделив выражение в квадратных скобках на $M_{\text{пр}}$ и x или $M_{\text{пр}}$ и $(h-x)$ соответственно, а также учитывая, что:

$$\frac{E_{\text{вр.л}}}{(1+\bar{V})R} = \frac{1}{\varepsilon_R} \quad \text{и} \quad \frac{M_{\text{пр}} x}{D} = \varepsilon_R; \quad \frac{E_{\text{вр.л}}}{(1+\bar{V}_t)R} = \frac{1}{\varepsilon_{tR}} \quad \text{и} \quad \frac{M_{\text{тр}}(h-x)}{D} = \varepsilon_{tR} \tag{27}$$

записываем:

$$\sigma_{\text{ф}} = \left(\frac{M}{M_{\text{пр}}}\right)^{1/\bar{\text{в}}} R; \quad \sigma_{\text{ф}}^* = \left(\frac{M}{M_{\text{пр}}^*}\right)^{1/\bar{\text{в}}} R^*; \quad \sigma_{t.\text{ф}}^* = \left(\frac{M}{M_{\text{тр}}^*}\right)^{1/\bar{\text{в}}_t} \bar{K}^* R_t \tag{28}$$

и, следуя [3], получаем для сжатой и растянутой зон соответственно:

$$\sigma(z) = \sigma_{\text{ф}} \left(\frac{z}{x}\right)^{\eta}; \quad \sigma(z) = \left(\frac{M}{M_{\text{пр}}}\right)^{1/\bar{\text{в}}} \left(\frac{z}{x}\right)^{\eta}, \tag{29}$$

где $\eta = 1 - \frac{M}{M_{\text{пр}}}$ – параметр, отражающий изменение формы эпюры нормальных напряжений в сечении: при треугольной эпюре ($M \to 0$) $\eta = 1$, при прямоугольной ($M \to M_{\text{пр}}$) $\eta = 0$.

Высота сжатой зоны сечения x (и x^*) определяется из условия равновесия сил F_i (F_i^*) на горизонтальную ось:

$$\sum_i^n F_i = 0 \ \ (\sum_i^n F_i^* = 0)$$

с учетом того, что для сжатого бетона:

$$F_{\text{б}} = \frac{\text{в}_0}{(1+\eta)} \left(\frac{M}{M_{\text{пр}}}\right)^{1/\bar{\text{в}}} Rx,$$

для растянутой арматуры (A_s – площадь сечения, a_s – толщина защитного слоя бетона):

$$F_s = \frac{M}{D} \frac{E_s}{\Psi_s} A_s (h - x - a_s), \tag{30}$$

для сжатой арматуры (A_s'– площадь сечения, a_s'– толщина защитного слоя бетона):

$$F_s' = \frac{M}{D} \frac{E_s}{\Psi_s} A_s' (h - x - a_s').$$

Таким образом,

$$x = \frac{\frac{M}{D} E_s \left[A_s' a_s' + \frac{A_s}{\Psi_s}(h - a_s)\right]}{\frac{M}{D} E_s \left(A_s' + \frac{A_s}{\Psi_s}\right) + \frac{\text{в}_0}{(1+\eta)} \left(\frac{M}{M_{\text{пр}}}\right)^{1/\bar{\text{в}}} R}. \tag{31}$$

Затем определим

$$M_{\text{пр}} = A_s' R_s' (h_0 - a_s') + R \text{в}_0 x \left(h_0 - \frac{x}{2}\right) \tag{32}$$

и, согласно [5],

$$M_{\text{тр}} = \frac{(1+\bar{V}_t) D R_t}{E_{\text{вр.л}} (h-x)}.$$

В то же время отметим, что силовое сопротивление арматурной стали считается упруголинейным и, следовательно, поглощение ею энергии при повторном нагружении может не учитываться.

Дальнейшее изложение материала статьи производится на примере железобетонной балки как элемента конструкции; при этом необходимо учитывать приведенную выше последовательность коррозионных воздействий (до и после стабилизации напряженно-деформированного состояния балки от внешних нагрузок).

В зависимости от граничных условий знаки изгибающих моментов вдоль пролета балки могут изменяться, также может изменяться армирование. С учетом этого расчет поглощения энергии при повторном нагружении–разгружении надо вести, предварительно разделив длину балки на *n i*–х участков длиной l_i . В пределах каждого участка можно считать неизменяемыми значения изгибающих моментов, армирования, жесткостей. После этого, вычислив потери энергии на отдельных участках, а затем просуммировав их, можно определить потери энергии для балки в целом:

$$\Delta W = \sum_{i=1}^n \Delta W_i, \tag{33}$$

где $\Delta W_i = \overrightarrow{W_i} - \overleftarrow{W_i}$.

Величины $\overrightarrow{W_i}$ и $\overleftarrow{W_i}$ определяются сложением потерь энергии по сжатой и растянутой зонам отдельно.

При нагружении работа на деформирование (14) равна

$$\overrightarrow{W_i} = \overrightarrow{W_{i\text{б}}} + \overrightarrow{W_{it}};$$

для сжатой зоны –

$$\overrightarrow{W_{i\text{б}}} = \text{в}_0 l_i \int_0^{x_i} R \left(\frac{M_i}{M_{i\text{пр}}}\right)^{1/\bar{\text{в}}} \frac{M_i}{D_i} z \left(\frac{z}{x_i}\right)^{\eta} dz - \frac{\text{в}_0 l_i}{(2+\eta_i)} \frac{M_i}{D_i} \left(\frac{M_i}{M_{i\text{пр}}}\right)^{1/\bar{\text{в}}} R x_i^2; \tag{34}$$

для растянутой зоны –

$$\overrightarrow{W_{i\text{t}}} = \frac{\text{в}_0 l_i}{(2+\eta_{ti})} - \frac{M_i}{D_i} \left(\frac{M_i}{M_{i\text{тр}}}\right)^{1/\bar{\text{в}}_t} R_t (h - x_i)^2. \tag{35}$$

При необходимости уточнения $\vec{W}_t$, связанного со структурными изменениями бетона, величина (35) может быть умножена на $\varphi = 1 - f\,\Psi_s$, где $0{,}1 < f < 0{,}3$, а при $M > M_{\text{тр}}$ величина $\left(\frac{M_i}{M_{i\text{тр}}}\right)^{1/\overline{в}_t}$ принимается равной единице.

При разгружении работа на восстановление деформаций ($\eta = 1$) равна

$$\overleftarrow{W}_i = \overleftarrow{W}_{i\text{б}} + \overleftarrow{W}_{it};$$

для сжатой зоны –

$$\overleftarrow{W}_{i\text{б}} = \frac{в_0 l_i}{3D_i} M_i \left(\frac{M_i}{M_{i\text{пр}}}\right)^{1/\overline{в}} R x_i^2; \qquad (36)$$

для растянутой зоны –

$$\overleftarrow{W}_{it} = \frac{в_0 l_i}{3D_i} M_i \left(\frac{M_i}{M_{i\text{тр}}}\right)^{1/\overline{в}_t} R_t (h - x_i)^2. \qquad (37)$$

Тогда потери энергии на i- м участке при однократном нагружении–разгружении:

$$\Delta W_i = \left(\vec{W}_{i\text{б}} + \vec{W}_{it}\right) - \left(\overleftarrow{W}_{i\text{б}} + \overleftarrow{W}_{it}\right), \qquad (38)$$

а потери энергии за один цикл нагружения–разгружения балки:

$$\Delta W = \sum_{i=1}^{n}\left[\left(\vec{W}_{i\text{б}} + \vec{W}_{it}\right) - \left(\overleftarrow{W}_{i\text{б}} + \overleftarrow{W}_{it}\right)\right]. \qquad (39)$$

Соответственно, коэффициент потери энергии (15) для i-го участка равен:

$$\Psi_i = 1 - \frac{\overleftarrow{W}_{i\text{б}} + \overleftarrow{W}_{it}}{\vec{W}_{i\text{б}} + \vec{W}_{i\text{t}}}, \qquad (40)$$

а для всей балки –

$$\Psi = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\overleftarrow{W}_{i\text{б}} + \overleftarrow{W}_{it}\right)}{\sum_{i=1}^{n}\left(\vec{W}_{i\text{б}} + \vec{W}_{i\text{t}}\right)}. \qquad (41)$$

Далее исследуем влияние различных факторов на энергетические показатели силового сопротивления на примерах однопролетной балки.

1. Рассматриваются i-е участки неповрежденной коррозией балки, для которой согласно исходным условиям фиксируются неизменными x, M, D, $M_{\text{пр}}$, $M_{\text{тр}}$ при дополнительном допущении $\eta = \eta_i$. В результате зависимость (40) приводится к виду:

$$\Psi_i = 1 - \frac{2+\eta}{3}, \qquad (42)$$

что при $\eta_i = 1 - \frac{M_i}{M_{\text{пр}}}$ обуславливает $\Psi_i = \frac{M_i}{3M_{\text{пр}}}$.

В случае чистого изгиба зависимость (42) справедлива также для балки в целом.

Из выражения (42) следует, что с уменьшением расчетного момента M коэффициент потери энергии при повторном нагружении уменьшается (табл. 3).

Таблица 3

Зависимость коэффициента Ψ от соотношения $M/M_{\text{пр}}$

$\frac{M}{M_{\text{пр}}}$	Ψ, %
1	33
3/4	25
1/2	17
0	0

2. Учет влияния вибрационного нагружения и коррозионных повреждений бетона и арматуры при тех же условиях осуществляется введением к мере ползучести коэффициента виброползучести $K_{\text{в}}$ по формуле (2) в зависимости (1), (7), (8) и характеристик силового деформирования бетона и коэффициентов сохранения ω_s и ω_s' к площадям арматуры A_s и A_s' соответственно.

Так, например, имеем:

$$\sigma_{\text{б}}^* = \sigma_{\text{ф}}^* \left(\frac{z}{x^*}\right)^{\eta^*}; \quad \eta^* = 1 - \frac{M}{M_{\text{пр}}^*}; \quad R^* = k^* R, \qquad (43)$$

$$M_{\text{пр}}^* = \left(\omega_s'\right) A_s' R_s' \left(h_0 - a_s'\right) + R^* в_0 x^* \left(h_0 - \frac{x^*}{2}\right) \qquad (44)$$

$$M_{\text{тр}}^* = \frac{\left(1+\overline{V}_t^*\right) D^* R_t^*}{E_{\text{вр.л}}^* (h - x^*)}, \quad E_{\text{вр.л}}^* = k^* E_{\text{вр.л}}. \qquad (45)$$

Таким образом, получаем

$$F_{\text{б}}^* = в_0 \int_0^{k^*} \sigma_{\text{ф}}^* \left(\frac{z}{x^*}\right)^{\eta^*} \sum_i^2 a_i z^{i+\eta^*} dz = в_0 \left(\frac{M}{M_{\text{пр}}^*}\right) R \left[a_0 \frac{z}{(1+\eta^*)} + \frac{a_1 z^2}{(2+\eta^*)} + \frac{a_2 z^3}{(3+\eta^*)}\right]\Big|_0^{x^*} \qquad (46)$$

и, используя (29) и (30), вместо (31), получим следующее уравнение:

$$d(x^*)^3 + p(x^*)^2 + qx^* + T = 0, \qquad (47)$$

где $d = \frac{a_2 в_0 R^*}{(3+\eta^*)} \left(\frac{M}{M_{\text{пр}}^*}\right)^{1/\overline{в}}$; $\quad p = \frac{a_1 в_0 R^*}{(2+\eta^*)} \left(\frac{M^*}{M_{\text{пр}}}\right)^{1/\overline{в}}$; (48)

$$q = \left[\frac{a_0 в_0 R^*}{(1+\eta^*)} \left(\frac{M}{M_{\text{пр}}^*}\right)^{1/\overline{в}} + \frac{ME_s}{D}\left(\omega_s' A_s' + \frac{\omega_s}{\Psi_s} A_s\right)\right];$$

$$T = \frac{ME_s}{D}\left[\frac{\omega_s}{\Psi_s} A_s (q_s - h) - \omega_s' A_s' a_s'\right].$$

Решение кубического уравнения (47) относительно x^* дает высоту сжатой зоны сечения изгибаемой балки, поврежденной коррозией в условиях виброползучести, а затем и необходимые энергетические величины:

$$\vec{W}_{i\text{б}}^* = \frac{в_0 l_i M_i}{(2+\eta_{\text{i}}^*) D_i^*} \left(\frac{M_i}{M_{i\text{пр}}^*}\right)^{1/\overline{в}^*} R^* (x_i^*)^2;$$

$$\vec{W}_{i\text{t}}^* = \frac{в_0 l_i M_i}{(2+\eta_{ti}^*) D_i^*} \left(\frac{M_i}{M_{i\text{тр}}^*}\right)^{1/\overline{в}_t{}^*} R_t{}^* (h - x_i^*)^2; \qquad (49)$$

$$\overleftarrow{W}_{i\text{б}}^{*} = \frac{в_0 l_i M_i}{3D_i^*}\left(\frac{M_i}{M_{i\text{пр}}^*}\right)^{1/в^*} R^* x_i^2 ;$$

$$\overleftarrow{W}_{i\text{т}}^{*} = \frac{в_0 l_i M_i}{3D_i^*}\left(\frac{M_i}{M_{\text{тр}}^*}\right)^{1/в^*} R_t{}^* (h - x_i^*)^2.$$

Далее, используя формулы (40), (41) и (42) для Ψ_i^* и Ψ^*, найдем коэффициенты потери энергия предположении, что $M_{\text{пр}}^* = \frac{3}{4} M_{\text{пр}}$ (табл. 4)

Таблица 4

Зависимость коэффициента Ψ^* от соотношения $M/M_{\text{пр}}^*$

$\frac{M}{M_{\text{пр}}^*}$	Ψ^*, %
1	43,9
3/4	33,2
1/2	22,6
0	0

Сравнивая данные табл. 3 и табл. 4, убеждаемся в том, что увеличение предельного изгибающего момента или уменьшение действующего изгибающего момента снижают коэффициент потери энергии, а коррозионные повреждения и вибровоздействия увеличивают его.

3. Устанавливается влияние распределения внешней нагрузки по пролету балки. Так для однопролетной шарнирно-опертой балки возможны два варианта:

а) внешняя нагрузка $F = ql$ расположена посередине пролета l в виде сосредоточенной силы *F,* тогда уравнение изгибающего момента (на половине пролета):

$$M_F(x) = \frac{F}{2}x = \frac{ql}{2}x, \qquad (50)$$

наибольший изгибающий момент $\left(x = \frac{l}{2}\right)$ –

$$max\, M_F = \frac{Fl}{4} = \frac{ql^2}{4}, \qquad (51)$$

площадь эпюры моментов (одного знака) –

$$\Omega_F = 2\int_0^{l/2} \frac{ql}{2} x dx = \frac{ql^3}{8}, \qquad (52)$$

расчетная величина изгибающего момента –

$$cpM = \frac{\Omega_F}{l} = \frac{ql^2}{8}, \qquad (53)$$

коэффициент потери энергии –

$$\Psi_F = \frac{ql^2}{24M_{\text{пр}}}; \qquad (54)$$

б) внешняя нагрузка $F = ql$ распределена равномерно по пролету l, тогда уравнение изгибающего момента:

$$M_q(x) = \frac{ql}{2}x - \frac{qx^2}{2}, \qquad (55)$$

наибольший изгибающий момент $\left(x = \frac{l}{2}\right)$ –

$$max\, M_q = \frac{ql^2}{8}, \qquad (56)$$

площадь эпюры моментов –

$$\Omega_q = \int_0^l \left(\frac{ql}{2}x - \frac{qx^2}{2}\right) dx = \frac{1}{12} ql^3, \qquad (57)$$

расчетная величина изгибающего момента –

$$\text{ср}M = \frac{\Omega_q}{l} = \frac{ql^3}{12l} = \frac{ql^2}{12}, \qquad (58)$$

коэффициент потери энергии:

$$\Psi_q = \frac{ql^2}{36M_{\text{пр}}}. \qquad (59)$$

Сравнение результатов по формулам (54) и (59) показывает, что при прочих равных условиях равномерное распределение нагрузки снижает коэффициент потери энергии в 1,5 раза.

4. Оценивается влияние граничных условий. Исходная однопролетная шарнирно-опертая балка, нагруженная силой *F* посередине пролета, заменяется такой же балкой, защемленной на опорах. Это вносит изменение в эпюру моментов и, как следствие, уменьшает коэффициент потери энергии в 1,5 раза [6].

Поскольку потери энергии за цикл нагружения–разгружения равны:

$$\Delta W_0 = \Psi_0 \overrightarrow{W}_0, \qquad (60)$$

постольку при вибрационных нагружениях за *n* циклов общие потери энергии составят:

$$\Delta W_n = n\Psi_0 \Delta W_0, \qquad (61)$$

где ΔW_0 – потери энергии при первом цикле нагружения–разгружения.

Структура выражения (61) предполагает, что независимо от числа циклов *n* существует пропорциональная связь между числом *n* и общими потерями энергии ΔW_n. Между тем, автором экспериментально в Харьковском государственном архитектурно-строительном университете (1965…1968 гг.), Всесоюзном заочном инженерно-строительном институте (1977…1978 гг.), НИИ строительной физики РААСН (1994…1995 гг.) установлено, что многократное повторение нагружения сопровождается постепенным уменьшением ΔW_n с последующей стабилизацией. В связи с этим возможна корректировка: $\Delta W_\infty = (0{,}7–0.8)\Delta W_n$.

Таким образом, меняя статическую композицию здания с целью уменьшения расчетных изгибающих моментов (*M*) или увеличивая $M_{\text{пр}}$ и *D*, можно управлять процессом потери энергии при многократном повторном нагружении. Это создало возможность оптимизации конструктивных решений с целью уменьшения суммарных расходов на возведение и эксплуатацию промышленных зданий.

Анализ показывает, что при достаточно большой продолжительности повторного нагружения, срок которого может быть меньше расчетного срока эксплуатации, стоимость сэкономленной энергии может превысить дополнительные расходы на возведение и содержание

строительных конструкций. Так, например [5], замена шарнирно-опертой балки такой же балкой, защемленной на опорах, в случае нагружения сосредоточенной нагрузкой посередине пролета приводит к уменьшению потери энергии в полтора раза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондаренко В.М. Некоторые вопросы теории колебания, связанные с учетом реологических свойств материалов // Труды Харьковского инженерно-строительного института, Харьков. Вып.11. 1959.

2. Рекомендации по учету ползучести и усадки бетона при расчете бетонных и железобетонных конструкций // НИИЖБ Госстроя СССР. М.: Стройиздат, 1988. 122 с.

3. Бондаренко В.М. Некоторые вопросы нелинейной теории железобетона. Изд. Харьковского госуниверситета, 1968. 324 с.

4. Бондаренко В.М. Феноменология кинетики повреждений бетона железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в агрессивной среде // Бетон и железобетон. 2008. №2. С. 25–28.

5. Бондаренко В.М. Элементы диссипативной теории силового сопротивления железобетона // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2014. №2. С. 47–57.

6. Бондаренко В.М. Посылки энергетической оптимизации железобетонных конструкций, воспринимающих знакопеременные нагрузки // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2015. №3.

7. Бондаренко С.В., Санжаровский Р.С. Усиление железобетонных конструкций при реконструкции зданий. М.: Стройиздат, 1990. 352 с.

8. Васильев П.И. Связь между напряжениями и деформациями бетона при сжатии с учетом влияния времени // Изв. ВНИИГ, Госэнергоиздат. 1951. Т.45. С.76–92.

9. Давиденков Н.Н. О рассеивании энергии при вибрациях // ЖТФ. М., 1938. VIII. Вып.6. 158 с.

Bondarenko V.M., Panchenko L.A.

THE ENERGETIC EVALUATIGN OF REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS OF INDUSTRIAL BUILDINGS TAKING ACCOUNT OF CORROSION DAMAGES AND DYNAMIC LOADING INFLUENCE

In the article is functioning evaluation of buildings reinforced concrete constructions with position of energy loss under inelastic deformation given. It is corrosion damages and dynamic loading influence considered. It is energy loss coefficients at noted cases determined. It is influence at energetic indexes of single-span beams force resistance of different factors, in particular, loading type and boundary conditions investigated.

***Key words**: concrete corrosion damages, energy loss, force resistance, creep, boundary conditions.*

Шестаков Н.И., аспирант,
Урханова Л.А., д-р техн. наук, проф.,
Буянтуев С.Л., д-р техн. наук, проф.
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Семенов А.П., д-р техн. наук, проф.,
Смирнягина Н.Н., д-р техн. наук, глав. науч. сотр.
Институт физического материаловедения СО РАН

АСФАЛЬТОБЕТОН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМОДИФИКАТОРОВ*

nik.shestakov.1990@mail.ru

В представленной статье рассматривается возможность применения в качестве модификаторов дорожного битума углеродных наноматериалов, полученных различными способами. Введение 0,1 масс.% наномодификатора значительно изменяет свойства битума и асфальтобетона на его основе. Асфальтобетон обладает более высокой прочностью на сжатие во всем интервале температур.

Ключевые слова: *углеродные наномодификаторы, фуллерены, фуллеренсодержащая сажа, модифицированный битум, асфальтобетон.*

В последнее время во всем мире произошел колоссальный прорыв в области производства, изучения и применения материалов, имеющих наноразмеры. Наноматериалы нашли свое применение в медицине, биологии, металлургии, машиностроении, строительстве, в том числе и в производстве строительных материалов. Среди большого спектра различных по своей природе и свойствам наноматериалов особый интерес вызывает представитель карбоновых наноструктур C_{60} – фуллерен.

Целью проводимых исследований явилось изучение влияния углеродных наномодификаторов, полученных различными способами, на свойства дорожно-строительных материалов, эксплуатируемых в условиях резко-континентального климата.

Для этого были выбраны два вида углеродных добавок, полученных разными способами. Синтез первого углеродного наномодификатора (УНМ) проводился на установке - плазмохимическом реакторе. В основе работы установки лежит эрозия графитовых электродов в плазме дугового разряда. Одним из преимуществ работы плазмохимического реактора является то, что состав получаемой добавки можно регулировать за счет изменения параметров питания. Содержание фуллеренов в наномодификаторе составляет 10…12 % [1, 2]. Другим способом получения углеродной добавки является плазменная обработка угля в плазменном реакторе. При плазменной обработке угля под действием электродуговой плазмы из материала электродов и угля, подаваемого для газификации, в одной установке образуются синтез-газ ($CO+H_2$), активированный уголь (сорбент) и, в качестве побочных продуктов, углеродные наноматериалы – фуллеренсодержащая сажа (ФСС). Содержание фуллеренов в саже составляет 1,3…1,5 % [3…5].

Для исследования основных свойств вяжущих были приготовлены составы модифицированных битумов с содержанием нанодобавок от 0,1 до 0,5 масс. % на основе БНД 90/130 (Ангарский НПЗ, г. Ангарск, Иркутская область). Создание композитов проводилось при механическом перемешивании разогретого до рабочей температуры битума.

Введение УНМ и ФСС в состав битума приводит к повышению температуры размягчения и снижению температуры хрупкости, тем самым увеличивая интервал пластичности модифицированных битумов. Введение в битум добавок снижает его пенетрацию и уменьшает дуктильность, что обусловлено структурированием системы в целом и коррелирует с общеизвестными положениями о введении в битум тонкодисперсных наполнителей [6, 7]. Механизм действия добавки объясняется появлением дополнительных элементов дисперсной фазы, которые равномерно распределены в межмолекулярном пространстве и способствуют уплотнению пленки битума.

Для определения процессов, приводимых систему композита в состоянии равновесия, были определены энергии активации битумов. Для этого изучалось изменение твердости битума с различным содержанием добавок в интервале температур от 0 до 30ºС. С помощью графических зависимостей пенетрации битума от температуры и уравнения Аррениуса была рассчитана энергия активации битума и полученных композитов (рис. 1).

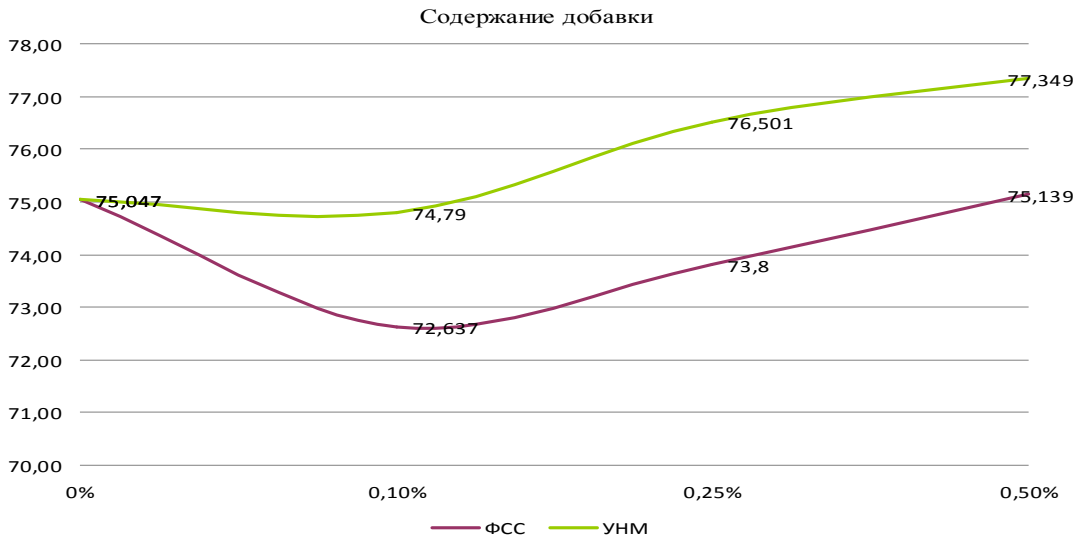


Рис. 1. Энергия активации (кДж/моль) композитов

Установлено, что при введении 0,1 масс.% наномодификатора происходит снижение энергии активации $E_{акт}$ от 75,05 до 74,79 кДж/моль для УНМ и от 75,05 до 72,64 кДж/моль для ФСС при постоянных значениях остальных параметров, а при увеличении концентрации наномодификатора в композитах наблюдается увеличение $E_{акт}$ до 77,35 кДж/моль для УНМ и 75,14 кДж/моль для ФСС. Наблюдаемые увеличения энергий активации свидетельствуют о том, что при введении наномодификаторов больше 0,1 масс. % в составе битума образуются протяженные надмолекулярные структуры, образовавшиеся путем агрегации нанодобавок. При введении 0,1 масс. % УНМ и ФСС таких структур не образуется, следовательно, добавка распределяется равномерно в межмолекулярном пространстве вяжущего, а уменьшение энергии обеспечивает более активные композиты.

ИК-спектроскопический анализ показал, что при введении наномодификатора в битум наблюдается рефлекс в диапазоне 2450…2350 $см^{-1}$, который соответствует спектру исходных нанодобавок. Следует предположить, что в системе «битум-наномодификатор» не образуются химические связи, а равновесие поддерживается за счет обратимой физической адсорбции [8]. Это доказывает предположение о том, что наномодификатор не затрагивает групповые элементы битума, а располагается в межмолекулярном пространстве и диспергирован, по крайней мере, на молекулярном уровне.

Известно, что при производстве асфальтобетона битум находится в виде тонких пленок на поверхности минеральных зерен, нагретых до температуры 140…160°С. При свободном доступе кислорода воздуха возникает наиболее благоприятная возможность протекания термоокислительных и других процессов, приводящих к старению битума [9]. Косвенной характеристикой устойчивости битума к «старению», вызванной неоднократным нагреванием битума, является потеря массы битума после прогрева (рис. 2).

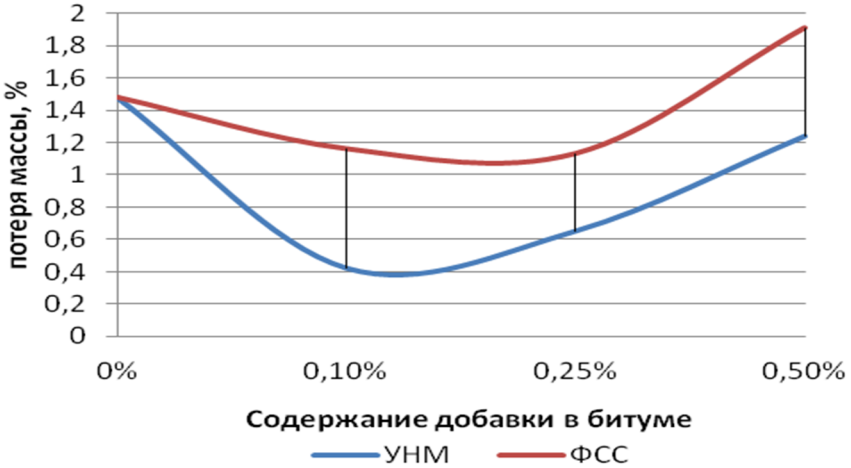


Рис. 2. Потеря массы битума после прогрева

Анализ полученных результатов показал, что при введении в состав битума наномодификаторов (0,1…0,25 масс. %) идет уменьшение потери массы в тонких слоях битума после прогрева. Скорее всего это объясняется наличием системы π-конъюгированных двойных связей на поверхности, благодаря которым молекула C_{60} улавливает свободные радикалы и проявляет свойства антиоксиданта [10]. Следовательно, происходит сокращение поверхностного испарения имеющихся или образующихся при старении низкокипящих компонентов нефтяного битума.

Исследования показали, что при увеличении концентрации добавок увеличивается их склонность к агрегации, и равномерное распределение на молекулярном уровне становится более затруднительно, следовательно это уменьшает их эффективность. При снижении концентрации нанодобавок возникает проблема их распределение в составе битума, поэтому оптимальное количество наномодификаторов составляет 0,1 масс. %.

Для определения прочностных и деформационных характеристик асфальтобетона на основе модифицированного битума были изготовлены образцы плотного, горячего, мелкозернистого асфальтобетона типа «Б». Анализ представленных результатов показал, что асфальтобетон на модифицированных битумах обладает большей прочностью во всем интервале температур (рис. 3).

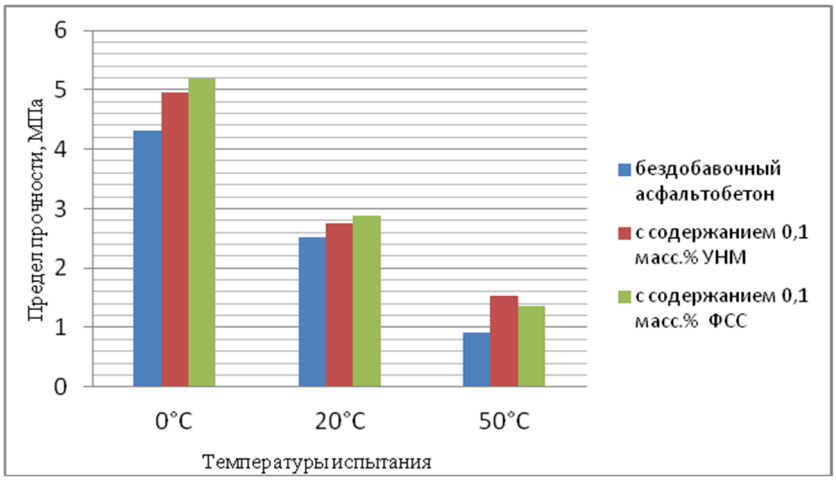


Рис. 3. Предел прочности образцов асфальтобетона

При совместном воздействии движения транспортных средств и природно-климатических факторов на поверхности асфальтобетонного покрытия происходит колееобразование, возникающее в результате накопления остаточных напряжений асфальтобетонного покрытия. Для того чтобы спрогнозировать вероятность появления пластичных дефектов, были определены деформации при сжатии при максимальной нагрузке на универсальной разрывной машине Instron 6637 (USA) (табл. 1).

Таблица 1

Деформация асфальтобетона при сжатии при максимальной нагрузке

Состав вяжущего для асфальтобетона	Деформация при сжатии (перемещение) при максимальной нагрузке, при разных температурах, мм/мм		
	50 °С	20 °С	0 °С
БНД 90/130	0,7338	0,7488	0,7504
БНД 90/130 +0,1 мас.% УНМ	0,6738	0,7743	1,0251
БНД 90/130 +0,1 мас.% ФСС	0,687	0,7796	0,9382

Как видно из представленных в табл. 1 данных, введение УНМ и ФСС положительно сказывается на сопротивлении асфальтобетона деформационным нагрузкам. При введении в состав асфальтобетона модификаторов деформация при 50 °С ниже, чем этот же показатель у бездобавочного асфальтобетона. Это свидетельствует о том, что в летний период произойдет сокращение вероятности образования пластичных деформаций, что благоприятно скажется на ровности покрытия автомобильной дороги. Увеличение показателя деформации при сжатии при 0 °С говорит о том, что асфальтобетон в зимний период будет более пластичен и сократит вероятность образования трещин на покрытии, что отразится на долговечности асфальтобетона.

Таким образом, использование модифицированных фуллеренсодержащими наноматериалами органических вяжущих в дорожном строительстве позволяет улучшить целый ряд свойств асфальтобетона, существенно не меняя технологию производства смеси и используя модификаторы в достаточно малом количестве.

**Исследования выполнены в рамках гранта «Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации», проект №84 и в рамках Госзадания Минобрнауки России на тему «Исследование и разработка энерго- и ресурсосберегающих технологий для объектов энергетики, стройиндустрии и жилищно-коммунального хозяйства» (задание №2014/23).*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент РФ №2005138095/15, 27.03.2008. Чурилов Г.Н. Способ синтеза фуллереновой смеси в плазме при атмосферном давлении // Патент России №2320536 С2. Бюл. № 9.

2. Чурилов Г.Н., Булина, Н.В., Федоров А.С. Фуллерены: Синтез и теория образования. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 230 с.

3. Патент РФ №2011106679/07, 22.02.2011, С.Л. Буянтуев, А.С. Кондратенко, Б.Б. Дамдинов. Способ получения углеродных наноматериалов с помощью энергии низкотемпературной плазмы и установка для его осуществления // Патент России 2488984 МПК8 H05H1/00, 82B 1/00. Бюл. № 21.

4. Буянтуев С.Л., Дамдинов Б.Б., Кондратенко А.С. Фуллерены как конденсированная фаза при обработке угольной пыли низкотемпературной плазмой// Наноматериалы и технологии. Технологии наноразмерных структур: сб. трудов 2-ой научно-практ. конф. Улан-Удэ: Изд-во БГУ, 2009. С. 230-232.

5. Буянтуев С.Л., Кондратенко А.С., Хмелев А.Б. Особенности получения углеродных наноматериалов методом комплексной плазменной переработки углей // Вестник ВСГУТУ. 2013. (42). С.21-25.

6. Урханова Л.А., Шестаков Н.И., Буянтуев С.Л., Семенов А.П., Смирнягина Н.Н. Улучшение свойств битума и асфальтобетона введением углеродного наномодификатора // Наукоемкие технологии и инновации (XXI научные чтения). Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. Ч. 3. С. 391-399.

7. Урханова Л.А., Шестаков Н.И., Буянтуев С.Л., Доржиева Е.В. Использование углеродных наноматериалов для получения эффективного дорожно-строительного композита//Вестник ВСГУТУ. 2014. №6(51). С.67-73.

8. Иноземцев С.С. Структура и свойства наномодифицированных щебеночно-мастичных асфальтобетонов с повышенными показателями эксплуатационных свойств: Автореф. дис. канд. техн. наук. Москва, 2013, 12 с.

9. Скрипкин А.Д., Старков Г.Б., Колесник Д.А. Оценка старения битума в тонких пленках с применением анализатора тонкой хроматографии «IATROSCAN MK-5» // Вестник ХНАДУ. 2008. №40.

10. Гринюк И. И., Прилуцкая С. В., Слободяник Н. С., Чунихин А. Ю., Матышевская О. П. Агрегатное состояние С60-фуллерена в различных средах // Biotechnol. acta . 2013. №6.

Shestakov N.I., Urkhanova L.A., Buyantuev S.L., Semenov A.P., Smirniagina N.N.

ASPHALT CONCREATE USING CARBON NANOMODIFIERS

In the present article the possibility of use as a modifier of bitumen produced carbon nanomaterials in various ways. Introduction 0.1 % nanomodifier significantly alter the properties of bitumen. Asphalt concrete based on it has a high compressive strength at all temperatures.

***Key words**: carbon nanomodifiers, fullerenes, fullerene-containing soot, modified bitumen.*

Алфимова Н.И., канд. техн. наук, доц.,
Лесовик В.С., член-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф.,
Агеева М.С., канд. техн. наук, доц.,
Трунов П.В., канд. техн. наук,
Шадский Е.Е., магистрант
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОЧНОСТЬ МОДИФИЦИРОВАННОГО ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ*

alfimovan@mail.ru

Как известно в реальных условиях часто возникают ситуации, вызывающие недостаток жидкой фазы в цементном камне. Это приводит к замедлению процессов гидратации, а в некоторых случаях снижению прочности композита. С целью выявления поведения тонкомолотых вулканогенно-осадочных пород Камчатки в цементном камне, в условиях дефицита воды, был проведен анализ изменения прочности образцов, выдержанных при температуре 200 ºС и 550 ºС. Установлено – образцы модифицированного цементного камня отличаются меньшим сбросом прочности, что обусловлено комплексным влиянием вулканогенно-осадочных пород на процессы структурообразования, способствующем снижению негативных воздействий деструктивных процессов, вызванных температурным фактором.

Ключевые слова: *вулканогенно-осадочные породы, минеральная добавка, цементный камень, прочность.*

Введение. Одной из основных тенденций в основе создания высокоэффективных бетонов на настоящий момент является применение различного рода добавок минерального и органического происхождения или их комплекса, а также использования композиционных вяжущих [1…17], в основе создание которых лежит использование сырьевых ресурсов различного генезиса, в том числе и вулканического происхождения [18…22].

Доказано, что использование минеральных добавок дает возможность экономии клинкерной составляющей, но и способствует приданию композитам дополнительных уникальных свойств, природа которых предопределяется генезисом и, как следствие, свойства исходного сырья.

Целью данного исследования явился анализ влияния высокотемпературного воздействия на прочность цементного камня, содержащего в своем составе 12,5 % тонкомолотых вулканогенно-осадочных пород (ВОП) Камчатки.

Как известно под воздействием умеренных и высоких температур в цементном камне не только возникает нехватка жидкой фазы, но и протекают сложные процессы, которые приводят к снижению его прочности. Так, при нагрев до 300 ºС способствует испарению сорбированной влаги за счет удаления из гелеобразных продуктов гидратации портландцементного клинкера адсорбционной воды, и кристаллогидратной воды из гидросульфоалюмината кальция. Помимо этого вместе с удалением влаги в цементном камне развиваются объемные и линейные деформации, вызывающие сильное напряжение в материале, которые в некоторых случаях способствуют образованию микро- и макротрещин. Дальнейший подъем температуры способствует нарушению структуры цементного камня за счет различия деформаций продуктов гидратации и непрогидратированных зерен. При температуре примерно 510 ºС происходит дегидратация $Ca(OH)_2$ и разложение гидратных новообразований. При температуре порядка 800 ºС наблюдается диссоциация, а при дальнейшем нагревании – интенсивное разложение карбоната кальция 1240 °С.

Методика исследований. Исследования проводились на образцах (2×2×2 см) чистого цементного камня, а также содержащего в своем составе 12,5 % молотых до удельной повнерхности 400 $м^2$/кг вулканогенно-осадочных пород. Образцы выдерживались в муфельной печи при температуре 200 °С и 550 °С, после чего определялся их предел прочности при сжатии. В качестве контрольных выступали образцы, не подвергавшиеся нагреванию (их предел прочности при сжатии принят за 100 %).

Удельная поверхность и количество вводимых в состав вулканогенно-осадочных пород, было обусловлено результатами ранее проведенных исследований, которые показали, что приданной тонине помола и концентрации ВОП наблюдается максимальный прирост прочности цементного камня составляющий порядка 24 %.

Основная часть. Анализ полученных результатов показал, что прочность цементного камня выдержанного при температуре 200 °С, составила 78,72 % от контрольных образцов, а для образцов, содержащих ВОП – 69,75 % (рис. 1).

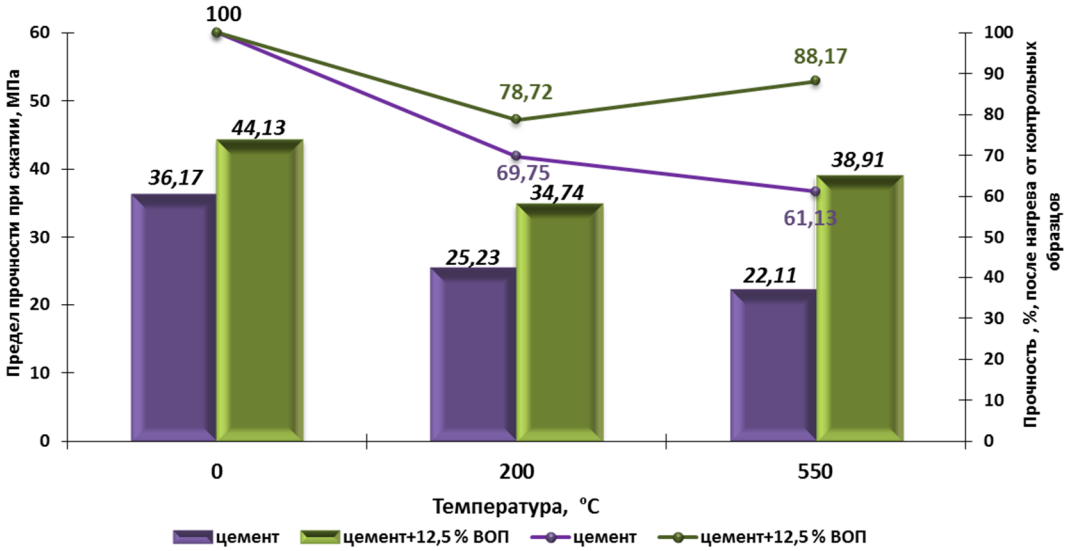


Рис. 1. Показатели изменения прочности после высокотемпературного воздействия образцов чистого цементного камня и с содержанием вулканогенно-осадочных пород в своем составе

У цементного камня, содержащего в совсем составе тонкомолотые ВОП, выдержанных при температуре 550 °С, наблюдается прирост прочности на 9,5 % по сравнению с предыдущим температурным интервалом, в то время как прочность чистого цементного камня снижается еще на 8,5 %.

Также было выявлено, что для вяжущих, выдержанных при температуре 200 ºС, интенсивность пиков соответствующих C_2S, C_3S и $Ca(OH)_2$ на рентгенограмме цементного камня, содержащего в своем составе тонкомолотые ВОП, ниже, чем у чистого цементного камня (рис. 2, *а*). Снижение интенсивности пиков алита и белита можно объяснить тем, что глинистые минералы, входящие в состав вулканогенно-осадочных пород, благодаря своей слоистой структуре способны поглощая удерживать воду и от давать ее при нагревании до 200 ºС, когда в цементном камне наблюдается дефицит жидкой фазы, тем самым активизируя процессы гидратации и снижая негативное воздействие деструктивных факторов, в том числе усадочных деформаций. По мимо этого при нагреве до указанной температуры создаются условия, способствующие взаимодействию $Ca(OH)_2$ с активным минеральным компонентом ВОП (кристобалит, наноразмерные глинистые частицы), что и обуславливает снижение интенсивности пиков портландита.

Совокупность этих процессов и объясняет меньший сброс прочности у образцов цементного камня выдержанного при температуре 200 ºС, содержащего в своем составе 2,5 % тонкомолотых вулканогенно-осадочных пород.

Отличительной особенностью дифрагтограммы образцов, выдержанных при 550 ºС, является отсутствие основных пиков портландита с d/n = 2,63; 4,93 Å и снижение интенсивности пика с d/n = 1,93 (рис. 2, *б*), что свидетельствует о разложении $Ca(OH)_2$ при данной температуре. При этом оба образца отличаются практически равной интенсивной отражения указанного пика. Также на рентгенограммах модифицированного цементного камня (рис. 2, *б*, *2*) наблюдается еще большее снижение интенсивности пик клинкерных минералов как по отношению к чистому цементному камню, так и по отношению к образцу аналогичного состава, выдержанного при температуре 200 ºС.

При практически равной интенсивности пиков $Ca(OH)_2$ снижение пиков алита и белита подтверждает ранее сделанный вывод о положительном влиянии тонкомолотых вулканогенно-осадочных пород на процессы структурообразования в части ускорения процессов гидратации и связывания портландита, что и объясняет прирост прочности у образцов модифицированного цементного камня, выдержанного при 550 ºС.

Анализ микроструктуры вяжущих, выдержанных при температуре 200 ºС, позволил выявить наличие системы пластинчатых новообразований в образцах, содержащих вулканогенно-осадочные породы (рис. 3, *2а*), что может служить подтверждением положительного влияния ВОП на процессы структурообразования в цементном камне при указанной температуре.

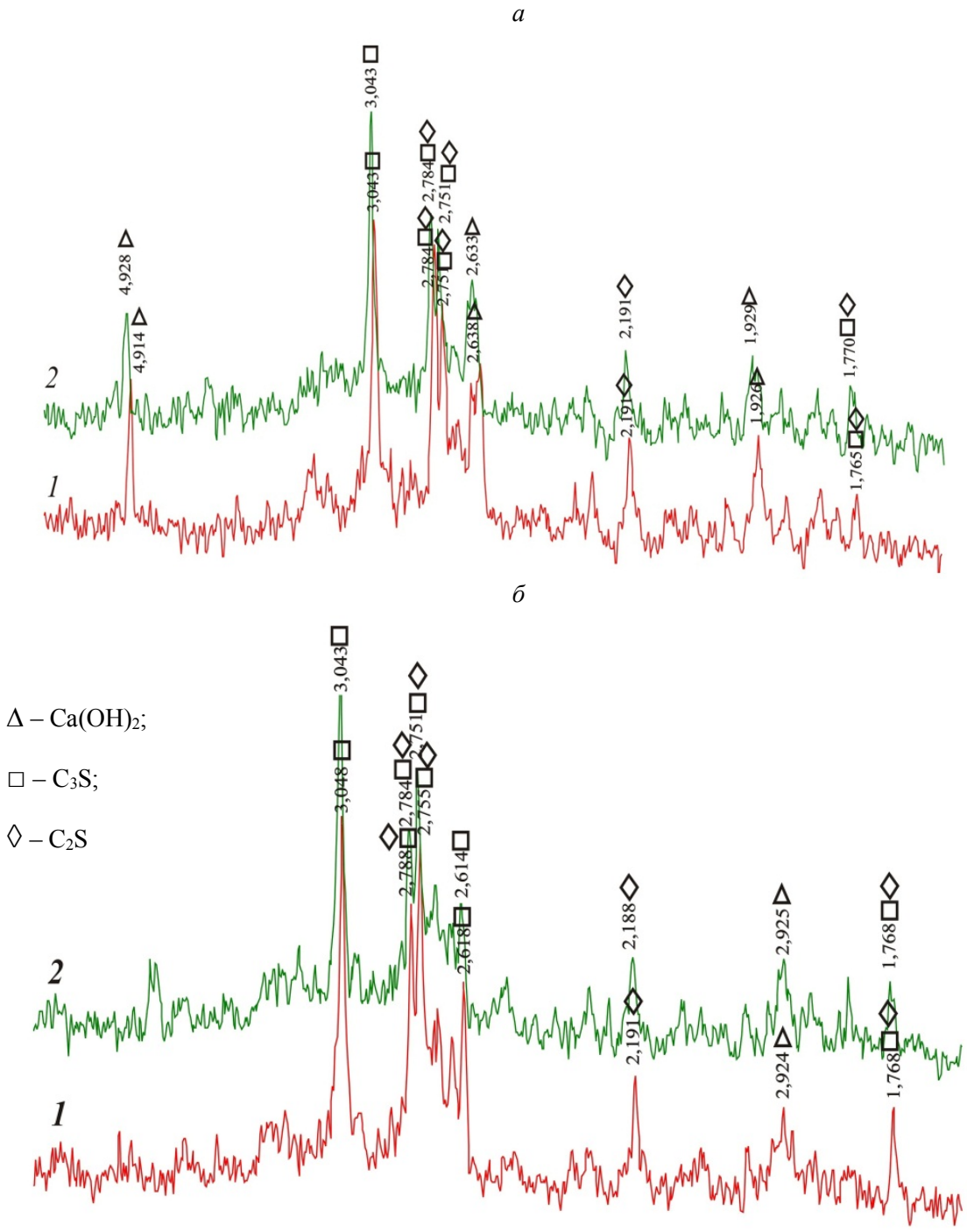


Рис. 2. Рентгенограммы образцов, выдержанных при температуре 200ºС (*а*) 550ºС (*б*):
1 – чистый цементный камень; 2 – цементный камень содержащий 12,5 % тонкомолотых ВОП

В тоже время микроструктура цементного камня состоит в основном из отдельных агрегатов, по виду напоминающих хлопья (рис. 3, *1б*). Отличительной особенностью таких образований является слабая контактная зона, предопределяющая низкую прочность композита.

Необходимо отметить, что вне зависимости от температуры воздействия, микроструктура чистого цементного камня, содержащего в своем составе ВОП, отличается большей плотностью и меньшим количеством трещин и пор (рис. 3, *2 а, б*).

Выводы. Основываясь на полученных результатах можно сделать вывод, что введение тонкомолотых вулканогенно-осадочных пород, благодаря комплексному влиянию на процессы структурообразования, способствует снижению негативных воздействий деструктивных процессов, вызванных температурным фактором.

Также, на основе ранее проведенных исследований, можно сделать предположение о том, что механизм действия глинистых частиц

ВОП в условиях повышенных температур будет проявляться и при твердении цементного камня в нормальных условиях.

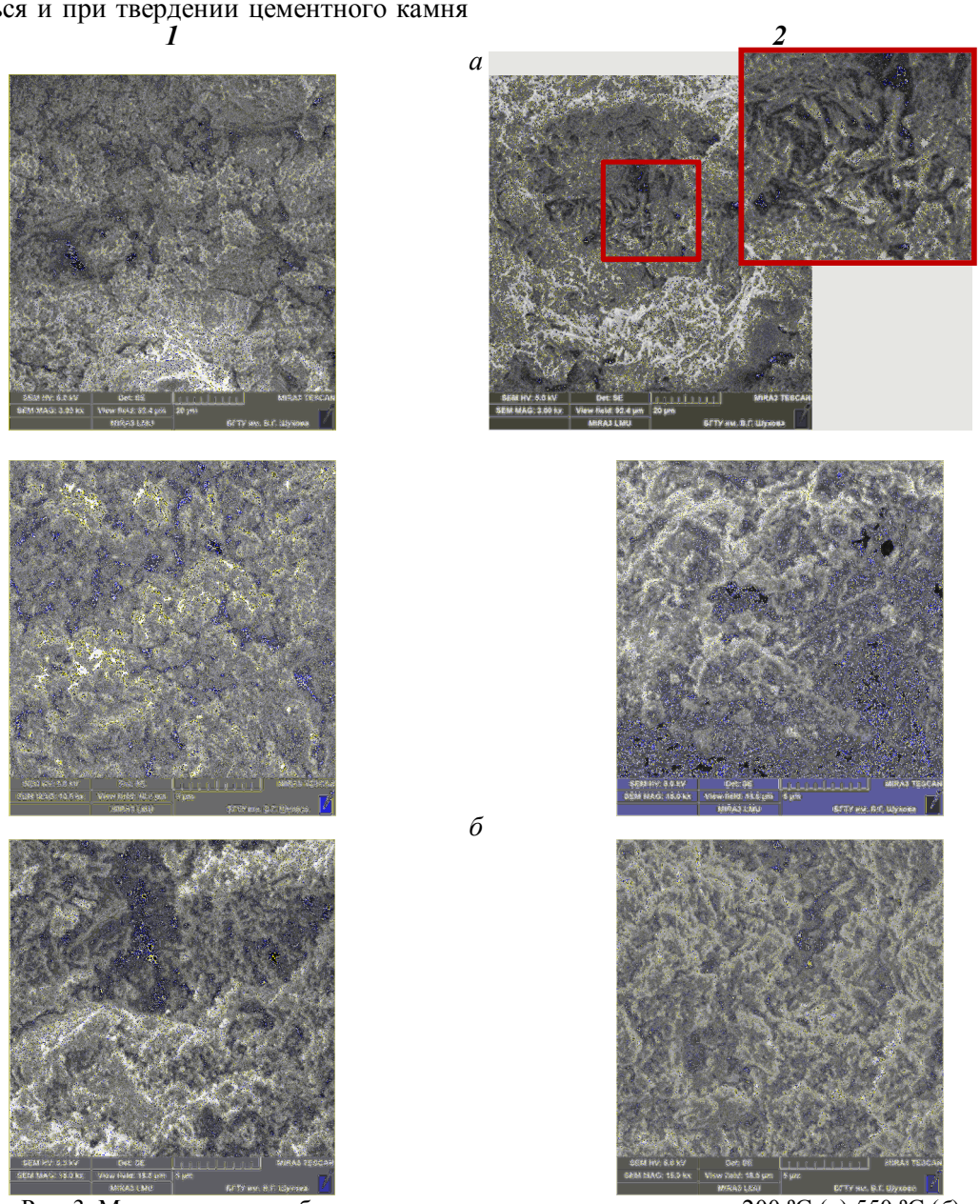


Рис. 3. Микроструктура образцов, выдержанных при температуре 200 ºС (*а*) 550 ºС (*б*):
1 – чистый цементный камень; 2 – цементный камень содержащий 12,5 % тонкомолотых ВОП

**Работа выполнена в рамках РФФИ: договор № 14-41-08002. «Теоретические основы проектирования и создания интеллектуальных композитов с заданными свойствами.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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

2. Сулейманова Л.А., Кара К.А. Газобетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства. Белгород, 2011. 150 с.

3. Володченко А.Н., Лесовик В.С., Алфимов С.И., Жуков Р.В., Гаранин В.К. Ячеистые бетоны с использованием попутнодобываемых пород Архангельской алмазоносной провинции // Известия вузов. Строительство. 2007. №2. С. 13–18.

4. Володченко А.Н., Лесовик В.С., Алфимов С.И., Жуков Р.В. Попутные продукты горнодобывающей промышленности в производстве строительных материалов // Современные наукоемкие технологии. 2005. № 10. С. 79–79.

5. Володченко А.Н. Автоклавные силикатные материалы на основе отходов горнодобывающей промышленности // Сборник научных трудов Sword. 2012. Т 47. №4. С. 29–32

6. Клюев С.В. Высококачественный фибробетон для монолитного строительства // Меж-

дународный научно-исследовательский журнал. 2014. Т. 11. Ч.2. С. 29–32.

7 Клюев С.В., Клюев А.В. Исследование физико-механических свойств композиционных вяжущих // Успехи современной науки. 2015. №1. С. 21–24.

8. Клюев С.В. Высокопрочный мелкозернистый фибробетон на техногенном сырье и композиционных вяжущих с использованием нанодисперсного порошка // Бетон и железобетон. 2014. №4. С. 14–16.

9. Клюев С.В. Высокопрочный сталефибробетон на техногенных песках КМА // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2013. № 11. С. 38–39.

10. Кара К.А. Газобетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства: автореф. ... канд. техн. наук. Белгород, 2011. 25 с.

11. . Клюев С.В., Клюев А.В. Техногенное сырье – эффективный заполнитель для фибробетонов // Успехи современной науки. 2015. № 1.

12. Кара К.А., Шорстов Р.А, Сулейманов К.А. Реология газобетонных смесей на композиционных вяжущих с использованием техногенных песков // Сб. докл. «Наукоемкие технологии инновации» XXI научные чтения. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014.

13. Клюев С.В. Разработка дисперсно-армированного мелкозернистого бетона на основе техногенного песка и композиционного вяжущего // Международный научно-исследовательский журнал. 2014. Т. 11. Ч.2. С. 27–29.

14. Лесовик Р.В., Клюев С.В., Клюев А.В., Нетребенко А.В. К проблеме использования техногенных песков Курской магнитной аномалии для производства мелкозернистого фибробетона и изделий на его основе // Промышленное и гражданское строительство. 2014. №12. С. 45–48.

15. Алфимова Н.И., Вишневская Я.Ю., Трунов П.В. Композиционные вяжущие и изделия с использованием техногенного сырья: монография. Saarbruken. Изд-во LAP LAMBERT. 2013. 129 с.

16. Елистраткин М.Ю., Минаков С.В. К вопросу выбора компонентов композиционных вяжущих. // В сборнике: Современные строительные материалы, технологии и конструкции. Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО "ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова". Изд-во Грозненский ГНТУ им. академика М.Д. Миллионщикова», г. Грозный. 2015. С. 365-370.

17. Вешнякова Л.А., Айзенштадт А.М., Елистраткин М.Ю. Поверхностная активность высокодисперсных кремнеземсодержащих компонентов композиционного вяжущего // В сборнике: Наукоемкие технологии и инновации Юбилейная Междунар. науч.-практ. конф., посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова (XXI научные чтения). 2014. С. 69-72.

18. Лесовик В.С., Куприна А.А., Елистраткин М.Ю., Гинзбург А.В. Композиционные вяжущие для эффективных строительных растворов: [Электронный ресурс] // Научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук, Баженова Юрия Михайловича. Белгород. 2015.

19. Минаков С.В., Елистраткин М.Ю. К вопросу выбора компонентов композиционных вяжущих // В сборнике: Современные строительные материалы, технологии и конструкции. Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО «ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова». Изд-во Грозненский ГНТУ им. академика М.Д. Миллионщикова», г. Грозный. 2015. С. 365-370.

19. Алфимова Н.И., Шаповалов Н.Н., Шадский Е.Е., Юракова Т.Г. Повышение эффективности использование продуктов вулканической деятельности // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. №5. С.11-15

20. Lesovik V.S., Ageeva M.S., Mahmoud Ibrahim Husni Shakarna, Allaham Yasser Seyfiddinovich, Belikov D. A. Efficient binding using composite tuffs of the Middle East // World Applied Sciences Journal. 2013. T24. №10. С. 1286–1290.

21. Алфимова Н.И., Строкова В.В., Навaретте Велос Ф.А. Мелкозернистые бетоны на основе вулканического сырья: монография. Германия: Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. 2014. 94 с.

22. Алфимова Н.И., Трунов П.В. Продукты вулканической деятельности как сырье для производства композиционных вяжущих // Сухие строительные смеси. 2012. №1. С 37–38.

Alfimova N.I., Lesovik V.S. Ageev M.S., Trunov P.V., Shadsky E.E.

EFFECT OF HIGH IMPACT STRENGTH MODIFIED CEMENT STONE

As is known in actual situations often occur, causing shortage of the liquid phase in the cement stone. This leads to slow the hydration process, and, in some cases, reduce the strength of the composite. In order to identify behavior from fine volcanic-sedimentary rocks of Kamchatka in the cement stone, the shortage of water was analyzed changes in strength of the samples aged at 200 ° C and 550ºS. Installed - modified cement paste samples have a smaller discharge strength, due to the complex influence of volcanic-sedimentary rocks on the structure formation processes, helping to reduce the negative impacts of destructive processes caused by the temperature factor.

***Key words**: volcano-sedimentary rocks and minerals, cement stone, strengt.*

Высоцкая М.А., канд. техн. наук, доц.,
Чевтаева Е.В., аспирант,
Ширяев А.О., студент
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ХОЛОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДОРОЖНО-РЕМОНТНЫХ РАБОТ*

roruri@rambler.ru

Проблема ремонта автомобильных дорог с использованием холодных технологий на сегодняшний день остается актуальной. Особенно остро она встает в те периоды, когда применение стандартных методов ремонта становится невозможным. В работе рассмотрена проблема ремонта асфальтобетонного покрытия автомобильных дорог холодными ремонтными смесями разных производителей, изучены свойства образцов холодного асфальтобетона, а также выполнен сравнительный анализ показателей свойств образцов-кернов из покрытия с образцами, изготовленными в лабораторных условиях. Установлено, что при использовании холодных ремонтных смесей необходимо аккуратно подходить к их выбору.

Ключевые слова: *холодный асфальтобетон, асфальтобетонное покрытие, автомобильная дорога, слеживаемость, водонасыщение.*

Введение. На сегодняшний день в отрасли существует значительное количество разработок [1, 2], направленных на повышение качества покрытий автомобильных дорог. Однако, актуальной проблемой для дорожников остается ликвидация ям и выбоин на дорогах с асфальтобетонным покрытием в конце зимы и ранней весной, когда применение известных способов ликвидации дефектов покрытия, таких как обратная пропитка, засыпка крупным щебнем, а в ряде случаев и заделка кирпичом, не только малоэффективны, но и не безопасны для участников движения. Поэтому в последние годы для проведения зимнего и аварийного ямочного ремонта все шире используются холодные асфальтобетонные смеси, преимущества которых уже оценили дорожники по всему миру [3…7]. Этот материал открывает уникальные возможности перед предприятиями, которые специализируются на выпуске дорожно-строительной продукции и обслуживании дорог. В связи с перспективностью использования данного материала при выполнении ремонтных работ, на рынке Российской Федерации активно действует ряд производителей холодного асфальтобетона.

Не зависимо от способа приготовления и производителя холодных асфальтобетонных смесей, они должна быть удобообрабатываемы, «живучи», т.е. не комковаться и не слеживаться, оставаться длительное время рыхлыми и обладать надлежащей подвижностью. Особенностью холодного асфальта является то, что он может находиться в рыхлом состоянии длительное время в зависимости от условий и температуры хранения, а так же состава смеси. Преимущества холодных технологий заключаются в отсутствии необходимости делать предварительную подготовку перед их применением. Такие смеси с температурой не ниже +5°С возможно укладывать при минусовой температуре окружающего воздуха. В зависимости от условий укладки смеси разделяются на два типа:

- тип I – для укладки при температуре окружающего воздуха выше +5 °С;
- тип II – для укладки при температуре окружающего воздуха от +5 °С до –25 °С [8].

Смеси разных типов отличаются составом органического вяжущего, его вязкостью или плотностью, которые определяют время структурообразования при различных температурах.

Если говорить о химическом составе холодного асфальта то его основа – модифицированная асфальтобетонная смесь с полимерными и многочисленными морозоустойчивыми добавками, а также различными пластификаторами, позволяющими осуществлять ямочный ремонт на влажном покрытии, а также в холодную погоду (при температуре от –25 °С до +49 °С). Своё второе рождение технологии приготовления холодных асфальтобетонных смесей получили благодаря новой технологии исследования вязкости полимеров.

Методология. Для того чтобы проанализировать холодные асфальтобетонные смеси и оценить эффективность их физико-механических свойств, были приняты образцы, следующих производителей:

- Образец №1 – производитель ЗАО «АБЗ МАГИСТРАЛЬ».
- Образец №2 – производитель ОАО «Асфальтобетонный завод №1».
- Образец № 3 – производитель ООО «Авто-Альянс»

Так как холодные асфальтобетонные смеси довольно сложные для уплотнения, при постановке эксперимента было принято решение об укладке исследуемых смесей в покрытие и отборе кернов из него для изучения эффективности

работы смесей различных производителей. Для этого был выполнен ямочный ремонт асфальтобетонного покрытия.

Механическая прочность холодного асфальтобетона достигается главным образом значительным внутренним трением всей смеси. По мере уплотнения прочность композита нарастает, чему способствует повышение вязкости вяжущего в результате его окисления кислородом, который постепенно разрушает защитную пленку полимера на битумном вяжущем и испарение летучих фракций как битума, так и его разжижителя.

Общая последовательность ремонта выполнялась в строгом соответствии с рекомендациями производителя. Смесь укатывалась гладковальцевым катком массой 10 т (8 проходов по следу). Из сформированного покрытия через 30 дней после укатки отбирались образцы-керны высотой и диаметром 10 см. В течение этого времени происходило доуплотнение материала под действием автотранспорта. Параллельно, в лабораторных условиях изготавливались контрольные образцы 7,5×7,5 см [9].

Основная часть. После ряда испытаний, были получены следующие результаты. В табл. 1 и на рис. 1…3 представлены свойства исследуемых образцов холодного асфальтобетона.

Таблица 1

Показатели свойств образцов холодного асфальтобетона

Условия проведения испытания		Показатели свойств						Требования ГОСТ	
		образцы-керны из покрытия (I)			стандартные образцы (II)				
		№ серии образцов			№ серии образцов				
		1	2	3	1	2	3	I	II
Предел прочности при сжатии, t=20°C	до прогрева: сухих водонсыщенных	1,96 0,80	1,0 0,95	1,12 0,90	2,63 1,19	1,10 0,97	1,58 1,03	-	1,5 1,1
	после прогрева: сухих водонасыщенных	1,23 1,18	0,73 0,45	1,30 1,17	1,85 1,70	0,85 0,70	1,87 1,61	-	1,8 1,6
Средняя плотность		2310	2228	2284	2378	2361	2361	-	-

Холодный асфальтобетон непростой технологически, поэтому очевидно, что образцы, приготовленные в лаборатории, могут иметь несколько иные показатели свойств. И в первую очередь, по показателям водонасыщения (рис. 1) и средней плотности по сравнению с композитом, уложенным в покрытие.

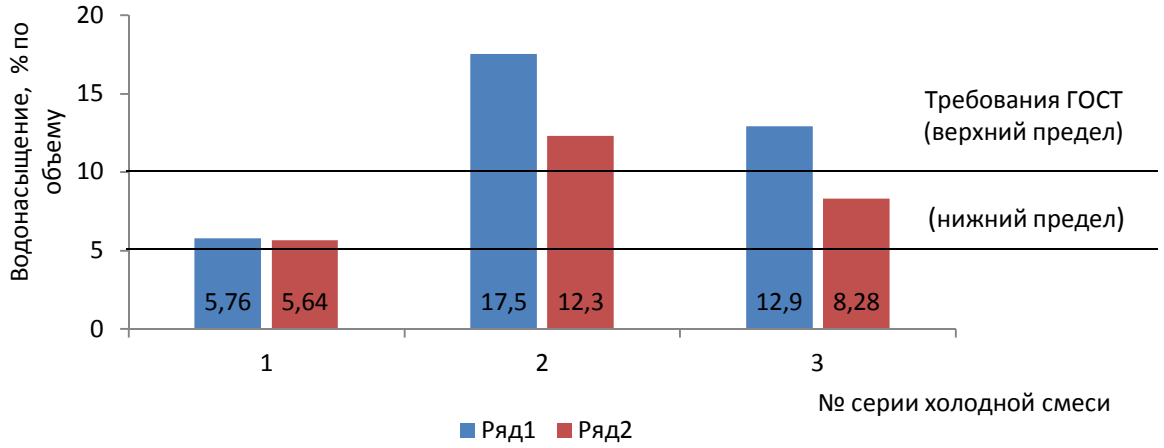


Рис. 1. Водонасыщение образцов холодного асфальтобетона

Водонасыщение – важный показатель, который определяет долговечность работы холодного ремонтного материала. Так как укладка происходит в осенне-зимний период, характеризующийся избыточным переувлажнением и переходом температур через 0 °С, то сложно ожидать высокой работоспособности покрытия при использовании смесей №2 и №3 (рис. 1).

При оценке свойств образцов-кернов можно сказать следующее: образцы №2 и №3, характеризуются высоким показателем водонасыщения и низким показателем средней плотности. Наиболее эффективно в покрытии зарекомендо-

вала себя смесь №1, показатель водонасыщения которой соответствует требуемым величинам [10].

Коэффициент уплотнения, согласно [11] и в соответствии с рис. 2 можно считать достигнутым у образцов-кернов №1 и №3. У образца №2 все показатели далеки от нормативных требований.

Особое внимание следует уделить показателю слеживаемости (рис. 3).

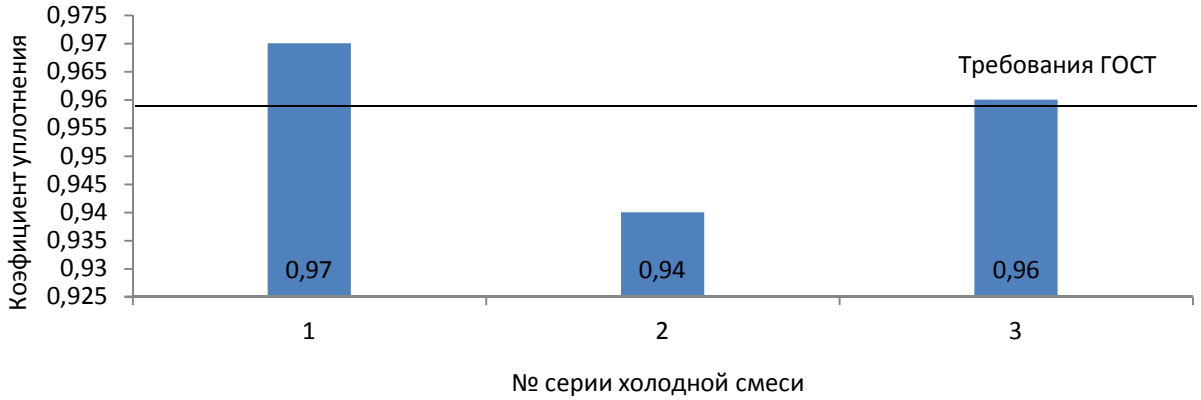


Рис. 2. Коэффициент уплотнения холодного асфальтобетона в покрытии

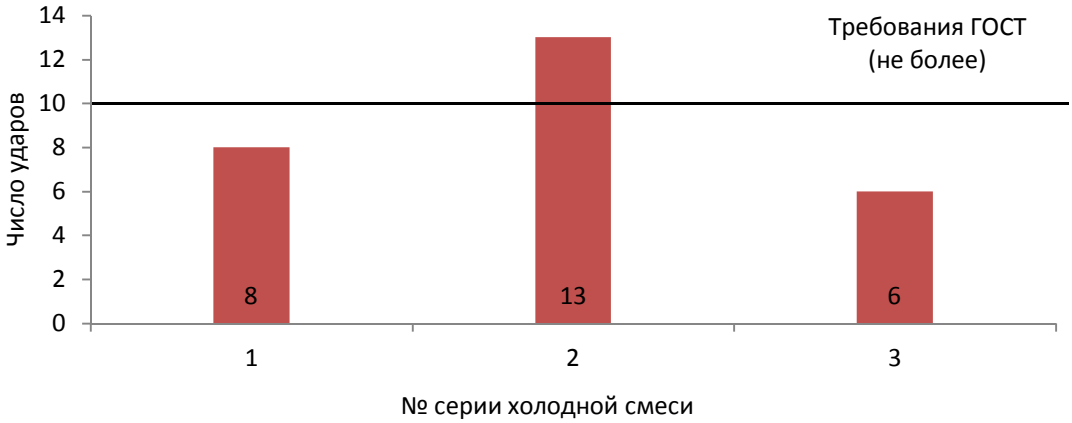


Рис. 3. Слеживаемость холодного асфальтобетона

Стоит отметить, что нельзя допускать жирных смесей с высоким содержанием вяжущего и малым содержанием пылеватых фракций. Такие смеси будут слеживаться и трудно обрабатываться, поэтому обязательным элементом, без которого не обойтись при производстве холодного асфальта, является добавка. Ее масса обычно достигает 25…35 % от общей массы битума. Добавка делает холодный асфальт более прочным, а также способствует длительному сохранению его полезных свойств, таких как высокий предел прочности на сжатие, водостойкость, низкое водонасыщение и малая слеживаемость.

Под слеживаемостью холодных асфальтобетонных смесей понимается их способность к самопроизвольному образованию сравнительно прочных связей между частицами или их агрегатами в процессе хранения и транспортирования. Наибольшее влияние на увеличение этого параметра оказывает как вязкость применяемых вяжущих, так и их содержание. При увеличении процентного содержания вяжущего происходит резкое возрастание слеживаемости.

Так, анализируя рис. 3, можно сделать вывод о том, что, скорее всего, в серии образцов №2 и №3 не были выдержаны вязкость вяжущего и его содержание.

На основе проведенных исследований можно заключить: стандартные образцы серии №1, приготовленные и изученные в лабораторных условиях можно считать выдержавшими испытания по всем показателям. Образцы №2 и №3, также как, и образцы-керны из покрытия показали неудовлетворительные результаты.

Показатели водонасыщения сохраняют свою закономерность, с отклонениями в значениях, как при определении испытаний стандартных образцов, так и кернов из покрытия. При работе с образцами смесей №2 и №3 наблюдались: неоднородность проб и неполное покрытие зерен минеральной части вяжущим. Возможно, показатель водонасыщения снижен по

этим причинам. Образцы серии №1 были однородные и более технологичные.

Необходимо отметить закономерность – смеси, из которых готовились лабораторные образцы, и показали низкое качество, при укладке их в покрытие также зарекомендовали себя как не эффективные.

Выводы. Стоит отметить, что в последние годы вопросам экологичности строительных материалов уделяется все большее внимание. Поскольку для приготовления и укладки холодных битумных смесей требуются значительно меньшие температуры, по сравнению с традиционным асфальтом, то производство данных смесей для устройства автодорожных и аэродромных покрытий является более экологичным и экономичным [12, 13]. Более того, при соблюдении всех условий приготовления и хранения, их срок годности практически неограничен, перед укладкой нужно только удалить возникшую за время хранения корку [14]. Очевидно, что на качество смесей значительное влияние оказали используемые для их приготовления вяжущие и добавки. Так для приготовления смесей №1 в качестве вяжущего использовалась сложная композиция, состоящая из гелеобразующей добавки, битума, дизельного топлива и двух добавок: БАГ и БАП-ДС-3. Серия холодного асфальтобетона №2 содержала инновационную химическую добавку EVOTHERM J1, а состав № 3 включал в себя МАК-битум, который представляет вяжущее с добавкой, переводящей его в гелевое состояние. При этом, гранулометрический состав рассматриваемых смесей имел незначительные отличия. Таким образом, качество вяжущего, является определяющим фактором при приготовлении холодных асфальтобетонных смесей.

Смесь холодного асфальта предоставляет возможность ремонтировать дороги независимо от времени года, является эффективным и экономически выгодным средством для своевременного ремонта, имеющим широкую сферу применения, главной из которых является ремонт автомобильных дорог и территорий аэропортов и аэродромов [15,16]. Как видно из выполненных исследований холодного асфальтобетона, только одна смесь соответствует требованиям и может эффективно использоваться для дорожно-ремонтных работ. Поэтому использовать этот материал надо грамотно и аккуратно, точно так же, как и подходить к его выбору.

**Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ №1950 и Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова на 2012…2016 годы.*

БИБЛИГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лукаш Е. А., Кузнецов Д. А., Бабанин М. В. Эффективные асфальтобетонные смеси с использованием модифицированных наполнителей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №6. С. 57-60.

2. Высоцкая М. А., Фёдоров М. Ю. Разработка наномодифицированного наполнителя для асфальтобетонных смесей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №6. С. 61-65.

3. Yu Zu-jun., J. Guizhou Uniu. «Холодные смеси» // Technology Nature Scince Education. 2007. №5. С. 89-91.

4. Ossola Marie-Francoise. «Низкотемпературные асфальтобетонные смеси» // Revlong general routes. 2006. №845. С. 14-16.

5. Onfield Jean-Noël. «Новый битум» // Route actual. 2008. № 172. 31 с.

6. Onfield Jean-Noël. «Холодная битумная смесь» // Route actual. 2011. № 196. 29 С.

7. Марышев Б. С., Кульжев В. П. Холодный МАК-асфальт // Строительные технологии и техника. 2006. №5. С. 92-93.

8. Сайт компании ИНДОРТЕХ. Холодный ресурс [Электронный ресурс]. URL: http://www.razmetka.biz/Холодный асфальт (дата обращения: 8.03.2015).

9. ГОСТ 12801-98. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний. Введ. 01.01.1999. М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов 1998. 13 с.

10. ГОСТ 9128-2013. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия. Введ. 01.01.2011. М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов 2011. 39 с.

11. СП78.13330.2012. Свод правил. Автомобильные дороги. Введ. 01.07.2013 г. М.: Минрегион России: Изд-во Росстандарт 2012.

12. Schweiz «Низкотемпературный асфальтобетон // Bauschtift Industrial. 2012. 44. №3. С. 37-38.

13. Сайт группы компаний Мегавес. Холодный асфальт [Электронный ресурс]. URL: http://www.coldbitumen.ru (дата обращения: 01.02.2015).

14. Сайт компании ООО «ИНТЕРРА». Холодный асфальт Asphacold [Электронный ресурс]. URL: http://www.asphacold.ru/html/produkciya/asphacold.php (дата обращения: 22.02.2015).

15. Al-Busaltan Shakir, Al Nagein Hassan, Atherton William, Sharples George. «Новые холодные битумные смеси» // Construction and Buildung Materials. 2012. №4. С. 243-250.

16. Сайт компании ООО «NovTecAs». Холодный асфальт – удобная укладка в любое время года [Электронный ресурс]. URL: http://www.novtecas.ru/producty/holodnyj-asfalt (дата обращения: 12.03.2015).

Vvsotskava M.A.. Chevtaeva E.V.. Shirvaev A.O.

COLD TECHNOLOGY OF ROAD REPAIRS

The problem of repair of roads using cold technology today remains relevant. She gets particularly acute in those periods when the application of standard methods of repair becomes impossible. The paper considers the problem of repair of asphalt covering of roads cold repair compounds from different manufacturers, the study of properties of samples of cold asphalt mixtures and a comparative analysis of performance properties of samples of cores from the coating to the samples made in the laboratory. Found that when using a cold mortar must be carefully about their choices.

Key words: *cold asphalt, asphalt pavement, road, caking, water saturation.*

Даниленко Е.П., доц.,
Калачук Т.Г., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Королёв А.С., начальник отдела
Управление архитектуры и градостроительства администрации города Белгорода

СТРАТЕГИЧЕСКИЙ МАСТЕР-ПЛАН СОЗДАНИЯ МУЛЬТИПАРКА БЕЛГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

danilenko_ep@mail.ru

Поймы рек Северского Донца и Белгородского водохранилища в черте города Белгород могут послужить эффективному формированию рекреационной зоны. В урочище «Сосновка» с прилегающими территориями имеются предпосылки для оптимизации рекреационной зоны посредством устойчивого развития и наращивания дополнительных функций. В статье рассматриваются основные стратегии развития урочища «Сосновка» как всесезонной рекреационной зоны регионального значения.

***Ключевые слова**: мастер-план, агломерация, инфраструктура, инженерное обустройство территории, стратегия развития территории, рекреационная зона.*

Введение. Главной задачей управления земельными ресурсами населённых пунктов и в целом муниципальных образований является эффективное использование земель. К числу задач органов местного самоуправления относятся разработка и принятие законодательных актов и муниципальных норм и правил использования городских земель, а совершенствование землепользования, благоустройство и озеленение территории, улучшение экологии населённых пунктов. Эти мероприятия реализуются различными методами, одним из которых является стратегический Мастер-план. **Цель мастер-плана по развитию территории урочища «Сосновка» города Белгород – создать мультифункциональную всесезонную рекреационную зону сохранив при этом естественный природный ландшафт территории.**

Методология. Стратегические мастер-планы рисуют образ желаемого будущего, и намечают пути его достижения – дают возможность расставить приоритеты и понять, как распределить ресурсы. Наряду с городской властью в работу над мастер-планом вовлекаются жители, бизнесмены, эксперты. В процессе сбора идей, обсуждения актуальной повестки и различных подходов к развитию формируется общее видение, как управлять изучаемой территорией, в каком направлении она должна развиваться и какой должна стать. Стратегический документ оказывается не только инструментом планирования, но и инструментом коммуникации.

Основные задачи разработки мастер-плана:

– оценка рекреационного потенциала территории;

– выявление существующих и планируемых зон отдыха с определением перспектив их развития;

– выявление особенностей развития аналогичных территорий и факторов их успешности;

– выявление новаторских идей в создании рекреационных зон подобного масштаба;

– генерация предложений по комплексному долгосрочному развитию рекреационной зоны и обеспечение возможностей улучшения экологической ситуации в городе.

Мастер-план направлен на улучшение имиджа территории и повышение её привлекательности для жителей и гостей города; обеспечение сбалансированного развития территории, в качестве рекреационной зоны регионального значения; обеспечение территории эффективной транспортной, туристической, развлекательной инфраструктурой; улучшению экологической ситуации, восстановление естественной флоры и фауны.

Основная часть. Белгородская агломерация размещена на оси природного каркаса межрегионального и регионального уровня – реки Северский Донец с притоками и Белгородского водохранилища, поэтому рекреационная функция города реализуется посредством формирования общественно-рекреационных зон, зон отдыха и туризма вдоль пойменных территорий реки Северский Донец, водохранилища и вокруг города.

Поймы реки Северский Донец и Белгородского водохранилища могут послужить эффективному формированию рекреационной зоны по меньшей мере агломерационного значения. Здесь есть предпосылки для оптимизации и увеличения разнообразия флоры и фауны посредством устойчивого развития и наращивания дополнительных функций.

Развитие этой территории необходимо рассматривать в разрезе дополнения существующих объектов, расширения срока использования, повышения уровня доступности и узнаваемости территории. То есть формировать рекреационные кластеры с развитой транспортной, туристической и развлекательной и спортивной инфраструктурой. Рекреационные зоны, сформированные на землях общего пользования, расчленяют территорию города на планировочные части. При этом должны соблюдаться соразмерность застроенных территорий и открытых незастроенных пространств и обеспечиваться удобный доступ к рекреационным зонам.

Оптимальным местом для размещения вышеуказанных рекреационных функций является природная зона на базе урочища «Сосновка» (далее «Мультипарк») с прилегающими территориями на общей площади 1 230,5 га (рис. 1).

Урочище «Сосновка» является наиболее крупной рекреационной зоной города Белгорода и Белгородской агломерации. Территория представляет собой сосновый бор искусственного происхождения, занимающий надпойменную песчаную террасу левобережья Северского Донца, 92 % территории покрыто лесом. Территория Урочища «Сосновка» входит в перечень ООПТ регионального значения.

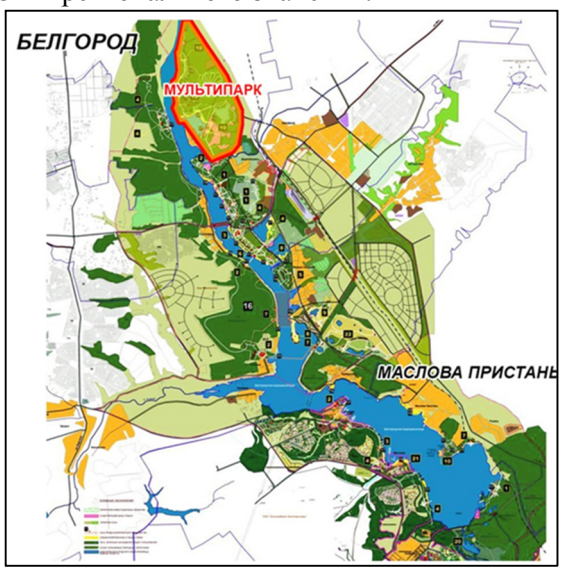


Рис. 1. Планируемая территория Мультипарка в урочище «Сосновка»

Преимуществами размещения Мультипарка на данной территории являются:

– нахождение территории в черте города, что позволяет организовать беспрепятственный доступ населения не только на личном автомобиле, но и на общественном транспорте;

– расположение на берегу водного зеркала реки Северский Донец;

– участок свободен от застройки, что позволяет значительно расширить возможности планировочного решения данной территории.

Говоря о Мультипарке, как о рекреационной зоне агломерационного значения, необходимо проанализировать транспортную доступность территории Мультипарка внутри агломерации. В зону 40-минутной транспортной доступности попадает вся территория белгородской агломерации по следующим направлениям: Разуменское, Никольское, Новосадовское, Стрелецкое и Северное.

Что касается доступности Мультипарка внутри города, то расстояние от центрального района и района Харьковской горы составляет 7 км, что во временном выражении составляет:

– автомобиль – 10 минут;

– общественный транспорт – 20 минут;

– велосипед – 30 минут;

– пешеход – 60 минут.

Существующая территория Мультипарка имеет свободные территории для потенциального развития объектов рекреационной инфраструктуры. В том числе участки земли, являющиеся муниципальной собственностью.

Площадь планируемой территории Мультипарка, расположенная на левом берегу реки Северский Донец, составляет 1230,5 га, в том числе 38 предоставленных земельных участков (177,65 га) и 1052,85 га – свободные земли. На свободных землях в областной собственности находится 412 га (отнесенные к ООПТ). В ведении города Белгорода (не разграниченная государственная собственность) находится 640,85 га**.** Площадь земельных участков, планируемых для развития данной рекреационной зоны, составляет 308, 4 га.

На территории урочища «Сосновка» в настоящее время возможно выделить основные зоны, включающие следующие инфраструктурные объекты (табл. 1).

В качестве аналогов развития территории рассматривались как российские, так и зарубежные рекреационные зоны и парки. Детально проанализированы рекреационные зоны наиболее сопоставимые по определенным критериям: размеру, удаленности от городского центра и близлежащих поселений агломерации, ландшафту, наличию пойменных территорий и водной глади. Проанализированы следующие зарубежные рекреационные зоны и парки: Гайд-парк в г. Лондон (Великобритания), Хайде-парк в г. Зольтау (Германия), Озеро Гарда (Италия), Центральный парк г. Гамбург (Германия), Королевский ботанический сад в г. Мельбурн (Австралия), Рекреационная зона «Аттерзее» (Австрия). Основные виды досуга на данных территориях –

трекинг, яхтинг, кулинарный туризм, рыбная ловля, велосипедные прогулки, пешеходные прогулки, занятие активными видами спорта, отдых и развлечения для детей, прогулки по реке, культурно-массовые мероприятия, фестивали. Зимой – катание на лыжах, занятия зимними видами спорта.

Таблица 1

Инфраструктурные объекты Урочища «Сосновка»

Туристическая инфраструктура	Гостиницы	- гостиничный комплекс «Веретено» (0,073 га); - парк-отель «Европа» (2 га).
	Детские санатории и базы отдыха	- детский оздоровительный лагерь им. Ю.А. Гагарина (3,8 га); - детский оздоровительный лагерь «Юность» (8,2 га); - санаторий для детей с родителями (7,7 га); - детский оздоровительный лагерь «Сокол» (5,3 га); - детский оздоровительный лагерь «Сосновый бор» (3 га); - оздоровительный лагерь «Липки» (6 га); - база отдыха «Связист» (2,3 га); - оздоровительный комплекс УМВД России (7 га); - оздоровительный комплекс УФСБ России (3 га).
	Объекты здравоохранения	- ГУЗ «Облтубдиспансер» (2,5 га); - Противотуберкулезный диспансер (5,3 га).
Спортивная инфраструктура	- велосипедная трасса «Олимпия 1», протяженностью 5 км (9,2 га); - фитнес-клуб «Платинум Жим» (0,75 га); - волейбольный клуб «Белогорье» (2,2 га); - ФОК «Белгородский хладокомбинат» (1 га).	
Инфраструктура отдыха и развлечений	пляжные зоны «Белогорье», «Лазурный» и «Пикник-парк», составе которого имеются зона пикникового отдыха, веревочный парк, ледовый каток	
Инфраструктура общественного питания и обслуживания	рестораны «Веретено», «Белогорье», «Шишка»; кафе и летние веранды	
Транспортная инфраструктура	- магистральная дорога общегородского значения – ул. Волчанская; - дороги местного значения – ул. Песчаная, ул. Донецкая; - велосипедные трассы «Олимпия 1» и «Олимпия 2»; - сеть пешеходных тропинок, образованных естественным путём.	

Также проанализированы российские рекреационные зоны и парки: рекреационная зона «Мневниковская пойма» (г. Москва), Парк «Алые паруса» (г. Воронеж), Пойменные территории г. Рязани, развивающиеся как многофункциональные рекреационные зоны.

Сравнение территории Мультипарка с аналогами показывает, насколько важны для восприятия туристами живописные виды и связь водного объекта с окружающей средой. Туристов привлекает красота ландшафта и близость к дикой природе. Небольшим рекреационным зонам и паркам свойственен тихий, умиротворяющий отдых, однако на их территории, также проводят различные фестивали и иные события. На всех исследуемых объектах, как российских, так и зарубежных, проводится не менее 1 значительного фестиваля.

Что касается туристической инфраструктуры, то на рассматриваемых территориях-аналогах она представлены значительно шире, чем на территории планируемого Мультипарка. Количество гостиниц, отелей, кемпингов на территориях–аналогах существенно выше, на большинстве рассматриваемых территорий они расположены по всему берегу водного объекта, что позволяет равномерно распределить туристов и использовать больше удачных видовых мест. В настоящее время на территории урочища «Сосновка» расположены 4 гостиницы, преимущественно вдоль автодороги ул. Волчанская.

Анализ социальных медиа показывает, что наибольшую активность пользователи рекреационной зоны урочища «Сосновка» концентрируют в районе трассы ул. Волчанская и хаотично вдоль прибрежной территории Белгородского водохранилища. Преимущественно, пользователи размещают фотографии живописных мест Белгородского водохранилища в разное время года. На территории рекреационных зон, расположенных в Европе, такая активность сконцентрирована в местах туристической инфраструктуры – гостиницах, парках развлечений, спортивных сооружений и т.д. На территории урочища «Сосновка» и прибрежной территории Белгородского водохранилища подобные концентрации или «точки притяжения» не выявлены.

Также немаловажно удобное сервисное наполнение рекреационной территории. На мно-

гих территориях рекреационных зон действуют единые билеты (Bath Card), с помощью которых можно получить доступ ко всем услугам и развлечениям на определенной территории или на всей рекреационной зоне. Немаловажной составляющей является наличие точек доступа wi-fi в общественных пространствах и наиболее посещаемых объектах - точках притяжения. Многие известные рекреационные зоны разработали свои приложения для IOS или Android, где особые группы туристов, например рыбаки, делятся информацией о «рыбных местах» в своих приложениях. Подобный положительный опыт уже внедрен в московских парках, свои приложения есть у «топовых» парков: парк Горького и парк «Сокольники».

Рис. 2. Развитие территории Мультипарка

Таблица 2

Планируемые объекты инфраструктуры Мультипарка

Туристическая инфраструктура	гостиницы; кемпинг; пансионат; площадки для стоянки автодомов
Спортивная инфраструктура	велосипедные трассы; лыже-ройлерные трассы; горнолыжная трасса; инфраструктура для занятия триатлоном; гребной канал; центр водных видов спорта; гольф-клуб; теннисные корты; спортивные площадки для игры в волейбол, баскетбол, мини-футбол; открытые тренажерные залы.
Инфраструктура отдыха и развлечений	тропиночная сеть; Парк дикой природы; Пикник – парк; лодочные станции; яхт-клуб; площадки для проведения фестивалей и крупных событий; аквапарк; веревочный парк; скалодром; Центр «Планета детей».
Инфраструктура общественного питания и обслуживания	рестораны; кафе и летние веранды; детские кафе
Транспортная инфраструктура	- сеть подъездных автомобильных дорог и парковок, для обеспечения возможности подъезда к различным объектам личного и общественного транспорта; - сеть пешеходных и велосипедных дорожек для обеспечения пешеходной и велосипедной доступности проектируемых объектов; - канатная дорога, которая свяжет район Харьковской Горы с Мультипарком. Объект будет выполнять не только транспортную функцию, но и являться своеобразной визитной карточкой, имиджевым и развлекательным объектом для посетителей; - водное такси, которое свяжет наиболее привлекательные объекты расположенные вдоль берега Белгородского водохранилища: яхтклуб, причалы, центр водных видов спорта, детский городок, веревочный парк, Пикник-парк; - детская железная дорога, которая обеспечит логистику между различными зонами парка и Центра «Планета детей» и в тоже время будет носить развлекательную функцию для детей.

Если рассматривать Мультипарк как рекреационную зону регионального масштаба, то, безусловно, такой опыт будет оказывать положительное воздействие на позиционирование территории и приток отдыхающих. Анализ инфраструктуры аналогичных рекреационных зон показывает необходимость создания дополнительных точек притяжения и важность расширения инфраструктурных объектов туристической, спортивной, развлекательной направленности.

Предлагается дополнить инфраструктуру следующими объектами по направлениям (табл. 2). Анализ территории Мультипарка на предмет спортивной специализации выявил воз-

можность развития территории, как базовой площадки для развития массового направления Триатлона. Триатлон – вид спорта, включающий в себя три вида спортивных состязаний: плавание в открытой воде, велогонку и бег (стандартная «Олимпийская дистанция» включает в себя: плавание 1,5 км / велогонка 40 км / бег 10 км). Оценка рекреационного потенциала территории позволяет говорить о наличии необходимых природных составляющих: водного канала, экологически чистой среды, большой площади территории для организации необходимой инфраструктуры; а также о наличии части инфраструктурных элементов: развитой велосипедной инфраструктуры с трассами Олимпия-1 и Олимпия-2, развитой сети пешеходных и беговых дорожек – для развития массового направления триатлона в летний период и возможности организации крупных региональных и федеральных спортивных мероприятий. Общая протяженность существующих велосипедных дорожек на территории Мультипарка составляет 8,3 км: «Олимпия 1» – 5 км, «Олимпия 2» – 3,3 км. Расстояние между трассами составляет 2 км.

Участок водохранилища, предполагаемый под развития гребного канала составляет 2 км, что оптимально вписывается в необходимую инфраструктуру для проведения соревнований в формате «Олимпийской дистанции» (1,5 км). Подобная спортивная специализация, наряду с другими функциями территории, позволит сбалансировано развивать бренд Мультипарка и транслировать его преимущества для привлечения новых туристов. Анализ других рекреационных зон показывает высокую имиджевую составляющую подобных объектов, позиционируемых в качестве визитной карточки территории рекреационной зоны и города в целом.

Выводы. Предложенные стратегии развития, базирующиеся на существующих природных и инфраструктурных преимуществах территории урочища «Сосновка», позволят вовлечь в хозяйственную деятельность более 1200 га территории, создав при этом всесезонную рекреационную зону регионального значения с развитой туристической, спортивной, развлекательной инфраструктурой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Генеральный план города Белгорода. – ФГУП РосНИПИ Урбанистики. г. Санкт-Петербург. 2006.

2. Даниленко, Е. П. Управление городскими территориями. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. 115 с.

3. Исследование «The strategic master plan as a tool for managing the future». – Институт медиа, архитектуры и дизайна «Стрелка». Москва. 2014.

4. Кафтаева, М. В., Калачук, Т. Г., Шарапов, О.Н. Инженерное обустройство территории. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 136 с.

5. Концепция развития транспорта города Белгорода и пригородной зоны. – Научно-проектный институт «БЕЛНИИПГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА». 2010.

6. О территориях рекреационного назначения: Постановление правительства Белгородской области от 02.06.2008 г. № 135-пп. [электронный ресурс] // Режим доступа: http://beladm.ru.

Korolev A. S., Danilenko E.P., Kalachuk T.G.

STRATEGIC MASTER PLAN FOR THE ESTABLISHMENT MULTIPARK OF BELGOROD AGGLOMERATION

Seversky Donets river floodplains and water reservoir in of the Belgorod Belgorod city may provide an effective formation of recreation zone. In the tract «Sosnovka» with surrounding territories are the prerequisites for optimizing the recreation area through sustainable development and increase of additional functions. This article discusses the basic development strategy Tracts «Sosnovka» as an all-season recreational area of regional significance.

***Key words**: master plan, agglomeration, infrastructure, engineering development of the territory, the strategy of development of the area, recreation area.*

Ядыкина В.В., д-р техн. наук, проф.,
Гридчин А.М., д-р техн. наук, проф.,
Траутваин А.И., канд. техн. наук, доц.,
Вербкин В.И. аспирант
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПОЛИМЕРОВ И ПЛАСТИФИКАТОРОВ НА СВОЙСТВА БИТУМА БНД 60/90 И АСФАЛЬТОБЕТОНА НА ЕГО ОСНОВЕ

verbkin.val@yandex.ru

В данной статье приведены результаты исследований влияния различных полимеров и пластификаторов на свойства битума и асфальтобетона для устройства верхнего слоя покрытия. Испытания образцов органического вяжущего проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 22245-90, ГОСТ Р 52056-2003, щебеночно-мастичного асфальтобетона – ГОСТ 31015-2002.

Ключевые слова: *битум БНД 60/90, щебеночно-мастичный асфальтобетон, индустриальное масло И-20, стеариновая кислота Т-18, дивинилстерольный термоэластопласт ДСТ-30-01, эпоксидная смола ЭД-20, полимерно-битумное вяжущее.*

В последние время ситуация на дорогах претерпела существенные изменения. Резко увеличился транспортный поток, возросли осевые и скоростные нагрузки на дорожное полотно. Дороги, спроектированные и построенные задолго до начала этих изменений, под действием новых эксплуатационных факторов стали разрушаться заметно быстрее. Ускорилось трещинообразование и снизилась сдвигоустойчивость покрытий, появилась «волна» в зонах торможения и разгона, а также на подъемах и спусках. Вошло в обиход и новое понятие «колееобразование», применимое ранее для дорог без асфальтобетонных покрытий [1, 2].

Традиционный битум в составе асфальтобетонной смеси не справляется с возросшими нагрузками на асфальтобетонное покрытие, поэтому появилась необходимость повышать его качество различными модифицирующими добавками.

В западных странах, несмотря на высокую стоимость полимеров, уже давно считается экономически оправданным их применение в дорожном строительстве. Многочисленные рецептуры улучшения свойств битумов полимерами могут служить основой для вывода – качество битума с полимерной добавкой всегда выше [3].

Традиционно в качестве данного вида модификаторов используются каучук (как природный, так и все виды синтетических каучуков, резиновая крошка), полиолефины (полиэтилен, полипропилен, их сополимеры и стереоизомеры), полиароматические полимеры (полистиролы, поливинилацетаты, поливинилхлориды). Так, за рубежом для модифицирования дорожных битумов используют аморфные полиолефины типа VESTOPLAST (Германия). Достаточно широко применяют те типы полимеров, которые не являются дефицитными, и для которых еще недавно было уместно название – «отходы производства» [4]. Поэтому наиболее широкое распространение в качестве полимера получили дивинилстирол и различные побочные продукты полимерных производств, окисленные варианты полиенов.

При проведении исследования в качестве пластификаторов использовали индустриальное масло И-20, стеариновую кислоту Т-18; полимеров – термоэластопласт ДСТ-30-01 и эпоксидную смолу ЭД-20. В табл. 1 приведены составы исследуемых органических вяжущих, а их физико-механические характеристики в табл. 2.

Исходя из представленных данных установлено, что при использовании индустриального масла И-20 в составе исходного битума происходит увеличение пенетрации органического вяжущего, снижение показателей растяжимости и температуры размягчения. Введение стеариновой кислоты в битум, по сравнению с индустриальным маслом, способствует более значительному падению его вязкости на 77 и незначительному увеличению растяжимости.

Полимер ДСТ-30-01 в количестве 4 % в составе исходного битума повышает его вязкость, температуру размягчения и хрупкость на 31, 29 и 19 % соответственно, снижая растяжимость на 75 и 13 % при 0 и 25 ^{o}C соответственно. Одновременно с этим его наличие придает эластичность органическому вяжущему.

Эпоксидная смола в количестве 2 % от массы органического вяжущего привела к повышению показателей пенетрации, растяжимости, а также резкому падению температуры хрупкости и незначительному

снижению температуры размягчения на 25 и 6 % соответственно. Наличие в битуме данного полимера может положительно отразиться на трещиностойкости асфальтобетонных покрытий, и отрицательно на их сдвигоустойчивости.

Таблица 1

Составы исследуемых органических вяжущих

№ композиционного вяжущего	Состав компонентов
1	Битум БНД 60/90 = 97% Индустриального масла И-20 = 3%
2	Битум БНД 60/90 = 97 % Стеариновая кислота Т-18 = 3 %
3	Битум БНД 60/90 = 96 % ДСТ-30-01 = 4 %
4	Битум БНД 60/90 = 98 % Эпоксидная смола ЭД-20 = 2 %
5	Битум БНД 60/90 = 91 % ДСТ-30-01 = 4 % Масло индустриальное И-20 = 5 %
6	Битум БНД 60/90 = 80,8 % ДСТ-30-01 = 8 % Масло индустриальное И-20 = 6,2 % Эпоксидная смола ЭД-20 = 2 % Стеариновая кислота Т-18 = 3 %

Таблица 2

Физико-механические характеристики исследуемых органических вяжущих

Наименование показателя	Значение для состава						
	БНД 60/90	1	2	3	4	5	6
Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при: 25°С	61	77	112	40	71	63	50
0°С	28	33	30	20	27	33	27
Температура размягчения по «КиШ», °С	48	46	45	62	45	56	54
Растяжимость, см, при: 25°С	65	100	70	16	96	91	25
0°С	3,8	9,6	5	3,3	4,2	10,8	2,8
Температура хрупкости, °С	-16	-16	-16	-13	-20	-19	-28
Эластичность, %, при: 25°С	-	-	-	28	-	69	61
0°С	-	-	-	-	-	61	54

Так как традиционное ПБВ содержит в своем составе как полимер, так и пластификатор, была приготовлена композиция, содержащая 4 % ДСТ и 5 % индустриального масла. Наличие этих компонентов в битуме существенно повлияло на его физико-механические характеристики, за исключением глубины проникания иглы. Такие показатели как температура размягчения, растяжимость при 0 °С увеличились на 17 % и в 2,5 раза соответственно, температура хрупкости снизилась на 19 %, а также значительно выросла эластичность вяжущего, значение которой составило 69 и 61 % при 25 и 0 °С соответственно.

Далее было приготовлено ПБВ, содержащие в своем составе все исследуемые модификаторы. Концентрация ДСТ была увеличена в 2 раза, что должно было повлиять на увеличение эластичности вяжущего, с одновременным ростом вязкости. Исходя из этого в составе органического вяжущего была увеличена концентрация индустриального масла с 5 до 6,2 %. Дополнительно вводилась стеариновая кислота, которая способна снизить вязкость и температуру хрупкости битума и положительно отразится на качестве ПБВ.

Полученная композиция № 6, по сравнению с предшествующей, отличается незначительным снижением пенетрации а также резким падением растяжимости и температуры хрупкости, значительное снижение которых обусловлено комплексным влиянием стеариновой кислоты и эпоксидной смолы. Эластичность вяжущего на основе различных полимеров и пластификаторов оказалась несколько ниже относительно традиционного ПБВ на основе индустриального масла и ДСТ.

Изменение данного показателя при 25 ºС составило 12 %, при 0 ºС – 11 %.

Таким образом, можно сделать выводы о том, что на температуру размягчения и эластичность композиционного вяжущего наибольшее влияние оказывает ДСТ в составе исходного битума, а на температуру хрупкости органического вяжущего положительно влияет наличие эпоксидной смолы в сочетании со стеариновой кислотой.

Исходя из того, что модифицирующие вещества существенно влияют на свойства битума, было решено провести исследования по определению влияния данных материалов на физико-механические характеристики асфальтобетона. Использование при приготовлении образцов асфальтобетонной смеси в качестве вяжущего композиций № 5 и 6 обосновано их высокими физико-механическими характеристиками. Для проведения исследований были приготовлены смеси ЩМА-15, содержащие в своем составе разработанные органические вяжущие № 5 и 6 и контрольная смесь с применением чистого битума и стабилизирующей добавки Viatop-66.

На первой стадии проектирования ЩМА необходимо определить устойчивость смеси к расслаиванию по показателю стекания вяжущего согластно ГОСТ 31015-2002 [5]. Для определения данного показателя было приготовлено 3 смеси, содержащие 6 % вяжущего:

– 1 смесь: вяжущее – битум БНД 60/90; стабилизирующая добавка Viatop-66 (0,43 %);

– 2 смесь: вяжущее – композиция № 5; стабилизирующая добавка отсутствует;

– 3 смесь: вяжущее – композиция № 6; стабилизирующая добавка отсутствует.

Результаты показания стекания органического вяжущего из смеси ЩМА исследуемых составов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Устойчивость смеси к расслаиванию по показателю стекания

Наименование показателя	Требования ГОСТ 31015-202	БНД 60/90	Композиция № 5	Композиция № 6
Показатель стекания, %	не более 0,20	0,15	0,22	0,13

Из данной таблицы видно, что по показателю стекания, асфальтобетонной смеси с применением в качестве органического вяжущего битума БНД 60/90 в комплексе со стабилизирующей добавкой Viatop-66, а также композиции № 6 удовлетворяют требованиям ГОСТ 31015-2003 [5]. Важно отметить, что показатель стекания смеси на основе композиции № 6 ниже, чем в случае использования традиционного состава ЩМА. Применение композиции № 5 при приготовлении асфальтобетона привело к получению смеси, неудовлетворяющей требованиям стандарта [5] по данному показателю.

Результаты физико-механических характеристик ЩМАС на исходном битуме и модифицированных вяжущих представлены в табл. 4 и на рис. 1, 2.

Таблица 4

Физико-механические характеристики асфальтобетона ЩМА-15 на битуме марки БНД 60/90, композиционном вяжущем № 5 и № 6

Характеристики	Требования по ГОСТ	Применяемое вяжущее		
		БНД 60/90	Композиция № 5	Композиция № 6
Средняя плотность	-	2,26	2,26	2,28
Пористость минерального остова, % по объему	15…19	15	15	14
Водонасыщение, %	1,0… 4,0	2,9	3,9	2,5
Набухание, %	0,60	0,16	0,15	0,14
Прочность при сжатии, МПа: - при +50ºС, не менее; - при + 20ºС, не менее; - водонасыщенного образца	 0,65 2,2 -	 1,17 3,10 3,0	 1,60 3,20 3,0	 1,70 4,30 4,10
Сдвигоучтойчивость: - коэф. внутр. трен., не менее - сцепление при сдвиге при +50ºС, МПа, не менее	 0,93 0,18	 0,88 0,53	 0,90 0,59	 0,95 0,60
Трещиностойкость	2,5…6,0	3,0	3,3	4,3
Водостойкость при длительном водонасыщении, не менее	0,85	0,97	0,94	0,95

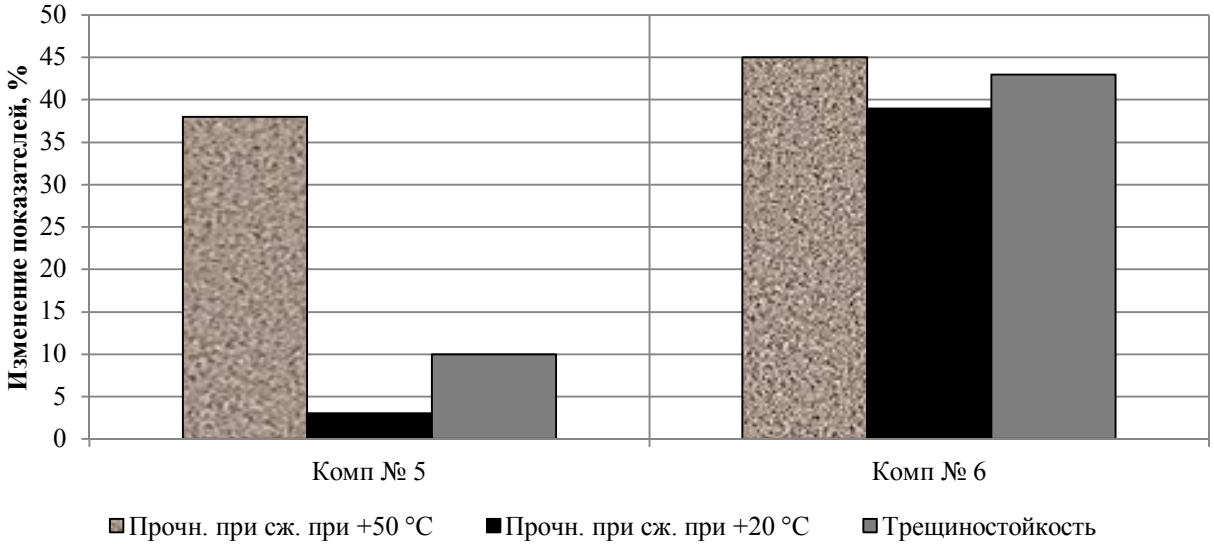


Рис. 1. Изменение прочностных характеристик ЩМАС с использованием модифицированных вяжущих относительно контрольной смеси

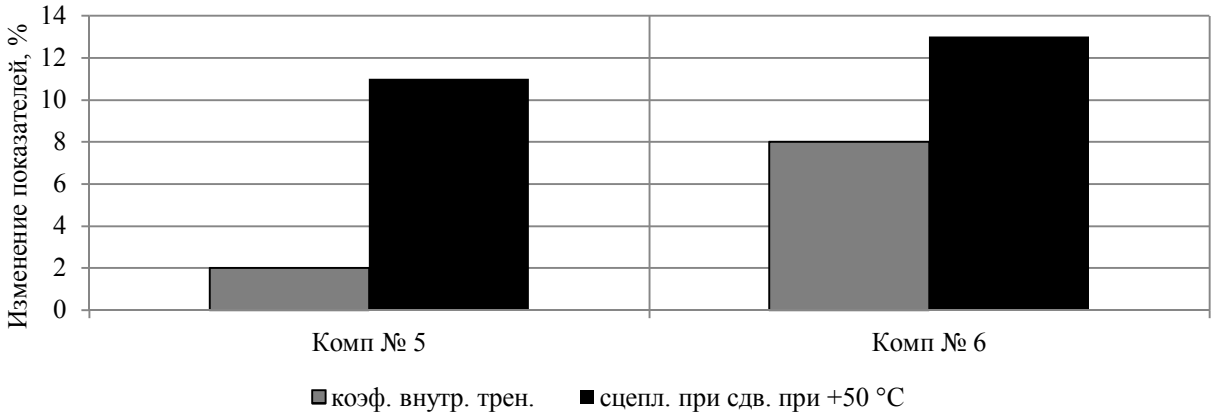


Рис. 2. Изменение сдвигоустойчивости ЩМАС с использованием модифицированных вяжущих относительно контрольной смеси

Из представленных данных видно, что применение в качестве органического вяжущего композиции № 6 привело к существенному повышению физико-механических показателей относительно традиционной смеси с применением в качестве вяжущего битума БНД 60/90 и стабилизирующей добавки Viatop-66. Так, использование композиции № 6 при приготовлении образцов ЩМА, способствовало снижению их водонасыщения на 14 %, увеличение пределов прочности при сжатии при 50 и 20 ºС в пределах 39 %, водонасыщенных образцов на 36 %; трещиностойкости – 43 %; сдвигоустойчивоти, характеризующейся коэффициентом внутреннего трения и сцеплением при сдвиге при 50 ºС – 8 и 13 % соответственно.

Анализ ЩМА-15 на основе традиционного ПБВ показал, что его использование положительно отразилось лишь на деформативных характеристиках образцов. Так, прочность при 50ºС увеличилась на 38 %, сцепление при сдвиге – 11 %, трещиностойкость на 10 %. При этом водонасыщение увеличилось на 35 % до значения равного 3,9 %, соответствующего нижней границе предельно допустимого согласно ГОСТ 31015-2002 [5]. Рост этого показателя отрицательно отразился на водостойкости асфальтобетонных образцов, которая снизилась на 3 %. Возможно, это связано с тем, что показатель стекания битума при использовании органического вяжущего № 5 имеет неудовлетворительное значение.

Таким образом, из всего вышесказанного можно сделать следующие выводы:

– введение композиции № 6 привело к существенному увеличению предела прочности при сжатии и сдвигоустойчивости, что связано с высокой температурой размягчения данного состава, по сравнению с исходным битумом. Увеличение трещиностойкости связано с более низкой температурой хрупкости композиции, а существенное снижение водонасыщения обосновано наличием в органическом вяжущем стеариновой кислоты;

– введение в асфальтобетонную смесь в качестве органического вяжущего композиции № 5, т.е. состава, близкого к традиционному ПБВ, привело к значительному росту предела прочности при 50°С, а также к небольшому увеличению сдвигоустойчивости асфальтобетонных образцов. Однако, водостойкость данных асфальтобетонных образцов ниже, а водонасыщение существенно выше по сравнению с контрольной смесью ЩМА. Скорее всего, это связано с высоким показателем стекания органического вяжущего.

Исходя из того, что ПБВ используется для устройства верхних слоев асфальтобетонного покрытия, то было целесообразно провести исследования асфальтобетонных образцов на основе разработанных композиционных вяжущих (№ 5 и 6) на устойчивость к колееобразованию. Испытания проводили с использованием оборудования InfraTest, результаты которых представлены на рис. 3.

Из данного графика видно, что колея на асфальтобетонном образце, приготовленном на обычном битуме без применения стабилизирующей добавки, образуется очень стремительно: при 1000 проходов колеса она составила 6 мм, при 4000 – 14 мм.

Образцы, приготовленные с применением композиций № 5 и 6, демонстрируют более плавное образование колеи, так как при 20000 проходов колеса, глубина колеи составила 14,4 и 9 мм соответственно. Максимальной устойчивостью к колееобразованию обладает асфальтобетон на основе исходного битума БНД 60/90 с добавлением стабилизирующей добавки Viatop-66. Так при 20000 проходов колеса величина колеи не превысила 7,2 мм.

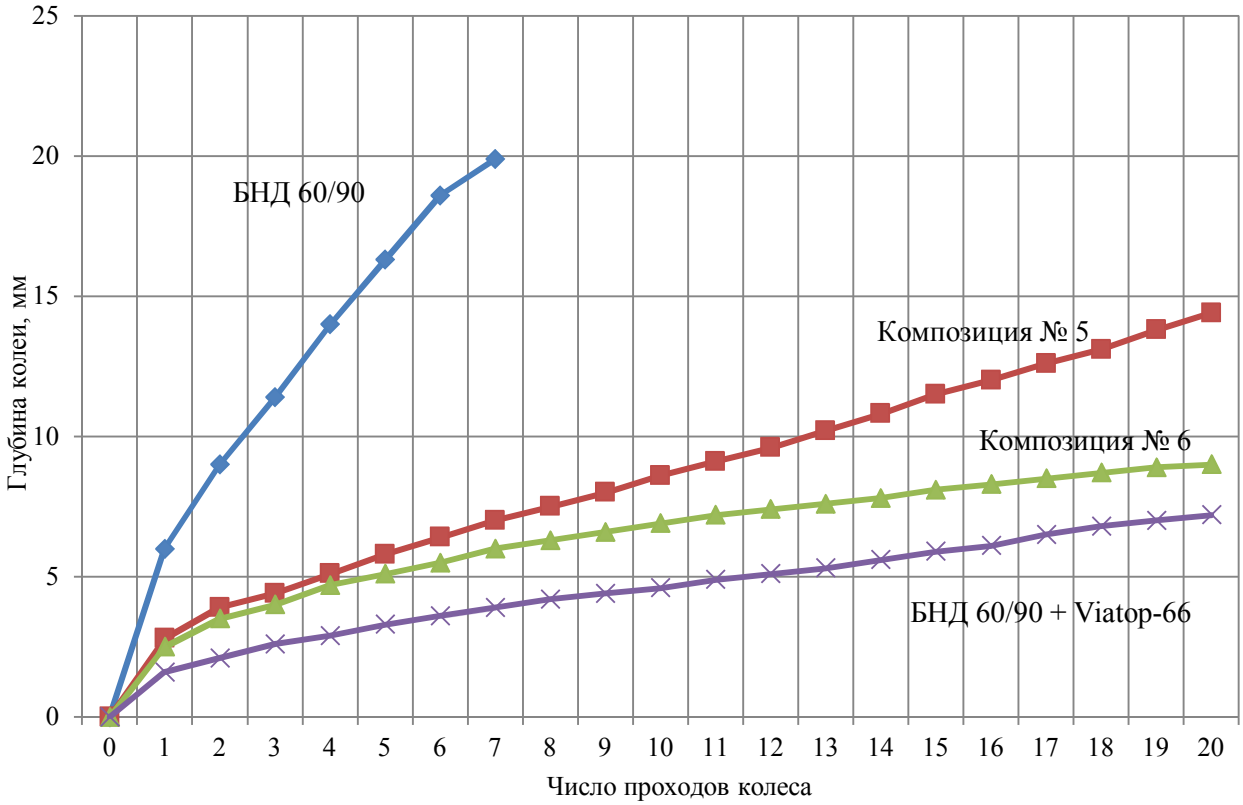


Рис. 3. Образование колеи на асфальтобетонных образцах с применением композиций № 5 и 6

Таким образом, можно сделать вывод о том, что введение в состав щебеночно-мастичного асфальтобетона комплексного вяжущего № 6 без стабилизирующей добавки приведет к получению композита, обладающего высокими физико-механическими характеристиками, в частности деформативными как при высоких так и низких температурах, сопоставленных с традиционным ЩМА на основе дорогостоящего импортного стабилизатора Viatop-66.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горшкова Н.Г., Шухов В.А. Колееобразование асфальтобетонного покрытия В Белгороде // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. №4. С. 43-46.

2. Поздняков М.К., Исследование сопротивляемости асфальтобетона колееобразованию // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. № 3. С. 13-20.

3. Румянцев А.Н., Наненков А.А., Ломов А.А. Структурированный асфальтобетон – новое дорожное покрытие // Ярославский государ-

ственный технологический университет. 2013. № 2. С. 23-35.

4. Харес Ш.М., Кутьин Ю.А., Теляшев Э.Г. Нефтяные дорожные битумы. Нормативы, качество, технологии, перспективы // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2012. №6. С. 58-61.

5. ГОСТ 31015-2002. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия. Введ. 01.05.2003. М.: Госстрой России, 2003. 22 с.

Yadykina V.V., Gridchin A.M., Trautvain A.I., Verbkin V.I.

STUDY OF INFLUENCE DIFFERENT POLYMERS AND PLASTICIZERS ON THE PROPERTIES OF BITUMEN GRADE 60/90 AND ASPHALT ON ITS BASIS

This article presents the results of studies of the effect of various polymers and plasticizers on the properties of bitumen and asphalt concrete for the top layer of the coating. Tests of samples of the organic binder are conducted in accordance with the requirements of the state general education standards №22245-90 and №52056-2003, stone mastic asphalt concrete - № 31015-2002.

Key words: *bitumen grade 60/90, stone mastic asphalt, industrial oil I-20, stearic acid T-18, thermoplastic DST-30-01, epoxy resin ED-20, polymer-bitumen binder.*

Козлов Н.А., канд. техн. наук, доц.,
Зинченко С.М., канд. техн. наук, доц.,
Козлова И.Э., магистрант
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

ВЛИЯНИЕ АКТИВНОЙ МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ ПУМИЦИТА НА ПРОЦЕССЫ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ НЕАВТОКЛАВНОГО ПЕНОБЕТОНА

kozlovnikolai@rambler.ru

В отрасли производства строительных материалов постоянно идут поиски в области ресурсо- и энергоэффективности за счёт применения новых технологий, материалов, добавок, а также более глубокого изучения структурообразующих процессов, в том числе и с новыми модификаторами. Исследования цементных композиций с введением активной минеральной добавки алюмосиликатного состава (пумицита) показали свою эффективность, что дало возможность рассматривать данную минеральную добавку в качестве структурообразующего компонента, применительно к технологии ячеистых бетонов. В связи с этим возникает актуальное направление для проведения исследований по оценке применения активной минеральной добавки пумицита в технологии неавтоклавного пенобетона, с изучением особенностей процессов структурообразования. Исследования определили положительную динамику процессов набора прочности цементных композиций в присутствии пенообразователей и пумицита. Анализ полученных данных выявил положительные тенденции на начальном этапе формирования структуры цементного камня. Применение добавки пумицита положительно сказывается на прочностных характеристиках цементных композиций, особенно на начальном этапе твердения в присутствии различных пенообразователей.

Ключевые слова: *пенобетон, прочность, цемент, пумицит, термоэффект, активная минеральная добавка.*

Развитие малоэтажного строительства, а также строительство многоэтажных домов по каркасно-монолитной технологии создаёт тенденции в развитии и увеличении производственных мощностей выпуска ячеистобетонных стеновых материалов. В связи с чем, возрастает уровень конкуренции на рынке строительных материалов. Снижение стоимости изделий при условии сохранения или увеличения физико–механических и эксплуатационных характеристик готовой продукции является актуальной задачей для технологов многих предприятий.

Наибольшее распространение на рынке стеновых ячеистобетонных изделий получили автоклавные газосиликатные блоки, однако, недостатками его производства является высокая энергоемкость. Неавтоклавный пенобетон со сравнительно простой технологией и меньшими затратами энергии, при обеспечении высоких физико-механических, эксплуатационных характеристик, в том числе и теплоизоляционных на сегодняшний день остаются перспективной областью для исследований.

Известно [1…3], что выбор пенообразователя, играющего важную роль на начальном этапе формирования цементного камня, во многом обуславливает как технологию производства пенобетона, так и технико-эксплуатационные характеристики получаемой продукции. Кроме того очень важными аспектами для получения высококачественного неавтоклавного пенобетона являются не только характеристики портландцемента, наполнителей и модифицирующих добавок, но и их совместимость и взаимодействие [4…6].

Для придания пенобетону высоких физико-механических и эксплуатационных характеристик применяют различные органические и минеральные добавки. В качестве минеральных добавок возможно применение измельчённых природных материалов и техногенных продуктов промышленности. Обязательным условием эффективного применения данных добавок является их совместимость, как с пенообразователем, так и с портландцементом.

Полученные положительные результаты в ранее проведенных научных исследованиях по изучению и разработке органоминеральных модифицирующих комплексов [7] создают предпосылки к тому, что весьма перспективным в качестве наполнителя для получения пенобетона может выступать молотый пумицит Бедыкского месторождения (Кабардино–Балкария), представляющий собой рыхлый продукт смеси пород алюмосиликатного состава вулканического происхождения. Использование активной минеральной добавки пумицита при изготовлении цементных композиций, в том числе и ячеистобетонных, позволяет существенно повысить экономическую составляющую производства. Однако до внедрения добавки пумицита в производство пенобетона необходимо произвести всесторонние исследования влияния пумицита

гидратационные процессы, протекающие в цементном камне в присутствии пенообразователя.

Учёными [1, 2] установлены определённые зависимости при анализе процессов гидратации портланцемента, которые находят своё отражение при термографических методах исследования. Формирование силикатного каркаса цементного камня представляется как равновесный процесс, включающий стадии гидролиза клинкерных минералов, формирование цементного геля, агрегация частиц геля и первичная кристаллизация, формирование высокоплотных, кристаллических гидросиликатов с минимальным содержанием воды. При этом исключительно важно одновременное присутствие в системе всех форм гидросиликатов. Только оптимальное соотношение кристаллических и аморфных продуктов позволяет достигать максимальных прочностных показателей цементного камня. Большинство из рассматриваемых объектов, исследовавшихся ранее, в том числе и термографическими методами, включали в себя процесс разделения темографической картины на различные участки. Анализ этих участков позволяет характеризовать влияние выбранных модификаторов на твердеющую цементную систему и оценить характер изменений в цементном камне в зависимости от вида модификатора.

Исходя из обзора данных [4, 5] относительно процессов, происходящих при различных температурах в процессе термографии целесообразно выделить на термограмме следующие термические зоны: 100…200 ºС – удаление слабосвязанной воды (ССВ), 200…450 ºС – удаление воды из гидратов переменного состава (ГПС), 450…600 ºС – дегидратация портландита – $Ca(OH)_2$, 600…700 ºС – удаление из гидросиликатов химически связанной воды (ХСВ). В каждом из этих температурных диапазонов происходит скачкообразная потеря массы образца, отражающая процессы удаления слабосвязанной воды, дегидратации портландита и удаления химически связанной воды соответственно.

Объектами исследования явились образцы цементного камня, изготовленные из портландцемента М500 Д0 производства ОАО «Вольскцемент» при В/Ц=0,33. Были выбраны следующие пенообразователи: GreenFroth P (белковый, производство Италия) и ПБ2000 (синтетический, Россия). Для изучения влияния различных пенообразователей на физико-механические характеристики цементного камня и их совместное взаимодействие с минеральным наполнителем, пенообразователь вводился в качестве добавки, а предел прочности определялся на образцах-балочках размером 80×20×20 мм. В качестве минеральной добавки-наполнителя применялся молотый пумицит. Образцы цементного камня набирали прочность в течение 7 суток в нормальных условиях. Перед теромграфированием образцы высушивались до постоянной массы. Дифференциально-термический анализ (ДТА) образцов цементного камня с добавками проводился на установке для дифференциально-термического и термогравиметрического анализа «Термоскан 2». Данные испытаний приведены в табл. 1.

Таблица 1

Термоэффекты образцов цементных паст

	Модификатор	Количество добавки, %	Температура максимума термоэффекта, ºС	Предел прочности при сжатии (7 сут), МПа
	Контрольный состав (без добавки)	-	110; 290; 320; 330;500;520	48,5
	GreenFroth	3	100; 390; 450; 480; 520; 570; 670	36,6
	Пумицит	10	110; 380; 420; 440; 500; 530	53,2
	GreenFroth + Пумицит	3 + 10	120; 370; 450; 500; 530; 670	44,3
	ПБ2000	1	110; 330; 370; 520; 550; 610	28,9
	ПБ2000 + Пумицит	1 + 10	110; 330;370; 440; 500; 540; 660	38,4

Особенностью представленных на рис. 1 термограмм, является наличие на кривых плавного участка потери массы образца, не сопровождающейся значительными термоэффектами. Этот участок кривой соответствует интервалу температур 200…450 ºС, который относят к области дегидратации цементного геля C-S–H (I), C-S-H (II) и тоберморита [1…3]. Сравнение кривых ДТА в этом диапазоне температур выявляет наличие серии слабых эндоэффектов, число и положение которых меняется взависимости от применяемых добавок.

Отсутствие скачкообразной потери массы следует рассматривать как свидетельство дегидратации слабозакристаллизованных гидросиликатов переменного состава [1, 2, 5], к которым можно отнести все виды цементного геля.

Из этого можно сделать вывод, что вид добавки сильно влияет на состав гелевых продуктов гидратации, так как значительно изменяются число, расположение и интенсивность термоэффектов.

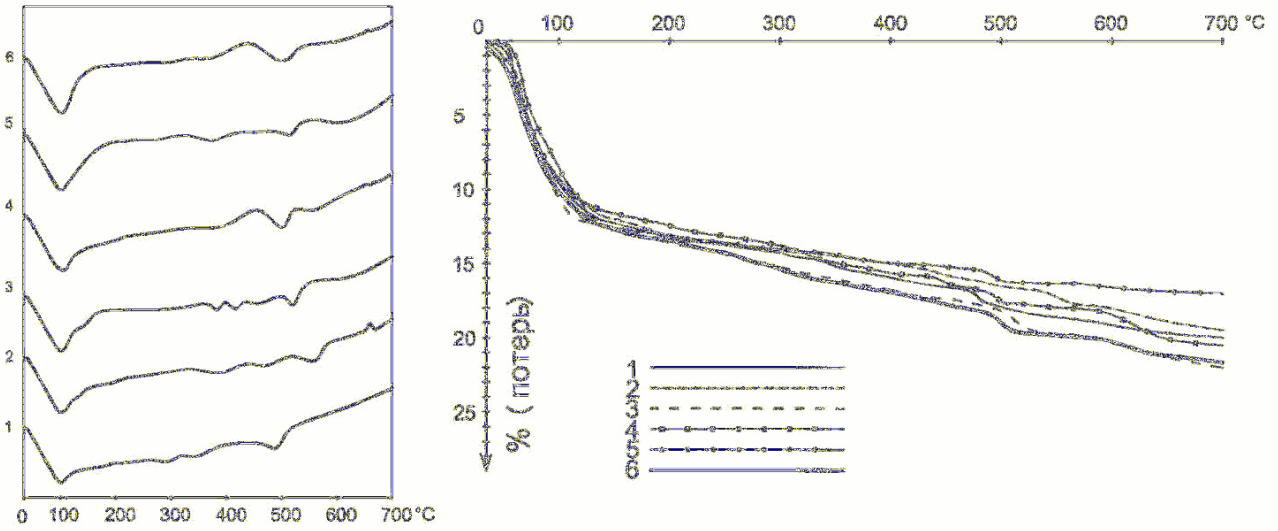


Рис. 1. Дифференциально-термический анализ образцов цементного камня с добавками:
1 – Контрольный состав (без добавки); 2 – GreenFroth 3 %; 3 – Пумицит 10 %;
4 – GreenFroth 3 % + Пумицит 10 %; 5 – ПБ2000; 6 – ПБ2000 1 % + Пумицит 10 %

Анализ термоэффектов, их количество, интенсивность и температурный интервал, относящихся к образцам с добавкам пумицита и пенообразователей, свидетельствует о наличии общих зависимостей, в частности, изменения касаются степени интенсивности и незначительного сдвига температурного эффекта в пределах 15 ºС, что свидетельствует о схожести протекания процессов гидратации и структурообразования, на которые по видимому большее влияние оказывает минеральная добавка пумицита, нежели пенообразователь в независимости от его типа – белковый или синтетический.

Таблица 2

Термографические характеристики модифицированных образцов цементного камня

№п/п	Модификатор	Количество добавки, %	Потеря массы в соответствующих термических зонах, %				
			ССВ	ГПС	Портландит	ХСВ	Общее СВ
1	Контрольный состав (без добавки)	-	12,9	3,5	2,6	1,1	20,1
2	GreenFroth	3	13,6	2,3	1,9	0,6	18,4
3	Пумицит	10	13,3	3,9	2,0	2,1	21,3
4	GreenFroth + Пумицит	3 + 10	12,5	3,6	2,5	2,0	20,6
5	ПБ2000	1	13,7	1,1	1,5	0,9	17,2
6	ПБ2000 + Пумицит	1 + 10	13,5	3,3	1,9	1,5	20,2

В присутствии пенообразователя изменяется структура цементного камня в процессе твердения, что проявляется в заметном изменении характера темограммы – термоэффекты слабеют, их частота, количество и интенсивность значительно ниже. У образцов с минеральными добавками, увеличивается количество слабосвязанной воды, что в свою очередь уменьшает количество портландита, химически связанной воды и как следствие негативно сказывается на прочностных характеристиках цементных образцов.

В образцах цементного камня с введением пумицита, количество физически связанной воды на 7 сутки составляет от 12,5 до 13,7 % при общей потере массы образца от 17,2 до 21,3 %. Добавление пенообразователей значительно снижают потери массы в температурных интервалах 200…450 ºС, которые соответствуют удалению воды из гидратов переменного состава, 450…600 ºС – дегидратации портландита, 600…700 ºС – удалению из гидросиликатов химически связанной воды, что значительно сказывается напрочностных показателях (табл. 1), при чём это характерно как для белкового, так и для синтетического пенообразователя.

Из приведённых дифрактограмм следует, что добавление молотого пумицита в качестве минеральной добавки, приводит к увеличению присутствия низкосновных гидросиликатов кальция. Наряду с гидросиликатами кальция в системе также повышается содержание гидроалюминатов и гидросульфоалюминатов кальция, оказывающих на формирование структуры в начальный период твердения значительное влияние. Так же особенностью применения добавки пумицита является снижение количества портландита в твердеющей цементной системе, что связано с химико-минералогическими составом пумицита, а именно наличием реакционно-

способного кремнезёма, образующего гидросиликаты при взаимодействии с известью в цементной суспензии [7].

Выравнивание количества потери масс в различных термических зонах образцов, модифицированных пумицитом и пенообразователем в сравнении с контрольным образцом цементного камня, приводит к росту относительной прочности, подтверждая тот факт, что оптимальное соотношение кристаллических и аморфных продуктов гидратации цементного камня позволяет достигать максимальных прочностных показателей.

Проведённые исследования дают возможность сделать прогнозируемые оценки применения активной минеральной добавки молотого пумицита в технологии производства неавтоклавного пенобетона. Причём, анализ полученных данных, выявил закономерности при выборе пенообразователя, который играет важную роль на начальном этапе формирования структуры цементного камня. Следует отметить, что применение добавки пумицита положительно сказывается не только на прочностных характеристиках затвердевших цементных композиций, но и на процессах структурообразования цементного камня на начальном этапе формирования прочности.

Полученные положительные результаты дают предпосылки к дальнейшей разработке ряда технологических решений, направленных на повышение эффективности производства пенобетона с использованием в качестве сырья материалов природного происхождения, таких как пумицит, позволяющих достигать высокие характеристики конечной продукции и отвечающие требованиям ресурсосбережения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Добавки к бетону // Рамачандран В., Пер. с англ. Т.И. Розенберг, С.А. Болдырева; Под ред. А. С. Болдырева и В.Б. Ратинова. М.: Стройиздат, 1988. 563 с.

2. Наука о бетоне: физико-химическое бетоноведение / Рамачандран В., Фельдман Р., Бодуэн Дж, под ред. В.Б.Ратинова М.: Стройиздат, 1986. 278 с.

3. Manzano H., Ayuela A., Dolado J.S. On the formation of cementitious C–S –H nanoparticles // J. Comp.-Aided Mater. Design. 2007. №14. P. 45–51.

4. Страхов А.В., Иващенко Н.А., Тимохин Д.К. Влияние активных минеральных наполнителей на формирование структуры и свойств энергоэффективных строительных композитов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2012. Вып. № 1 (67). Том 3. С. 228–230.

5. Иващенко Ю.Г., Тимохин Д.К. Физико-химические основы применения высокодисперсных наполнителей при конструировании составов композиционных строительных материалов // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона, 2011. № 1. С. 40-43.

6. Иващенко Ю.Г., Евстигнеев С.А., Страхов А.В., Тимохин Д.К. Механоактивированные модифицирующие добавки для строительных композитов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 3. С. 47–52.

7. Иващенко Ю.Г., Зинченко С.М. Эффективность использования минеральной добавки алюмосиликатного состава совместно с пластификатором на основе фенолоацетоновых смол в цементных композициях // Вестник ВолгГАСУ: Строительствово и архитектура. 2011. №. 23 (42). С. 110–115.

Kozlov N. A., Zinchenko S.M., Kozlova I.E.

INFLUENCE OF THE ACTIVE MINERAL ADMIXTURE OF PUMITSIT ON PROCESSES OF STRUCTURIZATION OF NOT AUTOCLAVE FOAM CONCRETE

In branch of production of construction materials constantly there are searches to areas re-surso-and energy efficiency due to application of new technologies, materials, admixtures, and also deeper studying of structure-forming processes, including with new modifiers. Researches of cement compositions with introduction of an active mineral admixture of aluminosilicate structure (pumicite) showed the efficiency that gave the chance to consider this mineral admixture as a structure-forming component, in relation to technology of cellular concrete. In this regard there is an actual direction for carrying out researches on an assessment of application of an active mineral admixture of a pumicite in technology of not autoclave foam concrete, with studying of features of processes of structure formation. Researches defined positive dynamics of processes of a set of durability of cement compositions in the presence of foam and a pumitsit. The analysis of the obtained data revealed positive tendencies at the initial stage of formation of structure of a cement stone. Application of an admixture of a pumicite positively affects strength characteristics of cement compositions, especially at the initial stage of curing in the presence of various foam.

Key words: *foam concrete, durability, cement, pumicite, the thermic effect, an active mineral admixture.*

Логачев К.И., д-р техн. наук, проф.,
Плотников К.В., аспирант
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯ СКОРОСТЕЙ В СПЕКТРЕ ДЕЙСТВИЯ МЕСТНОГО ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ОТСОСА ПРИЕМНОЙ ВОРОНКИ КОРПУСА КРУПНОГО ДРОБЛЕНИЯ*

pkv0491@yandex.ru

Проводятся экспериментальные и численные исследования поля скоростей в устье и характерном вертикальном сечении приемной воронки корпуса крупного дробления, оборудованном местным вентиляционным отсосом. Математическая модель и компьютерная программа строятся с использованием численного метода решения сингулярных интегральных уравнений. Экспериментальные замеры величины скорости осуществлялись на разработанном экспериментальном стенде. Исследовалось влияние экрана, перекрывающего устье воронки, вертикального фартука и расположение всасывающего канала на распределение скоростей во всасывающем факеле местного вентиляционного отсоса.

Ключевые слова: *аспирация, перегрузка сыпучих материалов, эжекция воздуха, разгрузка вагонов, корпус крупного дробления, метод граничных интегральных уравнений, метод дискретных вихрей.*

Введение. При разгрузке вагонов - хопперов в приемные воронки корпусов крупного дробления (ККД) горно-обогатительных комбинатов остро стоит проблема локализации пылевыделений. Наиболее надежным, но дорогостоящим способом локализации пылегазовых выбросов является применение систем местной вытяжной вентиляции [1…5].

Целью данной статьи является исследование поля скоростей всасывающего факела местного вентиляционного отсоса, встроенного в приемную воронку ККД, а также влияние экранов на распределение величин скорости в характерных сечениях области течения, и выбора наиболее рациональной схемы обеспыливания, способствующей снижению энергоемкости системы аспирации.

1. Экспериментальная модель и приборная база

Эксперимент проводился на плоской имитационной модели с размерами 8 см (длина) × 34,5 см (ширина) × 20 см (глубина) (рис. 1, 2). Плоская модель была получена путем укорачивания, посредством перегородки, объемной имитационной модели (рис. 1). Струя эжектируемого воздуха в данном исследовании не учитывалось. В качестве побудителя тяги использовался канальный вентилятор фирмы Ruck RS160L. Расход удаляемого воздуха в среднем был равен 0,025 $м^3/с$. Замеры проводились прибором Testo 425 в устье воронке и по вертикали, в сечении проходящем через конец экрана (рис. 3). Погрешность прибора равна 0,03 м/с ± 5 % от значения. С каждой конструкцией экрана было проведено минимум 3 замера, по 5 значений в каждой точке.

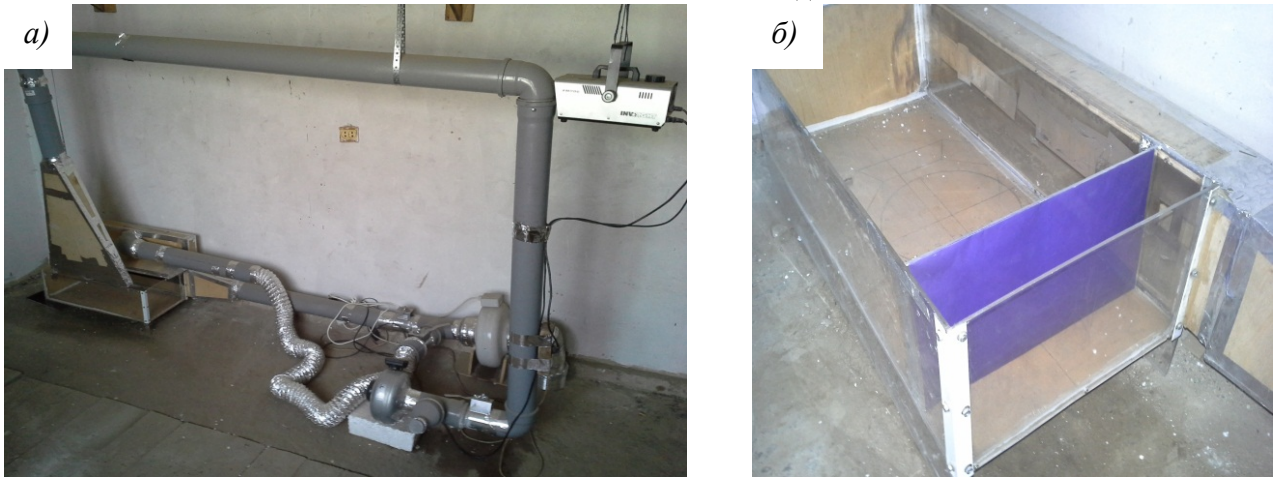


Рис. 1. Фотографии экспериментальной установки:
а – общий вид экспериментальной модели; *б* – плоская модель

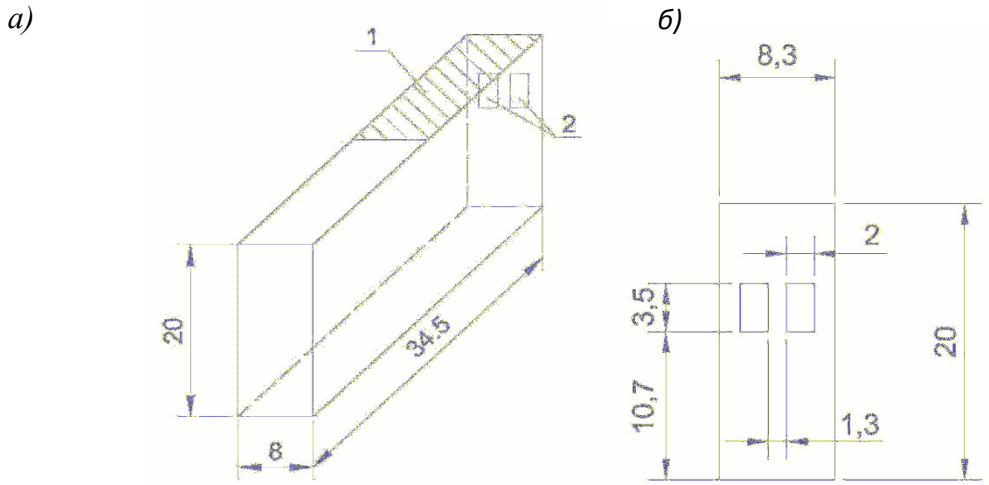


Рис. 2. Геометрические размеры модели: *а* – общий вид: *1*– экран; *2* – всасывающие окна; *б* – размеры отсасывающих окон при отсосе сбоку, см

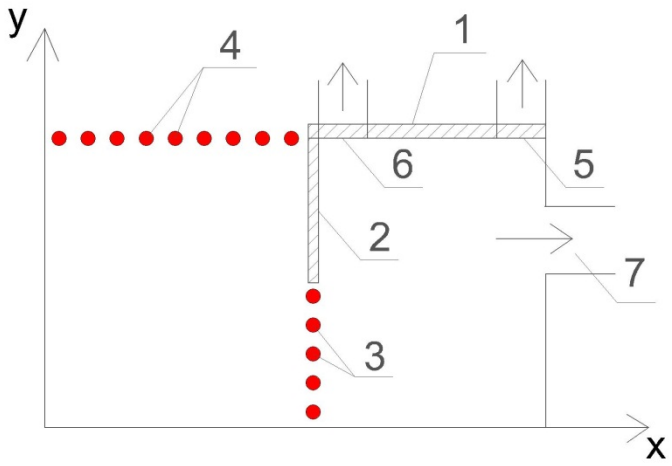


Рис. 3. Места замеров и расположение отсосов:
1 – экран; *2* – фартук; *3* – точки замеров в сечении; *4* – точки замеров в устье; *5* – отсос вверху впритык в углу; *6* – отсос вверху у левого края экрана; *7* – отсос сбоку

При проведении экспериментов с отсосами в разных местах, отсос везде представлял собой два окна с размерами 3,5 см (высота) и 2 см (ширина) (рис. 2, б).

2. Вычислительные алгоритмы для расчета всасывающих факелов

Для исследования использовались методы численного решения сингулярных интегральных уравнений: граничных интегральных уравнений (ГИУ) и метод дискретных вихрей (МДВ).

Метод ГИУ – это численное решение интегрального аналога уравнения Лапласа. На границе S области течения непрерывно размещались фиктивные источники (стоки) неизвестной заранее интенсивности $q(\xi)$. Их величины должны быть таковы, чтобы их суммарное воздействие на точки границы индуцировало в них заданные значения нормальной составляющей скорости, то есть выполнялись граничные условия.

Значение скорости в произвольной точке x области вдоль единичного вектора $\vec{n}$ определялся из следующей формулы:

$$v_n(x) = \int_S F_2(x,\xi) q(\xi) dS(\xi), \qquad (1)$$

где $S(\xi)$ обозначает, что ξ является переменной интегрирования; функция $F_2(x,\xi) = \frac{1}{2\pi} \frac{(x_1-\xi_1)n_1 + (x_2-\xi_2)n_2}{(x_1-\xi_1)^2 + (x_2-\xi_2)^2}$ выражает собой влияние на точку $x(x_1, x_2)$ единичного источника, расположенного в точке $\xi(\xi_1, \xi_2)$ вдоль единичного вектора $\vec{n} = \{n_1, n_2\}$.

Формула (1) являлась бы решением задачи, если бы интенсивности $q(\xi)$ были бы известны. Для их определения устремим внутреннюю точ-

ку x к граничной точке x_0 вдоль направления внешней нормали. Получим следующее выражение:

$$v_n(x_0) = -\frac{1}{2}q(x_0) + \int_S F_2(x_0,\xi)q(\xi)dS(\xi), \quad (2)$$

где интеграл уже не содержит точку $x_0 = \xi$.

Граничное интегральное уравнение (2) является интегральным уравнением Фредгольма 2-го рода. Аналитически оно не решается для областей с произвольными границами, поэтому применяется следующий численный метод его решения. Граница области течения разбивается на прямолинейные отрезки (граничные элементы). Вдоль каждого из отрезков интенсивность источников (стоков) не изменяется. Тогда, записав уравнение (2) для середин x_0^p каждого p-го из N полученных отрезков, получим систему N линейных алгебраических уравнений с N неизвестными $q(\xi^1), q(\xi^2), \ldots, q(\xi^N)$:

$$-\frac{1}{2}q(x_0^p) + \sum_{\substack{k=1,\\ k\neq p}}^{N} q(\xi^k)\int_{\Delta S^k} F_2(x_0^p,\xi^k)dS(\xi^k) = v_n(x_0^p), \quad p = 1,2,\ldots,N,$$

ξ^k – произвольная точка k-го отрезка, ΔS^k – k-ый отрезок.

Решив эту систему уравнений и определив неизвестные интенсивности источников (стоков) можно определить искомую скорость во внутренней точке вдоль заданного направления по формуле:

$$v_n(x) = \sum_{k=1}^{N} q(\xi^k)\int_{\Delta S^k} F_2(x,\xi^k)dS(\xi^k).$$

Основная идея МДВ заключается в дискретизации границы области на присоединенные вихри и расчетные точки, а также срыве свободных вихрей с острых кромок и гладкой поверхности в местах изменения направления тангенциальной составляющей скорости. Опишем алгоритм расчета течений у всасывающих отверстий на основе МДВ.

Пусть дана плоская область течения с произвольными границами. С L точек этой области происходит сход вихрей. Тогда скорость воздуха в p-й расчетной точке вдоль внешней нормали $\vec{n} = \{n_1, n_2\}$ определится из равенства:

$$v_n^p = \sum_{k=1}^{n} \Gamma^k G^{pk} + \sum_{\tau=1}^{m}\sum_{l=1}^{L} G_l^{p\tau}\gamma_l^{\tau}, \quad (3)$$

где v_n^p – известная скорость вдоль направления нормали $\vec{n}$ к границе области; G^{pk} – функция, выражающая влияние на p-ю расчетную точку k-го присоединенного вихря с циркуляцией Γ^k;

m – момент времени; $G_l^{p\tau}$ – функция, выражающая влияние свободного вихря с интенсивностью γ_l^{τ}, сорвавшегося с l-й точки в момент времени $t = \tau\Delta t$, на эту же p-ю расчетную точку. Функция G вычисляется по формуле $G(x,\xi) = \frac{1}{2\pi}\frac{(x_1-\xi_1)n_2 - (x_2-\xi_2)n_1}{(x_1-\xi_1)^2 + (x_2-\xi_2)^2}$, где вместо $\xi(\xi_1,\xi_2)$ берутся точки расположения присоединенных или свободных вихрей.

В углах границы должны быть расположены вихри. Между вихрями по средине расположены расчетные точки. Шаг дискретности должен быть приблизительно одинаков. К уравнению (3) нужно добавить условие неизменности циркуляции:

$$\sum_{k=1}^{n}\Gamma^k + \sum_{\tau=1}^{m}\sum_{l=1}^{L}\gamma_l^{\tau} = 0, \quad (4)$$

Если число расчетных точек на 1 меньше числа присоединенных вихрей то в системе линейных алгебраических уравнений (3)–(4) количество неизвестных равно количеству уравнений. Если же эти числа равны, то система переопределена, т.е. количество уравнений больше количества неизвестных. Тогда вводят регуляризирующую переменную Λ, предложенную И.К. Лифановым [6]. В этом случае система уравнений (3)–(4) запишется в следующем виде:

$$\begin{cases} v_n^p = \sum_{k=1}^{n}\Gamma^k G^{pk} + \sum_{\tau=1}^{m}\sum_{l=1}^{L} G_l^{p\tau}\gamma_l^{\tau} + \Lambda, \\ \sum_{k=1}^{n}\Gamma^k + \sum_{\tau=1}^{m}\sum_{l=1}^{L}\gamma_l^{\tau} = 0. \end{cases} \quad (5)$$

После определения неизвестных циркуляций присоединенных вихрей можно найти скорость в m-й расчетный момент времени в произвольной точке x вдоль данного направления $\vec{n} = \{n_1, n_2\}$ по формуле (3). В каждый расчетный момент времени необходимо определять новые положения свободных вихрей, вычисляемые по формулам:

$$x_2 = x_1 + v_x\Delta t, \qquad y_2 = y_1 + v_y\Delta t, \quad (6)$$

$\{x_1, y_1\}$ – точка предыдущего положения свободного вихря, $\{x_2, y_2\}$ – новое его положение.

Для нахождения составляющих скорости каждого вихря, так же как в любой внутренней точки, используется формула

$$v_n(x_i) = \sum_{j=1}^{n} \Gamma(\xi_j) G(x_i, \xi_j) + \sum_{\substack{r=1, \\ x_i \neq \xi_r}}^{m} \gamma_r G(x_i, \xi_r) \cdot$$

Для вычисления v_x направление $\vec{n} = \{1,0\}$, а для v_y – $\vec{n} = \{0,1\}$.

3. Результаты исследований и их обсуждение

Расчетные и экспериментальные величины скорости демонстрируют, что скорость в устье повышается при увеличении длины экрана, что препятствует выносу пылевых частиц из приемной воронки корпуса крупного дробления (рис. 4). Расчетные кривые, если нет специального упоминания, строились с использованием метода ГИУ.

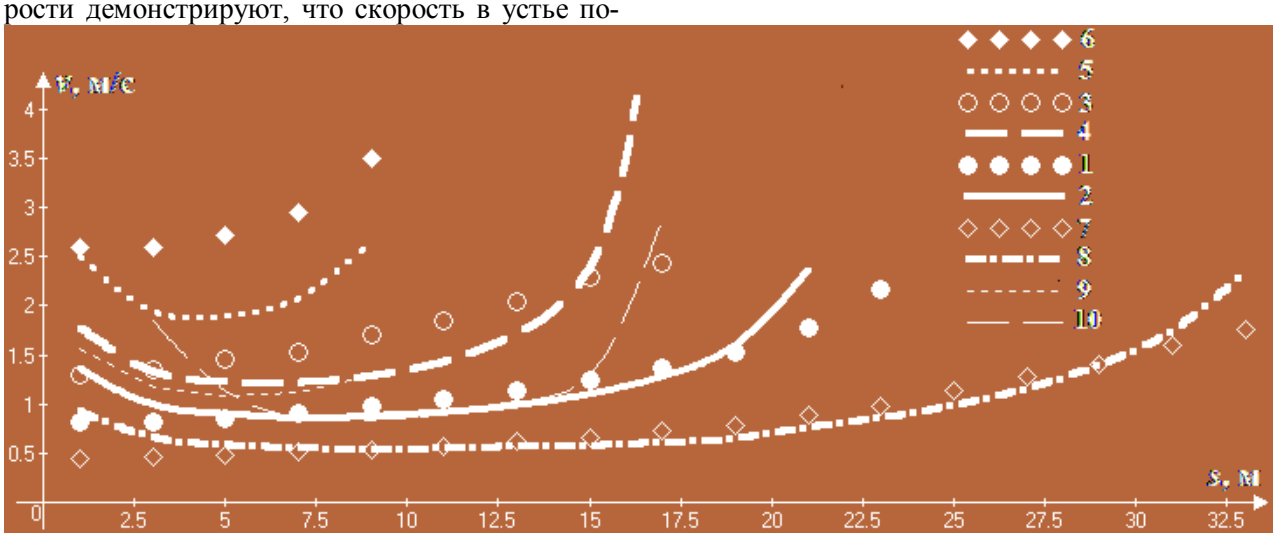


Рис. 4. Изменение скорости в открытой части устья приемной воронки ККД

На рис. 4 изображены следующие кривые и точки: 1 – экспериментальные замеры при длине экрана равной 1/3 всего устья; 2 – расчетная кривая при длине экрана равной 1/3 всего устья; 3 – экспериментальные замеры при длине экрана равной 1/2 всего устья; 4 – расчетная кривая при длине экрана равной 1/2 всего устья; 5 – экспериментальные замеры при длине экрана равной 2/3 всего устья; 6 – расчетная кривая при длине экрана равной 2/3 всего устья; 7 – экспериментальные замеры без экрана; 8 – расчетная без экрана; 9 – расчеты по методу дискретных вихрей при длине экрана равной 2/3 всего устья; 10 – расчеты по методу дискретных вихрей при длине экрана равной 1/2 всего устья. Расчеты по методу ГИУ близки к экспериментальным замерам в средней части устья, при приближении к краям расчетные величины скорости резко возрастают. Расчет по методу дискретных вихрей дает заниженные величины скорости, несмотря на то, что учитываются образования вихрей с острых кромок экрана и воронки.

На рис. 5 кривые и точки обозначены также как и на рис. 4. Здесь наибольшая и наименьшая величины скорости наблюдается при длине экрана равной 2/3 устья. Разброс расчетных данных относительно экспериментальных достаточно велик и в среднем равен 24 %. В остальных случаях среднее отличие расчетных данных от экспериментальных замеров не превышает 12 %. Заметим, что максимум скорости согласно экспериментальным данным (замеры 6, рис. 5) приближается к дну приемной воронки и способствует улавливанию струи эжектируемого запыленного воздуха.

Расчеты и эксперименты показали, что при длине экрана равном 2/3 от длины устья, система вытяжной вентиляции более эффективна. Но, в силу технологических причин длина экрана не должна превышать половину устья. Поэтому дальнейшие исследования проводились при длине экрана равной половине устья и разных длинах фартука.

При фиксированном значении длины экрана равной половине устья при увеличении длины фартука распределение скорости, как экспериментальное, так и расчетное, в устье остается практически неизменным (рис. 6). Но все же заметим, что при увеличении длины фартука поле скоростей в устье становиться более равномерным. Здесь: 1– расчетная кривая при длине фартука равной 1/3 высоты воронки ККД; 2 – экспериментальные замеры при той же длине фартука; 3– расчетная кривая при длине фартука равной 1/2 высоты воронки ККД; 4 – экспериментальные замеры при той же длине фартука; 5 – расчетная кривая при длине фартука равной 2/3 высоты воронки ККД; 6 – эксперименталь-

ные замеры при той же длине фартука; 7 – расчеты по методу дискретных вихрей при длине фартука равной 1/2 высоты воронки ККД. Величина скорости незначительно увеличивается с ростом длины фартука, поэтому вполне достаточно длина фартука равная 1/3 высоты приемной воронки ККД. Максимально отличие расчетных данных относительно экспериментальных наблюдается свыше 40% при приближении к краям устья. В остальных точках различие расчетных и экспериментальных данных не превышает 2 %. Расчеты с использованием МДВ дают снова заниженные значения величины скорости (кривая 7, рис. 6).

Величины скорости в характерном сечении, полученные как расчетным, так и экспериментальным путем, увеличиваются при росте длины фартука (рис. 7), что способствует улавливанию запыленной струи эжектируемого воздуха. Наибольшее расхождение расчетов относительно экспериментов снова наблюдается вблизи острой кромки фартука.

Сравнение влияния на величину скорости в устье (рис. 8) расположения вытяжного отверстия осуществлялось для случая наличия экрана с длиною в половину устья и отсутствия фартука. Кривые и экспериментальные точки замеров пронумерованы следующим образом: 1 – экспериментальные замеры при отсосе сбоку; 2 – расчетная кривая при отсосе сбоку; 3 – экспериментальные замеры при отсосе на экране, расположенном в притык к правому углу; 4 – тоже, но расчетная кривая; 5 – экспериментальные замеры при отсосе, расположенном на левом краю экрана; 6 – тоже, но расчетная кривая. Наиболее равномерное распределение скорости и наибольшая из наименьших величин скорости наблюдается при отсосе расположенном сбоку (рис. 2).

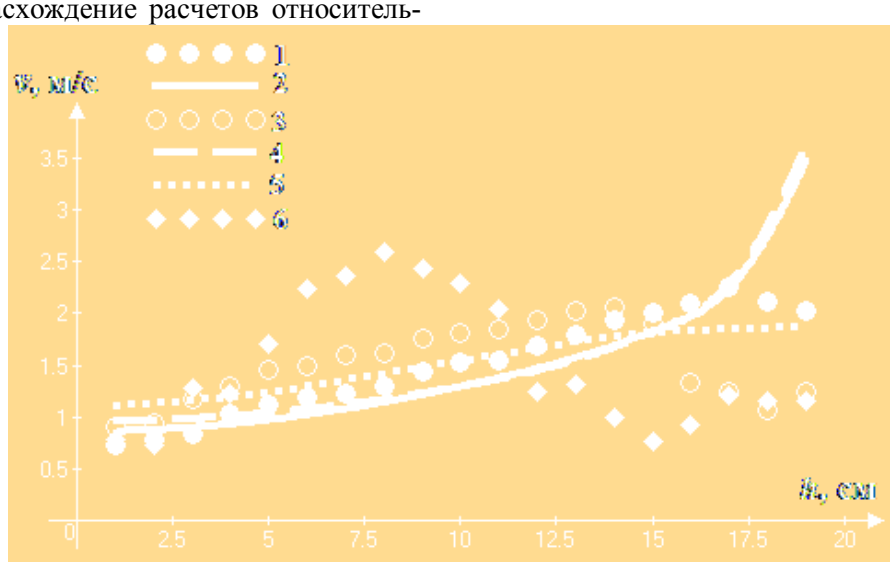


Рис. 5. Величины скорости в сечении

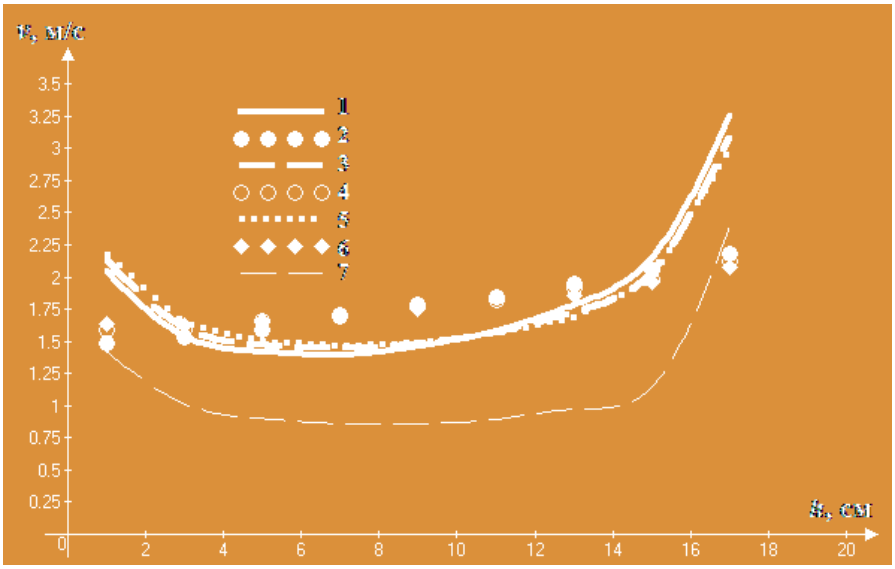


Рис. 6. Изменение величин скорости в устье при разных длинах фартука

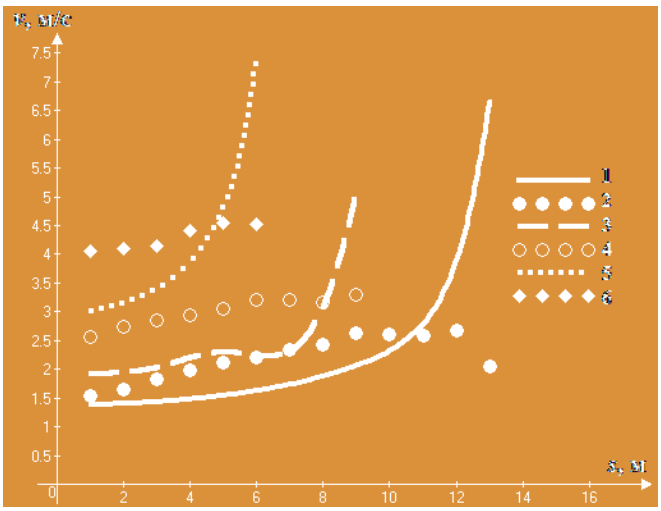


Рис. 7. Величины скорости в сечении при разных длинах фартука

Не противоречит предыдущим наблюдением и наличия кроме экрана фартука высотой равной 2/3 высоты приемной воронки (рис. 9). Здесь такая же нумерация, что и на рис. 8. Расчетные кривые практически накладываются друг на друга. Близки и экспериментальные величины скорости. Небольшое, но все же заметное, преимущество у отсоса расположенного сбоку – минимальная величина скорости в устье здесь выше относительно других рассмотренных случаев.

При подаче задымленного потока приточного воздуха со скоростью v_p, имитирующего эжектируемую потоком сыпучего материла запыленного воздуха, подбиралась минимальная скорость отсасываемого воздуха v_0, обеспечивающую невыбивание дыма из полости воронки. Из построенной зависимости величины скорости v_0 от v_p (рис. 10) видно влияние экрана и фартука на скорость, а значит и объемы аспирации. Данные экспериментальные зависимости также подтверждают целесообразность установки экрана длиной 1/2 устья и фартука высотой 1/3 от высоты приемной воронки. Заметим, однако, что влияние фартука не столь существенно, чем экрана.

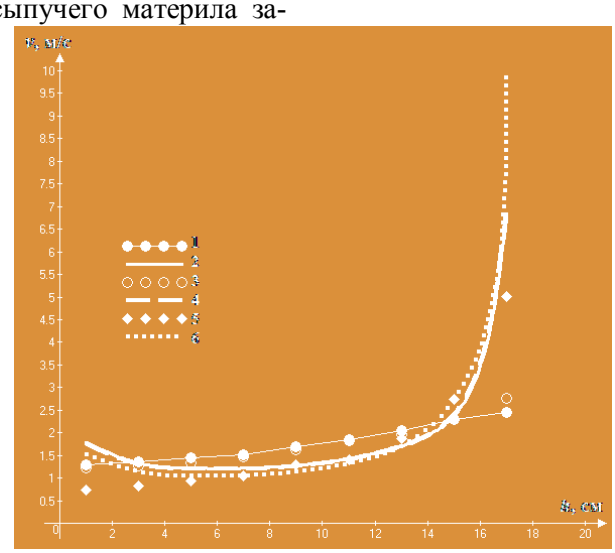


Рис. 8. Величины скорости в устье приемной воронки при разном расположении вытяжного отверстия

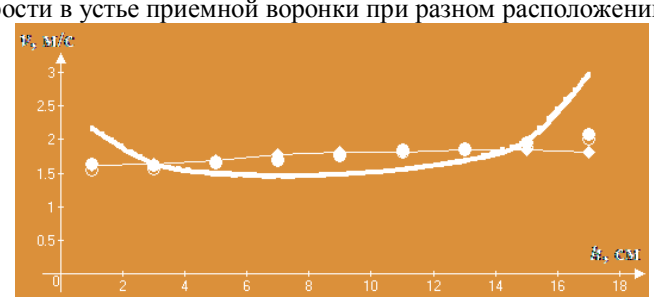


Рис. 9. Распределение величин скорости в устье при наличии экрана равной половине устья воронки и фартука 2/3 от высоты приемной воронки ККД

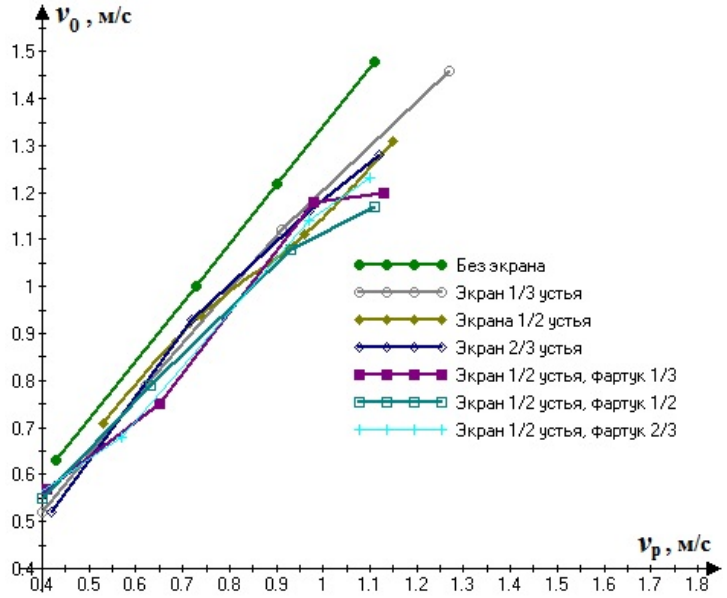


Рис. 10. Зависимость скорости вытяжки v_0 от скорости приточного воздуха v_p

Выводы. Исходя из численного и экспериментального исследования величин скорости в устье и сечении приемной воронки корпуса крупного дробления, можем заключить, что для эффективной организации местной вытяжной вентиляции необходимо: 1) установить экран перекрывающий устье воронки не менее чем на половину; 2) установить вертикальны фартук длиной не менее 1/3 от высоты приемной воронки, опускающий с конца экрана; 3) установить всасывающее отверстие сбоку на стенке приемной воронки в верхней ее части.

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект №14-41-08005р_офи_м) и РНФ (проект№15-19-20000)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Посохин В.Н. Аэродинамика вентиляции // М: АВОК-ПРЕСС, 2008. 209 с.

2. Логачёв И. Н., Логачёв К. И., Аверкова О. А. Энергосбережение в аспирации. Теоретические предпосылки и рекомендации // Москва–Ижевск: РХД, 2013. 504 с.

3. Логачев И.Н., Логачев К.И. Аэродинамические основы аспирации // СПб.: Изд. Химиздат, 2005. 659 с.

4. Аверкова О.А., Крюков И.В., Толмачева Е.И. Иммитационное моделирование эжекции воздуха в круглой трубе с байпасной камере // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 2. С. 207-211.

5. Аверкова О.А., Канар А.Э., Толмачева Е.И. Моделирование воздушных течений на входе в местные вентиляционные отсосы в виде раструбов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 1. С. 175-181.

6. Лифанов, И. К. Метод сингулярных интегральных уравнений и численный эксперимент // Москва: Янус, 1995. 520 с.

Logatchev K.I., Plotnikov K.V.

INVESTIGATION OF VELOCITY FIELD IN THE RANGE OF ACTIONS LOCAL VENTILATION SUCTION RECEIVING HOPPER OF THE HULL COARSE CRUSHING

Conducted experimental and numerical studies of the velocity field in mouth and characteristic vertical section receiving hopper of the hull coarse crushing, equipped with local ventilation exhaust. A mathematical model and a computer program are built using a numerical method for solving singular integral equations. Experimental measurements of the velocity were carried out on an experimental model. We investigate the effect of the screen, overlapping the mouth of the funnel, vertical apron and the location of the suction channel on the velocity distribution in the suction torch local suction ventilation.

Key words: *aspiration, overload of bulk materials, air ejection, unloading wagons, pavilions coarse crushing, the method of boundary integral equations, method of discrete vortices.*

Черныш Н.Д., доц.,
Тарасенко В.Н., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

МИКРОКЛИМАТ СЕЛИТЕБНОЙ ТЕРРИТОРИИ КАК МНОГОКОМПОНЕНТНАЯ СРЕДА АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

vell.30@mail.ru

Настоящее время отмечено возрастающими объемами застройки жилыми и административными зданиями уже сложившейся селитебной территории. Это влечет за собой неизбежные изменения следующих факторов, из которых складывается микроклимат застройки: вариабельность ветровых нагрузок, изменение направления и скорости ветра в рамках квартала, изменение инсоляции.

Ключевые слова: *комфортность пребывания, звукоизоляция, инсоляция, аэрация, микроклимат, селитебная территория.*

Настоящее время отмечено быстрым ростом городских территорий, появлением в них новых районов и уплотнением существующей застройки. Все это влияет на микроклимат как целого города так и его отдельных территорий. Микроклимат обладает особенностями, свойственными именно данной территории, которые обусловлены характером застройки, наличием промышленных предприятий, почвенным покрытием, распределением зеленых насаждений и водоемов. В исследованиях разных авторов [1…3] с целью оценки биометеорологических показателей селитебной территории говорится об особенностях микроклимата в городе в общем по сравнению с пригородными и открытыми территориям того же климатического района.

На формирование микроклимата города, помимо природных условий, оказывают влияние условия, создаваемые городской застройкой, а также функционированием автотранспорта, теплоэлектростанций, промышленных и других предприятий. Городская застройка изменяет природный рельеф: увеличивает шероховатость подстилающей поверхности (например, формирует котловинные условия на фоне равнинного рельефа), включает множество вертикальных поверхностей, создает пересеченную местность. Кроме того, теплофизические свойства (теплоемкость и отражательная способность) элементов городской застройки (стен зданий, крыш, дорог, мостовых) отличаются от теплофизических свойств элементов природного окружения. Почва города скрыта под строениями и дорожными (асфальтовыми) покрытиями.

Перечисленные особенности городской территории определяют факторы формирования микроклимата города:

— изменение рельефа, обусловленное городской застройкой;

— различие теплофизических свойств поверхностей элементов городской застройки и природного окружения;

— искусственные потоки тепла;

— загрязнение воздуха;

— снижение испарения из-за значительной площади элементов мощения в городской застройке;

— резкое уменьшение площади поверхности с растительным покровом и естественной почвой и др.

Эти факторы влияют на микроклимат города одновременно, но их вклад в разное время года и в различных климатических условиях весьма различен. Они вызывают изменение естественного радиационного баланса, условий тепло- и массообмена, нарушение естественного круговорота влаги. Все это определяет микроклиматическую изменчивость общеклиматических режимов в отдельных районах крупного города.

Повышение температуры объясняется нагревом элементов застройки за счет поглощения ими солнечной радиации и отражением радиации городскими поверхностями, а также уменьшением эффективного излучения тепла над городом. Величина отраженной радиации зависит от наклона и ориентации поверхностей, а также от альбедо строительных и дорожных материалов. При этом может происходить взаимооблучение элементов застройки, а вблизи инсолируемых поверхностей городского окружения может значительно возрасти температура воздуха. Из-за загрязнения атмосферного воздуха, а также неоднородностей подстилающей поверхности, обусловленных застройкой, ослабляется эффективное излучение над городом и соответственно уменьшается его ночное охлаждение. Кроме того, на испарение влаги асфальтным покрытием и другими городскими поверхностями тратится значительно меньше энергии, по сравнению с энергией, необходимой для испарения влаги растительным покровом. Поэтому в приземном слое воздуха городской территории, за счет малого расхода энергии на испаре-

ние влаги, остается значительно больше тепла по сравнению с территорией окрестностей.

Повышение температуры воздуха внутри города по сравнению с температурой окружающей местности приводит к образованию так называемого «острова тепла» над городом – области повышенной температуры воздуха, которая имеет вид купола. Размер «острова тепла» и другие его показатели зависят от метеорологических условий и особенностей города. «Остров тепла» разрушается ветром или атмосферными осадками, но устойчив в безветрие. На высоте до нескольких сот метров по границам «острова» происходит циркуляция масс теплого и холодного воздуха. Вертикальная скорость воздушных потоков сравнительно небольшая. В «острове тепла» давление атмосферного воздуха понижено. Это способствует притягиванию облаков верхних слоев атмосферы. Поэтому облака над городом расположены значительно ниже, чем над открытой местностью. Восходящие потоки воздуха образуют кучевую облачность. Образование «острова тепла» вызывает уменьшение притока солнечной радиации на территорию крупного города, увеличение количества атмосферных осадков, увеличение повторяемости туманов.

Элементы городской застройки и зеленые насаждения изменяют скорость ветра и его направление. Обычно скорость ветра в городе меньше, чем за его пределами. Усиление ветра возможно при расположении города на холмах или при совпадении направления ветра с направлением улиц. Для городов, где скорости ветра незначительны, характерны местные циркуляции воздуха. Причиной их возникновения может быть разная температура или освещенность отдельных участков городской территории. Движение воздуха, называемое термическим проветриванием, возникает между городом и его окрестностями, между зеленым массивом и территорией застройки, между нагретой солнцем и затененной частью улиц. Наличие водоемов способствует формированию местной циркуляции, подобной бризам.

Ветровой режим приземного слоя воздуха в условиях городской застройки принято называть аэрационным режимом. Аэрационный режим считается комфортным, если скорости ветра на территории застройки находятся в пределах от 1 до 5 м/с [4]. Участки городской территории, где скорость ветра меньше 1 м/с, относят к непроветриваемым, а более 5 м/с – к зонам продувания. Отдельно выделяют комфортный аэрационный режим (скорость ветра от 1 до 3 м/с) и аэрационный режим, близкий к комфортному (скорость ветра от 3 до 5 м/с) [4]. Непроветриваемые участки городской территории, или зоны застоя воздуха, создают антисанитарное состояние. Зоны продувания дискомфортны для человека.

Влажность воздуха в городах ниже по сравнению с окрестностями. Это связано с повышенными температурами атмосферного воздуха и меньшим содержанием в нем влаги за счет снижения количества испарений. Наибольшая разница по влажности воздуха между городом и его окрестностями в течение года наблюдается летом, а в течение суток – в вечерние часы. В зимнее время воздух города может быть более увлажнен за счет выбросов пара техногенными источниками. Зимой в городе выпадает меньше снега, а летом выпадает больше дождей.

Погодные условия могут оказывать негативное влияние на самочувствие человека, могут вызывать чувство комфорта. Погодой называют состояние атмосферы в данном месте в определенный момент или за ограниченный промежуток времени (сутки, месяц). Погода обусловлена физическими процессами, происходящими при взаимодействии атмосферы с космосом и земной поверхностью. Погоду характеризуют метеорологические показатели: атмосферное давление, температура и влажность воздуха, скорость и направление ветра, инсоляция, диффузная естественная освещенность, радиационный фон.

Современная городская застройка представляет собой сложную многокомпонентную среду обитания, микроклиматические условия которой влияют на состояние организма человека и часто приводят к ограничению возможности использования территории микрорайона для различных видов бытовой деятельности, игр детей (в первую очередь дошкольного возраста) и отдыха.

В градостроительстве решающую роль играет прямая солнечная радиация, которая оценивается инсоляционным режимом. Инсоляционный режим – режим облучения городских территорий и помещений зданий прямыми солнечными лучами. Инсоляцию городской застройки уменьшают облачность и загрязнение атмосферного воздуха. Солнечное облучение необходимо для жизни. Оно оказывает оздоровительное и положительное психологическое влияние на человека. Продолжительность инсоляции регламентируется санитарными нормами и соответствующими параграфами строительных норм [4, 5]. Нормы инсоляции зависят от климатической зоны размещения городской территории. В соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01 [6] на территориях игровых площадок, спортивных площадок жилых домов,

групповых площадок дошкольных учреждений, спортивных зон, зон отдыха общеобразовательных школ и школ-интернатов; зоны отдыха лечебно-профилактических учреждений стационарного типа продолжительность инсоляции должна составлять не менее 3-х часов на 50 % площади участка, независимо от географической широты.

СанПиН также определяет гигиенические требования по ограничению избыточного теплового воздействия инсоляции. На территории жилой застройки III и IV климатических районов защита от перегрева должна быть предусмотрена не менее чем для половины игровых площадок, мест размещения игровых и спортивных снарядов и устройств, мест отдыха населения.

Инсоляция на сегодняшний день является достаточно важным фактором проектирования, с которым необходимо считаться как на начальном этапе проектирования зданий различных типов, так и при реконструкции жилой застройки.

Как показывает практика строительства, без наличия надлежащей научной основы, то есть проверенной теории, инженерные расчеты для строительства могут быть неверными, что может привести к непредсказуемым последствиям. Такой необходимой научной основой как раз располагает строительная физика, которая включает: исследование микроклимата помещений, теплопередачи, влажностного режима и воздухопроницания ограждений; исследования естественного и совмещенного освещения, инсоляционного режима, разработку световых и цветовых решений; исследования и разработки в области борьбы с шумом и обеспечения оптимальных акустических условий в помещениях. При изучении перечисленных проблем наряду с теоретическими методами широкое распространение имеют экспериментальные методы физических исследований. Экспериментальные методы позволяют выявить характеристики физических свойств материалов и конструкций, определить состояние среды, в которой они эксплуатируются. Установить эксплуатационные качества ограждений (теплозащиту, теплоизоляцию и др.) и помещений (микроклимат, световой и акустический режимы и др.). Изучение тепловых процессов имеет значение для большинства строительных проектов. Например, на основе моделирования основных тепловых процессов можно рассчитать ожидаемый перенос тепла и вещества при различных внешних условиях. Практическое применение таких расчетов очевидно — на их основе можно проектировать строительство зданий в разных климатических условиях, можно определить теплофизические характеристики строительных материалов, необходимые в конкретном случае.

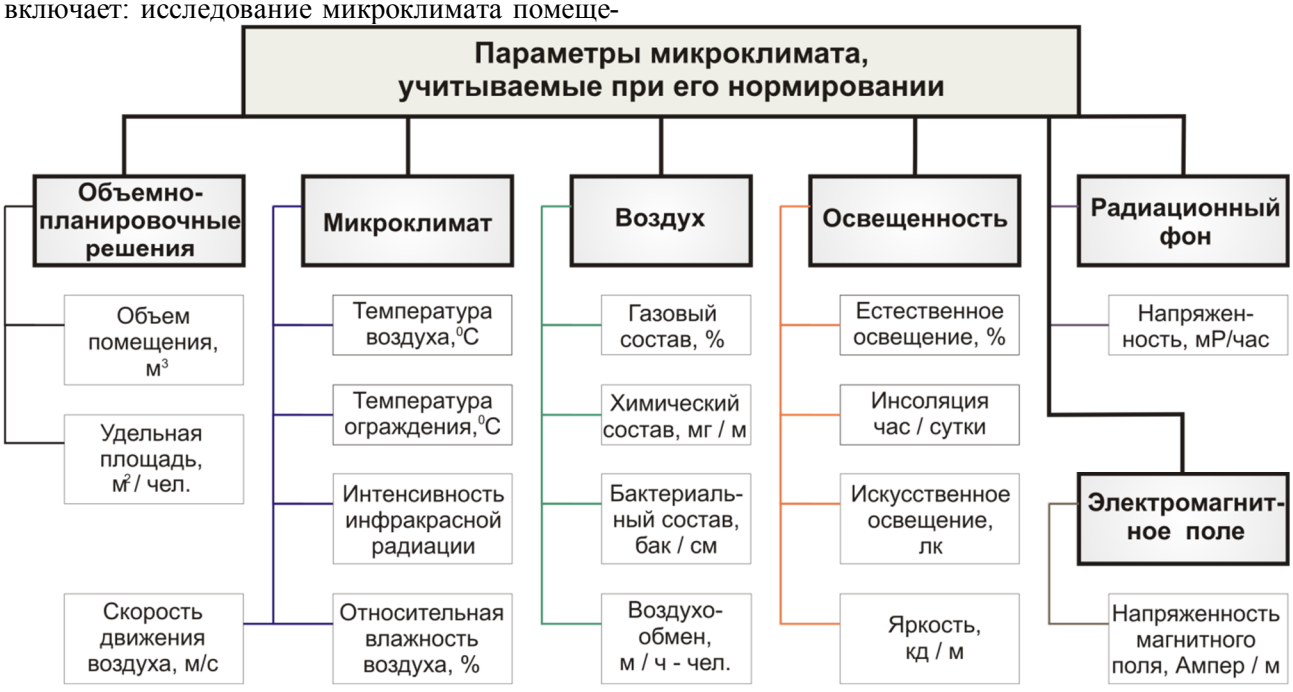


Рис. 1. Параметры микроклимата, учитываемые при его нормировании в помещении

Перспективы дальнейшего развития строительной физики связаны с использованием новых средств и методов исследований. Например, структурно-механические характеристики материалов и их влажностное состояние в конструкциях зданий изучают с помощью ультразвука, лазерного излучения и т.п. Распределение температур на поверхностях конструкций, в воздушной среде помещений и потоках воздуха исследуют методами моделирования и термографии на основе закономерностей интерферен-

ции света при различном тепловом состоянии среды.

Таким образом, строительная физика – прикладная наука, на которой базируется грамотное решение вопросов энергосбережения, оптимального освещения и акустического режима зданий, комфортности, плотности и экономичности застройки.

Стоит отметить, что сегодня проект любого строительства разрабатывают в соответствии с требованиями строительных норм, регламентирующих и содержащих необходимую информацию для проектирования строительных работ в различных условиях.

При разработке проекта строительства выпускник вуза должен иметь компетенцию определять строительные нормы, обеспечивающие соблюдение требуемых условий для конкретного строительства, в обязанности которого входит оценка качества строительства в разные временные отрезки: на стадии проектирования, во время строительных работ, после возведения зданий и сооружений, а также на протяжении их эксплуатации.

Для понимания сущности средств и методов создания условий воздушной среды, необходимо иметь представление о температурном и влажностном режимах как воздушной среды сооружения, так и ограждающих конструкций здания. Важно также уметь оценивать и влияние на сооружение внешних условий окружающей среды. Для понимания содержания качества микроклимата полезно иметь в виду, с одной стороны, перечень определяющих его параметров воздушной среды, а с другой, – методы учета комплексного воздействия последних.

Синергизм указанных компонент знаний дает возможность обосновать и логически объяснить особенности принимаемых объемно-планировочных и конструктивных решений зданий и микроклимата городской застройки в целом.

При переходе на обучение по учебным планам подготовки бакалавриата направления «Строительство» и студенты, и преподаватели кафедры столкнулись с рядом проблем. Особо следует обратить внимание на мнение о том, что изучение строительной физики возможно самостоятельно, по мере необходимости и т.п. С сожалением следует отметить, что в общей массе студенты 2-го курса не готовы к восприятию самостоятельных методов работы. Они не умеют работать с литературными источниками информации.

Направление «Строительство» объединяет профили «Автомобильные дороги и аэродромы», «Городское строительство и хозяйство», «Производство строительных материалов, изделий и конструкций», «Промышленное и гражданское строительство», «Теплогазоснабжение и вентиляция», «Экспертиза и управление недвижимостью». С учетом требований Федерального государственного образовательного стандарта (ФГОС) в учебных планах всех профилей предусмотрена дисциплина «Основы архитектуры и строительных конструкций (ОАиСК)», содержание которой является единым. При этом содержание дисциплины рекомендовано преподавать одинаково для студентов различных специальностей, не учитывая специфику приобретаемой профессии. Единый для всех контент не позволяет студентам получать профессионально ориентированное знание, дополнительную учебную информацию, выбирать вариативное содержание дисциплин, наиболее полно соответствующее их индивидуальным познавательным интересам.

При разработке рабочей программы курс ОАиСК разделен на два модуля: строительная физика и архитектура гражданских и промышленных зданий. Для студентов дневной формы обучения общий объем лекций 36 часов включает 10 часов лекций по строительной физике, 18 часов лабораторных занятий. Чтение лекций, выполнение лабораторных работ на кафедре осуществляют преподаватели, специализирующиеся на вопросах строительной физики. Это имеет существенное значение для будущей профессиональной деятельности выпускников в связи с актуальностью вопросов обеспечения комфортного микроклимата в помещениях зданий различного назначения, решения задач звукоизоляции и акустики, естественного освещения помещений, инсоляции помещений и территории и др.

В данной ситуации преподаватели руководствуются следующими правилами: при построении содержания дисциплины делать акценты на обязательных требованиях, связанных с формированием, так называемых, стандартных компетенций, которые должны формироваться у обучающихся в технических вузах, а также на специфических требованиях, которые свойственны выпускникам определенного профиля; необходимость подбора методического и содержательного материала дисциплины таким образом, чтобы обучающийся смог осознать в какой области своей профессиональной деятельности он сможет этот материал (знания, умения и навыки) использовать с максимальной отдачей.

Изучение новых понятий, категорий по теме проводится с целью освоения и понимания студентами основных категорий учебной дисциплины, сущности изучаемых явлений и процес-

сов. Анализ различных литературных источников по одной теме дисциплины предполагает не просто заучивание и запоминание учебной информации, изложенной в различных источниках, а ее проработку, сравнение, обобщение, систематизацию, выделение главного, особенного и так далее.

Практические работы, выполняемые студентами, предполагают самостоятельную отработку профессиональных действий по решению основных задач, к выполнению которых студент должен быть готов по окончании вуза.

Жизнь и здоровье людей напрямую зависит от условий, в которых они находятся, поэтому создание правильного микроклимата позволит улучшить многие жизненные показатели.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Петрянина Л.Н., Кузяева Н.А., Дерина М.А. Варианты климатического регулирования микроклимата застройки средствами благоустройства, озеленения и обводнения территории // Пензенский государственный университет архитектуры и строительства [Электронный ресурс]. http://www.rusnauka.com/38_NIEK_2014/Stroitelstvo

2. Исаев А.А. Экологическая климатология. М.: Научный мир, 2001. 458 с.

3. Романова Е.Н., Гобарова Е.О., Жильцова Е.Л. Методы использования систематизированной климатической и микроклиматической информации при развитии и совершенствовании градостроительных концепций. С-Пб., 2000. 159 с.

4. Денисова Ю.В., Тарасенко В.Н. Звукоизоляция жилых и офисных помещений // Образование, наука, производство и управление. Т. II. Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. С. 15–17.

5. Коренькова Г.В., Митякина Н.А., Черныш Н.Д. Градостроительная концепция развития и преобразования городской среды Белгорода // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: сб. науч. тр. / Самарский гос. арх.-стр. ун-т (6-10 апреля 2015 г.). Самара, 2015.

6. Коренькова Г.В., Митякина Н.А., Черныш Н.Д. Проблемы реконструкции застройки Белгорода // Магистры – будущая кадровая основа строительной отрасли: сб. статей Междунар. науч.-метод. конф. Пенза, 2009. С. 88-90.

7. Тарасенко В.Н., Соловьева Л.Н. Проблемы звукоизоляции в жилищном строительстве // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 4. С. 48–52.

9. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. №3. С. 217–227

10. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Техническое резюме. М.: Росгидромет, 2008. 29 с.

Chernysh N. D., Tarasenko V. N.

THE MICROCLIMATE OF RESIDENTIAL AREAS AS MULTI-COMPONENT ENVIRONMENT OF ARCHITECTURAL DESIGN

Currently there has been growing construction volumes ilimi and administrative buildings already established residential areas. This entails the estates of the following factors that contribute to the microclimate of building: variability of wind loads, and wind speed in the quarter, the change in insolation.

Key words: *comfort, sound insulation, insolation, ventilation, microclimate, residential area*.

Степанова-Третьякова Н.С., ст. преп.,
Храбатин В.М., ст. преп.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТВОРЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В АРХИТЕКТУРЕ

tristena@mail.ru

Постоянное совершенствование творческой деятельности студентов является неотъемлемой частью не только технического образования, но и архитектуры в целом. А формирование художественных умений является одним из основополагающих творческой деятельности студентов направления архитектуры. Именно эта составляющая оказывает непосредственное влияние на развитие профессиональных навыков, которые так необходимы для будущих архитекторов. А такой компонент как освоение пластической характеристики формы представляет собой один из главных показателей уровня художественных и профессиональных умений будущих архитекторов. Ведь способность передавать особенности характеристики формообразующих элементов является основополагающим в области архитектуры. Пластическое решение входит в понятие любой формы. Существуют грубая конструктивная и плывучая, текучая оболочка в любом проектируемом объекте или предмете архитектуры, которая естественно базируется на внутренних конструкциях. Для того чтобы научить студентов создавать гармоничные сочетания различных пластических форм, необходимо прежде всего формирование художественных умений средствами освоения и передачи различных пластических решений. А соединение таких дисциплин как рисунок и скульптура помогут более полновесно и наглядно повлиять на процесс совершенствования творческой деятельности у бакалавров-архитекторов.

Ключевые слова: *научные основы творческой деятельности, художественные умения, пространственно-пластический способ изображения, архитектура, рисунок, скульптура.*

Методология. Методика аспектов научной основы совершенствования творческой деятельности студентов в области архитектуры осуществляется разными методами. Одним, из которых является формирование художественных умений. Именно они полностью раскрывают у будущих архитекторов понятие творчества. Передача характера пластического решения – это один из показателей художественных умений у студентов – архитекторов. Средства освоения пластического характера формы на занятиях по рисунку и скульптуре нацелена, прежде всего, на обучение студентов технических высших учебных заведений такой специальности как архитектура. В процессе освоения и передачи характеристик формы, как научной основы совершенствования творческой деятельности, студенты могут применять приобретённые знания непосредственно в проектной деятельности, которая предполагает создание предметов и объектов разного начертания и конструкций в архитектуре.

Основная часть. Научные основы совершенствования творческой деятельности включают любые умения, включая и художественные. Они в свою очередь базируются, прежде всего, на знаниях, полученных на занятиях. Их основа заключается в способности к целенаправленной и продуктивной деятельности ведущей к положительному результату [1]. В свою очередь сочетание художественных и профессиональных умений, как основы творческой деятельности приводят к приобретению навыков и мастерства в целом, которые так необходимы в архитектурно-дизайнерском образовании. Подтверждением являются слова Ю.В. Чернышева: «В решении одной из важнейших и наиболее сложных проблем подготовки будущих специалистов – развитие конструктивно-пространственного мышления и творческого воображения, что в свою очередь является базой для комплексного обучения в процессе графической и проектной подготовки» [2]. Из исторического онтогенеза изобразительного искусства следует, что форма включает в себя: конструкцию и объём. В результате этого длительного развития сложилось четыре способа изображения передачи предмета или объекта. К ним относятся: контурно-схематический, геометрально-математический, конструктивно-пространственный и пространственно-пластический методы [3]. Зачатки передачи формы последнего мы можем наблюдать ещё в первобытном искусстве. Его также в XX веке знаменитый художник-педагог Н.Э. Радлов назвал «Методом плетения каната (верёвки) или косы». Самым замечательным является то, что автор не просто создал описание, но и сопоставил методы контурного – схематического плоскостного и прстранственно-пластического – объемного изображения натуры. Оба метода осуществляются линейным способом изображения предмета или объ-

екта. Но между ними стоит большое отличие, которое заключается не только в передаче, но и восприятии формы. Подтверждением служат слова Н.Э. Радлова: «Плоскостное изображение, лишая рисуемую модель ее предметности, помогает извлечь ее линейные, так сказать, орнаментальные свойства. Объемное изображение, игнорируя орнаментальные качества модели, указывает кратчайший путь к определению ее объемных, предметных качеств» [4]. Пространственно-пластический способ изображения заключается в оплетении формы, линией, которая заводится вовнутрь её в пространстве. Таким образом, представляет собой сочетание суммы пластических ритмов линии, которые передают характер очертаний предметов, которые воспринимаются при помощи такого составляющего компонента в рисунке как освещение. Пластический способ изображения как элемент целостного видения формы, включает в себя все три способа изображения, которые являются мыслительными операциями анализа натуры. Этим способом изображения владели такие художники как А. Матисс, П. Гоген, П. Пикассо, В. Серов, А. Муха, И. Билибин, А. Дейнека, Н. Рушева. Освоение же пространственно-пластических характеристик в передаче формы позволят студентам архитекторам развить чувство восприятия и передачи характера внешней формы в художественной и проектной деятельности, которая базируется на знаниях конструкции. Но так как сразу делать линейные рисунки тушью или гелиевой ручкой, без предварительного наброска карандашом, сложно, поэтому необходимо, сначала ввести задания на передачу пластики натуры по средствам передачи плоскостных очертаний формы с заливкой теней чёрным тоном. Затем акцентировать внимание на приёме многократного пластического повторения линий по форме. Далее работа заключается в выполнении одной пластической линией, т.е. пространственно – пластический способ изображения, с тщательной детализацией. Итоговое упражнение – стилизация пластического решения, т.е. обобщённое изображение.

На первом этапе освоения пластического характера формы, предлагается студентам направления архитектуры выполнить наброски средствами передачи плоскостных очертаний формы с заливкой теней чёрным тоном. Предложенное данное задание предполагает разбитие формы на свет и тень без использования карандаша при помощи таких художественных материалов как тушь, перо кисть. Безусловно, теневые части изображения заливаются тушью (рис. 1).

Рис. 1. Плоскостное очертание формы с заливкой теней чёрным тоном.
Рисунки Степановой-Третьяковой Н.С.

На втором этапе предлагается выполнить наброски многократным пластическим повторением. Этот способ помогает адаптировать студентов к освоению пластической формы изображаемых предметов и объектов. Процесс введения многократного пластического наложения линии подразумевает множественное нанесение их со стороны тени, частичное – полутени и отсутствие со стороны света и блика. Графическое изображение на листе осуществляется при помощи туши и пера, без предварительного рисунка карандашом. Привыкая к многократному пластичному нанесению рисунка, у студентов развивается восприятие пластики формы, а так же графические художественные умения (рис. 2).

На третьем этапе осуществляется переход непосредственно к пространственно-пластическому способу изображения формы, по средствам одной пластической линии. Она не обрисовывает контур, как в контурно-схематическом изображении, а оплетает форму, заводится вовнутрь её в пространстве, источник освещения диктует обучающимся пластические выходы. Линия проходит со стороны полутени и тени, а где идёт сильное освещение формы –

пропадает и тем самым представляет собой сочетание пластических ритмов. Изображение необходимо передать с тщательной детализацией. Работа выполняется при помощи туши и пера без рисунка карандашом (рис. 3).

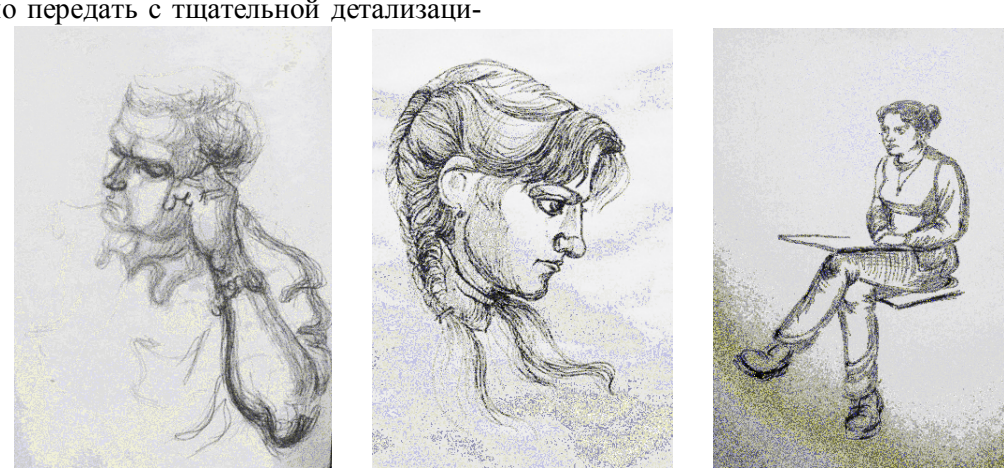


Рис. 2. Многократное пластическое повторение. Рисунки Степановой-Третьяковой Н.С.

Рис. 3. Пространственно-пластический рисунок. Рисунки Степановой-Третьяковой Н.С.

На четвёртом этапе студентам предлагается выполнить стилизованное пластическое изображение. Процесс также выполняется одной линией пером и тушью, но без тщательной детализации. В ходе работы будущие архитекторы создают постепенное условное изображение, убирая детализацию. В результате итоговые работы доводятся до сильного упрощения с применением гротеска. Таким образом, студенты развивают обобщённое условное восприятие и художественные умения владения стилизованной пластической трактовки формы, которое может применяться при создании стофажа, пиктограмм в проектной деятельности (рис. 4).

Бесспорно, освоение процесса пластической характеристики формы должен осуществляться и параллельно с такой дисциплиной как скульптура. Именно, она даёт полное представление и понимание внешней составляющей предмета и объекта. Также в процессе освоения пластики формы задействуются не только зрительные ощущения, но и тактильные. Тем самым, полновесно развиваются восприятие формы, пространственное мышление, художественные умения, что является основами совершенствования творческой деятельности. Но в начале процесса изучения такого сложного предмета как скульптура, студенты сталкиваются со многими проблемами. К ним относятся: точная передача пропорций, частных плоскостных соединений в сочетании с общей формой, передача особенностей пластического характера формы, индивидуальных черт, освоение различных художественных приёмов и передача образа. В связи с этим предлагается по этапное изучение формы в скульптуре.

Первое занятие на тему «Композиция из геометрических фигур, пластических элементов» предполагает изучение врезки, соединение простейших тел вращения или пластических элементов в единую целостную стилистическую форму. Сложная комбинация таких разных по характеру форм предметов, пластических ритмов и деталей геометрии, развивает целостное восприятие формы. Она же формирует пространственное и абстрактное мышление. Так как сочетание тел вращения, соединение, перетекание пластических элементов должно создаваться в соответствии с законами композиции, а не

стихийно, результатом должна быть абстрактная скульптурная композиции (рис. 5).

Рис. 4. Стилизованно-пластический рисунок. Рисунки Степановой-Третьяковой Н.С.

Рис. 5. Композиция из стилизованных геометрических фигур, элементов.
Работы студентов под руководством Храбатина В.М.

Второе занятие посвящено проектированию и исполнению в материале скульптурно-пластической композиции «Фонтан» и заключает в себя более сложную задачу. В неё входят привязка сочетания форм в единый сложный объект с конкретным названием - «Фонтан». Если первое задание основано на комбинацию и сочетание разных геометрических форм в единую абстрактную композицию, то в последующем – предполагается создание единого стилевого предмета, относящегося к объемной композиции. Студентам предлагается создать скульптурное изображение, развивающееся по оси Y или по оси X, т.е. по вертикали или горизонтали, но с главной задачей – восприятие формы со всех сторон, а это является главным фактором объёмной композиции [5] (рис. 6).

Третье занятие относится к проектированию и исполнению в материале композиции «Памятная стела, въездной знак, знак-символ», которая входит в рамки учебной программы специальностей направления «Архитектура», «Градостроительство», «Дизайна архитектурной среды». Эта тема основана на сочетании плоских и криволинейных поверхностей с использованием выразительных дополнительных элементов и выявлением композиционного центра в скульптурной композиции и компоновкой шрифта.

Цель этого задания приобщить студентов к понятию масштаба в скульптуре, сочетание формы со шрифтовой композицией. Бесспорно, предшествующие занятия являлись подготовительным этапом.

Поэтому задачи, которые ставились перед студентами ранее, предполагается учитывать и в этой теме (рис. 7).

Четвёртое занятие «Голова человека. Портрет», является наиболее сложным и ведётся параллельно с академическим рисунком. Процесс лепки головы осуществляется на деревянном каркасе: для этого из нескольких досок сколачивают щит, к нему крепят вертикальный стержень, к которому крепятся металлические проволочки с небольшими свисающими крестовинами. Такой каркас будет фиксировать, держать форму. Данное задание «Голова человека. Портрет» разбито на несколько стадий. Вначале на занятиях по скульптуре студенты выполняют череп. Необходимо обратить внимание, что в

процессе лепки необходимо отталкиваться от больших форм к постепенной детализации. Следующей стадией является анатомическое, конструктивное и пластическое строение мышц головы. Наращивание мышечного слоя происходит с учётом внешних характеристик натуры. И в конечном результате обучающиеся придают полное сходство с натурой, где доминирующими задачами являются передача пластики головы и индивидуального сходства. Домашними заданиями для обучающихся являются конструктивные, пластические наброски в сочетании с небольшими скульптурными поисками изучения черепа, мышц, отдельных частей головы созданных по примерам немецкого педагога Г. Баммеса [6]. Сложность данной темы заключается не только в передаче сходства с натурой, но и поиска переломов плоскостей частей головы человека, принципа её соединение с шеей. Зачастую в этом задании ошибкой в работах студента является «надутость» формы или же увлекаясь чрезмерной конструкцией, обучающиеся упускают пластические индивидуальные особенности натуры. И как результат таких ошибок – отсутствие полного сходства с натурой. Поэтому рекомендуется сочетание конструктивно-пространственных и пространственно-пластических набросков со скульптурными поисками (рис. 8).

Рис. 6. Фонтан. Работы студентов под руководством Храбатина В.М.

Рис. 7. Памятная стела, въездной знак, знак-символ. Работы студентов под руководством Храбатина В.М.

Пятое задание посвящено изучению пластики и строения человеческого тела «Фигура человека в круглой скульптуре». Главной задачей является построение фигуры человека в круглой скульптуре, выливающееся в проектирование и исполнение в материале памятника (монумента). Задание пересекается с рисунком, в процессе которого студенты постигают особенности конструктивного построения костной и мышечной основы фигуры человека, пропорции, возрастные и половые различия, понятие «контрапоста», строение и пластику человеческого тела.

На занятиях студенты должны уметь делать каркас из проволоки для небольшой модели фигуры человека и нарастить его мягким материалом, учитывая выходы опорных точек костей скелета и пластического строения мышц, тщательное изучение пособий по пластической анатомии Г. Павлова, М.Ц. Рабиновича, Е. Барчаи, Б. Хогарта и Г. Баммеса [6].

Результатом должна быть выполнена стоящая фигура человека с опорой на одну ногу или натура в положении сидя.

Рис. 8. Голова человека. Портрет. Работы студентов под руководством Храбатина В.М.

Следующий этап пятого задания небольшие конструктивные и пластические наброски с динамичной фигурой, композиционные поиски, сочетаемые с задуманной студентом определённой тематикой. И как итог - проектирование в мягком материале памятника или монумента (рис. 9).

Рис. 9. «Фигура человека в круглой скульптуре». Работы студентов под руководством Храбатина В.М.

Шестое задание «Условно садово-парковая скульптура» представляет собой проектирование малой архитектурной формы с привязкой к конкретному ландшафту. Данная тема является итогом предыдущих заданий. Студентам предстоит самостоятельно создать поисковые эскизы, затем с согласованием педагога утвердить объёмную композицию. Форма садово-парковой скульптуры может быть как абстрактным объектом, состоящим на основе пластического сочетания, врезки криволинейных поверхностей, геометрических форм или реалистической круглой скульптурой: голова, бюст, фигура. Здесь студентам предоставляется возможность самим выбрать тему, ситуацию, т.е. место для проектирования, поиск единого стилистического решения формы, т.е. характер пластики, создание самой скульптуры и постамента к ней. Это задание включает в себя решения ряда сложных задач: художественно-образное решение с привязкой к конкретной, реальной местности. Таким образом, постепенно обучающиеся находят единство, гармонию пластической формы своей композиции с ландшафтом, окружением реальной ситуации. Итогом является не только смоделированная скульптурная композиция в материале, но и проектная работа с привязкой к конкретному ландшафту (рис. 10).

Таким образом, проблема научной основы совершенствования творческой деятельности средствами освоения пластического характера формы на рисунке и скульптуре является актуальной в архитектуре. И сочетание этих дисциплин – взаимодополняющим. Это подтверждают и слова выдающегося немецкого педагога-практика в области этих художественных предметов Готфрида Баммеса: «На основании опыта, я могу утверждать, что это приносит хорошие результаты, ибо во время моделирования необходимо наблюдать предмет с великого множества сторон и ракурсов; такое интенсивное занятие активизирует учащихся» [6].

Скульптурное моделирование даёт полное представление о развитии пластической формы

в пространстве, как академического характера, так и стилизованного.

Рис. 10. Условно садово-парковая скульптура. Работы студентов под руководством Храбатина В.М.

Оно помогает студентам более углубленно, осмысленно посмотреть на натуру и передать её характеристики, как в скульптурном материале, так и в графическом.

Выводы. Научные основы в области совершенствования творческой деятельности студентов является основополагающим в продолжение развития самой архитектуры. Формируя творческие способности средствами художественных умений у будущих архитекторов, студенты получают дополнение к развитию профессиональных навыков. Эти факторы соответствуют единой стандартизации в современном образовании Высших технических учебных заведений. Технические ВУЗы включают в себя такие направления как архитектура, градостроительство, дизайн, и предполагают, прежде всего, не только техническую ориентацию, но и художественную, являющуюся главным компонентов эстетики, красоты [7]. Безусловно, проектированные объекты должны быть не только функциональны, конструктивны, но и эстетичны, гармоничны, привлекательны. Такие дисциплины как рисунок и скульптура формируют у студентов направления архитектуры художественные умения, которые в сочетании с профессиональными дают полное представление о функции, конструкции и красоте объекта. А такая составляющая как форма, включающая в себя внутреннее содержание и оболочку, имеет различные пластические характеристики. Они в свою очередь оказывают влияние на психофизиологическое состояние человека. Таким образом, характер пластического решения создаёт психологические аспекты создания и восприятия архитектурного объекта. А чтобы обучить

студентов создавать гармоничные проекты, необходимо совершенствовать творческую деятельность при помощи развития художественных умений средствами передачи пластического характера формы. Успешное поэтапное освоение её закономерностей на дисциплинах рисунок и скульптура побуждает будущего архитектора к пониманию единого стилевого решения и передачи образа. Это является итогом совершенствования творческой деятельности, а так же достаточным уровнем подготовки будущих специалистов. Поэтому освоение закономерностей пространственно - пластического способа изображения студентами направления архитектуры является полновесным и необходимым в высшем техническом образовании, характеризующего непосредственно и само качество подготовки в творческой деятельности. Ведь от её уровня будущих специалистов в данной области в дальнейшем зависит и качество жизнедеятельности человека [8].

Из вышесказанного следует, что освоение пластического характера формы на занятиях по рисунку и скульптуре является способом совершенствования творческой деятельности студентов не только в области архитектурного образования, но и в частности архитектуры в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горбулина А. В. Формирование умений стилизации у будущих учителей изобразительного искусства // Современные проблемы художественно-педагогического образования. Курск, 2013. С. 3-7.

2.Чернышев Ю.В. Исторический аспект развития архитектурного рисунка как дисциплины художественного цикла в архитектурном образовании // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. №2. С. 190–193.

3. Степанова-Третьякова Н.С., Шабанов Н.К. Формирование художественных умений у студентов дизайнеров, архитекторов по средствам освоения формы предметов в академической системе рисования // Декоративное искусство и предметно - пространственная среда. Вестник Московской государственной художественно-промышленной академии имени С.Г. Строганова. 2014. № 4. С. 295-300.

4. Радлов Н.Э. Рисование с натуры. Л.: Изд. «Художник РСФСР», 1978. 126 с.

5. Степанов А.Ф. Мальгин В.И. Объемно-пространственная композиция / Под ред. А.Ф. Степанова. М.: Изд. «Архитектура-С», 2007. 256 с.

6. Баммес, Г. Изображение фигуры человека: пособие для художников, преподавателей и учащихся, перевод В.А. Виталса / Под ред. Л. Робине. М.: Изд. ЗАО «СВАРОГ и К», 1999. 336 с.

7. Шевченко Н.И., Бондарев Ю.И., Тикунова С.В. Дизайн, красота и эстетическое освоение нехудожественного бытия человека // Духовное возрождение: сборник научных, научно-прикладных и творческих работ. Белгород, 2011. С. 130–150.

8. Гузаиров В.Ш., Зайцев С.А. Повышение качества образования как социальная проблема // Тенденции развития общества: единство самоорганизации и управления: сборник материалов международной научно-практической конференции (приуроченной к 80-ию со дня рождения Г.А. Котельникова. Белгород, 2011. С. 133–135.

Stepanova-Tretyakova N.S., Chrabatin V. M.

SCIENTIFIC BASIS FOR IMPROVING CREATIVITY IN ARCHITECTURE

Continuous improvement of students ' creative activity is an integral part of not only technical education but also architecture in General. And the formation of artistic skills is a fundamental creative activity of students in the areas of architecture. It is this component that has a direct impact on the development of professional skills that are necessary for future architects. A component such as the development of plastic characteristics of the form represents one of the main indicators of the level of artistic and professional skills of future architects. After all, the ability to pass on characteristics the characteristics of the shaping elements is fundamental in the field of architecture. Plastic solution is included in the concept of any form. There are rude and constructive floating, sheath fluid in any of the designed object or the subject of architecture, which of course is based on internal structures. To teach students to create a harmonious combination of different plastic forms, it is first necessary for the formation of the artistic skills means the development and transfer of various plastic solutions. And the connection of such disciplines as drawing and sculpture will help to more fully and clearly to influence the process of improving the creative activity of bachelors architects.

Key words: *scientific basis of creative activity, artistic skills, spatial-plastic method of images, architecture, drawing, sculpture.*

Логанина В.И., д-р техн. наук, проф.,
Кислицина С.Н., канд. техн. наук, доц.,
Фролов М.В., аспирант
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

ИЗВЕСТКОВОЕ КОМПОЗИЦИОННОЕ ВЯЖУЩЕЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ АЛЮМОСИЛИКАТНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ

loganin@mail.ru

В статье приведены сведения о химическом составе добавки на основе алюмосиликатного наполнителя. Предложено известковое композиционное вяжущее, включающее известь, белый цемент, добавку на основе алюмосиликатного наполнителя, пластифицирующую добавку. Описаны закономерности взаимодействия различных пластифицирующих добавок с известковым композиционным вяжущим. В ходе исследований установлено, что известковое композиционное вяжущее характеризуется ускоренным набором пластической прочности Выявлено уменьшение количества свободной извести и повышение прочности в образцах на известковом композиционном вяжущем.

Ключевые слова: *вяжущее, алюмосиликикаты, белый цемент, синтез, пластическая прочность.*

Введение. При реставрации зданий исторической застройки используются различные известковые составы, однако большинство из них обладает низкими эксплуатационными свойствами. Для регулирования структуры и свойств покрытий на основе известковых составов предлагается введение в рецептуру добавок на основе гидросиликатов кальция, синтетических цеолитов, органоминеральных добавок [1…4].

Основная часть. Нами предложено для повышения стойкости известковых покрытий применять известковое композиционное вяжущее, включающее известь, белый цемент, добавку на основе алюмосиликатного наполнителя, пластифицирующую добавку. Добавку получали синтезом, заключающимся в каустификации щелочно-кремнеземистых растворов гидроокисью кальция с последующим взаимодействием полученного гидросиликата кальция с раствором сульфата алюминия $Al_2(SO_4)_3$ [5].

Для синтеза добавки в работе применяли жидкое натриевое стекло с силикатным модулем 2, 9, 10 % раствор технического сульфата алюминия $Al_2(SO_4)_3$ и негашеную известь.

Полученная добавка представляет собой легкий порошок белого цвета с насыпной плотностью 0.24 ± 0.05 г/см^3. На рис. 1 представлен электронно-микроскопический снимок синтезируемой добавки.

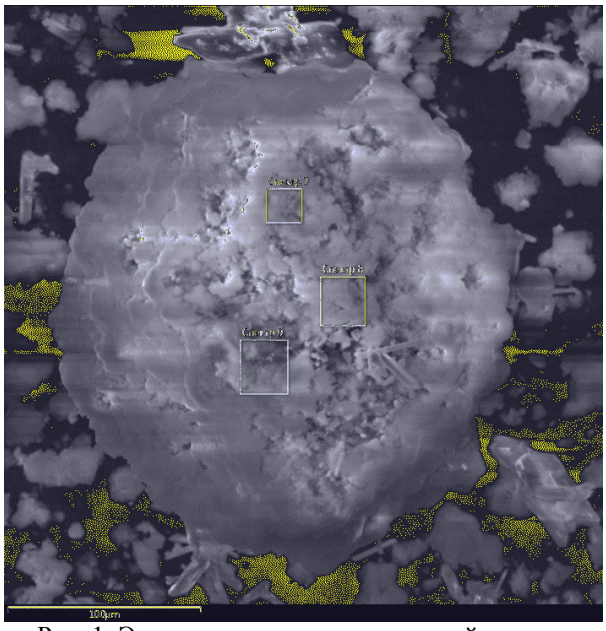


Рис. 1. Электронно-микроскопический снимок добавки

Химический состав добавки представлен в табл 1.

Таблица 1

Химический состав синтезируемой добавки

Название спектра	Содержание элементов, %					
	C	O	Na	Al	Si	Ca
Спектр 7	11,59	43,12	2,87	4,43	19,61	17,04
Спектр 8	12,00	47,02	3,39	3,92	17,05	15,11
Спектр 9	11,22	42,80	3,06	4,28	19,63	17,71

Высокое содержание химических элементов C, Si, Na, Al и Ca свидетельствует о преобладании оксидов соответствующих элементов. Совокупная доля примесей F, Mg, S, Ci, Cu составляет не более 1,5 %.

Предлагаемая добавка использовалась для изготовления известкового композиционного вяжущего (ИКВ), которое предлагается применять при разработке рецептуры сухой строительной смеси (ССС). В качестве

вяжущего применяли известь-пушонку 2 сорта с активностью 86 %. Содержание синтезируемой добавки составляло 5 % от массы извести.

Реологические свойства известкового теста оценивались по показателю предельного напряжения сдвига с помощью конического пластометра КП-3.

Результаты исследований приведены на рис. 2.

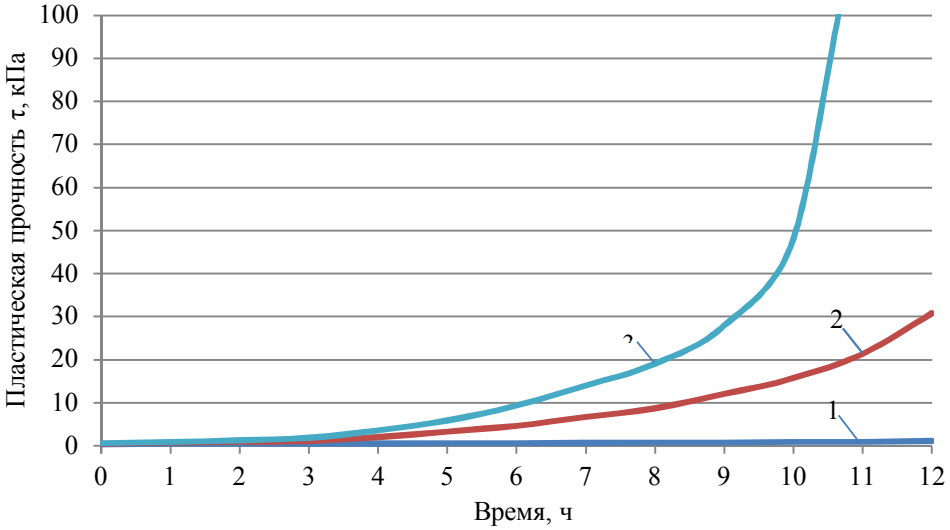


Рис. 2. Изменение пластической прочности известковой смеси:
1 – контрольный состав на известковом вяжущем, В/И=1; 2 – состав на ИКВ, В/И=1;
3 – состав на ИКВ с добавлением 5 % белого цемента, В/И=1

Установлено, что ИКВ с добавкой на основе алюмосиликатного наполнителя характеризуется ускоренным набором пластической прочности. Так, пластическая прочность контрольного состава в возрасте 6 ч твердения составляет τ = 0,61 кПа (рис 2. кривая 1), а на ИКВ – τ = 4,65 кПа (рис. 2, кривая 2). Применение дополнительно белого цемента в рецептуре композиционного вяжущего способствует большему ускорению набора пластической прочности. Пластическая прочность состава на ИКВ (без цемента) через 8 ч после затворения составляет τ = 8,73 кПа (рис. 2, кривая 2), а состава на основе ИКВ с использованием белого цемента в количестве 5 % от массы извести – τ = 19,07 кПа (рис. 2, кривая 3).

С целью регулирования реологических свойств ИКВ применялись пластифицирующие добавки С-3, Melflux 2651 F. Содержание пластифицирующих добавок составляло 1 % от массы извести.

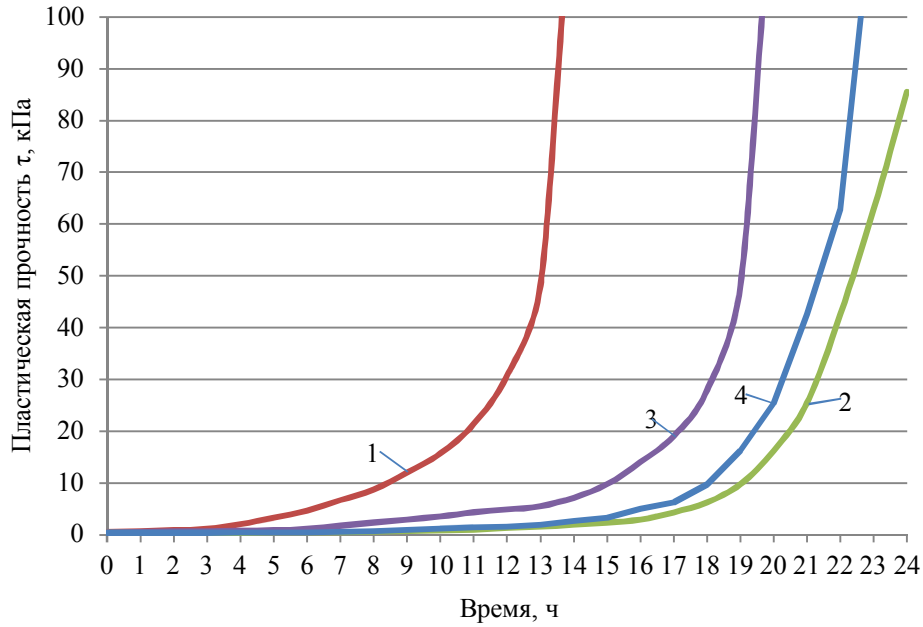


Рис. 3. Изменение пластической прочности известковой смеси с добавлением пластифицирующих добавок:
1 – контрольный состав на ИКВ, В/И=1; 2 - состав на ИКВ с добавкой Melflux 2651 F, В/И=1; 3 - состав на ИКВ с добавкой С-3, В/И=1; 4 - на ИКВ с добавкой Melflux 2651 F и применением 5% белого цемента, В/И=1

Анализ пластограмм (рис. 3) свидетельствует, что применение пластифицирующих добавок приводит к более медленному структурообразованию. Так, в возрасте 10 ч с момента затворения пластическая прочность состава с добавкой Melflux 2651 F в количестве 1 % от массы извести составляет τ = 0,80 кПа (рис. 3, кривая 2) , а у контрольного состава на ИКВ – τ = 15,72 кПа (рис. 3, кривая 1). Пластическая прочность состава с добавкой С-3 в количестве 1 % от массы извести составляет τ = 3,50 кПа (рис. 3, кривая 3). Применение в рецептуре ИКВ белого цемента в количестве 5 % от массы извести ускоряет структурообразование. В возрасте 10 часов пластическая прочность составляет τ = 1,13 кПа (рис. 3, кривая 4).

Приведенные данные (рис. 3) свидетельствует, что введение в смесь добавки на основе поликарбоксилатов (Melflux 2651 F) вызывает больший пластифицирующий эффект по сравнению с добавками на основе **лигносульфоната нафталина** (С-3). Это подтверждается значениями водоредуцирующих эффектов, приведенных в табл. 2.

Таблица 2

Значения водоредуцирующего эффекта пластифицирующих добавок

Наименование пластификатора	Содержание добавки, % от массы извести-пушонки	Вид вяжущего	
		Известь-пушонка	ИКВ
С-3	1	1,26	1,21
Melflux^R 2651 F	1	1,51	1,43

Для оценки эффективности применения ИКВ с добавкой на основе алюмосиликатного наполнителя измерялась прочность при сжатии известковых композитов. Водоизвестковое отношение для всех составов составляло В/И = 1,1. Установлено, что введение в рецептуру ИКВ синтезированной добавки увеличивает прочность при сжатии известковых композитов. Так, прочность при сжатии образцов, испытанных в возрасте 7 суток твердения в воздушно-сухих условиях при температуре 18…20 ºС, составляет $R_{сж}$ = 0,59 МПа (контрольный состав), а прочность при сжатии образцов на основе ИКВ – $R_{сж}$ = 0,95 МПа. Введение в рецептуру данного ИКВ дополнительно белого цемента в количестве 5 % от массы извести увеличивает прочность при сжатии в возрасте 7 суток до $R_{сж}$ = 1,075 МПа.

Установлено, что при использовании в рецептуре ИКВ пластификатора Melflux 2651 F в количестве 1 % от массы извести и белого цемента в количестве 5 % от массы извести прочность при сжатии образцов в возрасте 7 суток твердения составляет $R_{сж}$ = 1,21 МПа.

Выявлено уменьшение количества свободной извести в образцах на основе ИКВ. Установлено, что количество свободной извести в известковых композитах, твердевших в воздушно-сухих условиях, составляет 49,1 % (контрольный состав), в образцах на основе ИКВ с содержанием добавки в количестве 5 % от массы извести – 33,6 %.

Выводы. Проведенные в статье сведение свидетельствуют об эффективности применения добавки на основе алюмосиликатного наполнителя. Синтезируемая добавка обладает большой эффективностью взаимодействия с известью, что позволяет повысить эксплуатационные свойства известковых композитов. Выявлено, что разработанное ИКВ, полученное с использованием предлагаемой добавки, характеризуется высокой скоростью структурообразования. Полученные с использованием ИКВ известковые композиты так же отличаются повышенной прочностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Логанина В.И., Макарова Л.В., Кислицына С.Н., Сергеева К.А. Повышение водостойкости покрытий на основе известковых отделочных составов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. №1. С. 41-46.

2. Логанина В.И., Макарова Л.В., Тарасов Р.В., Давыдова О.А. Оптимизация состава композитов общестроительного назначения, модифицированных наноразмерными добавками // Региональная архитектура и строительство. 2010. №2. С. 53-57.

3. Логанина В.И., Кислицына С.Н., Жерновский И.В., Садовникова М.А. Известковые отделочные составы с применением синтезированных алюмосиликатов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. № 2. С. 55-57.

4.Логанина В.И, Кислицына С.Н., Черячукин В.В., Акжигитова Э.Р. Эффективность применения в сухих строительных смесях органоминеральных добавок на основе смешанослойных глин // Региональная архитектура и строительство. 2012. №3. С. 57-60.

5.А.с. 698923 Способ получения алюмосиликатного наполнителя. / В.С. Сажин, М.К. Мокшина, С.Д. Дементьева, Р.И. Калинина, А.И. Волковская, Н.В. Игнатьев, А.Н. Ющенко. Опубл. 30.11.1979. Бюл. №43.

Loganina V.I., Kislitsina S.N., Frolov M.V.

LIME COMPOSITE BINDERS USING SUPPLEMENTS BASED ON ALUMINOSILICATE FILLER

This article provides information about the chemical composition of the additive based on aluminosilicate filler. Proposed lime composite binder including lime, white cement, an additive based on aluminosilicate filler, plasticizer. The regularities of interaction of various plasticizers with lime binder composition. The studies found that the lime binder composite is characterized by an accelerated set of plastic strength was found decrease in the amount of free lime and increase in strength of the samples with lime composite binder.

Key words: *binder, aluminum silicates, white cement. synthesis, plastic strength.*

Лесовик В.С., член.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф.,
Перькова М.В., канд. арх. наук, проф.,
Бабаев В.Б., канд. техн. наук
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

АРХИТЕКТУРНАЯ ГЕОНИКА КАК МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В АРХИТЕКТУРНОЙ НАУКЕ И ПРАКТИКЕ*

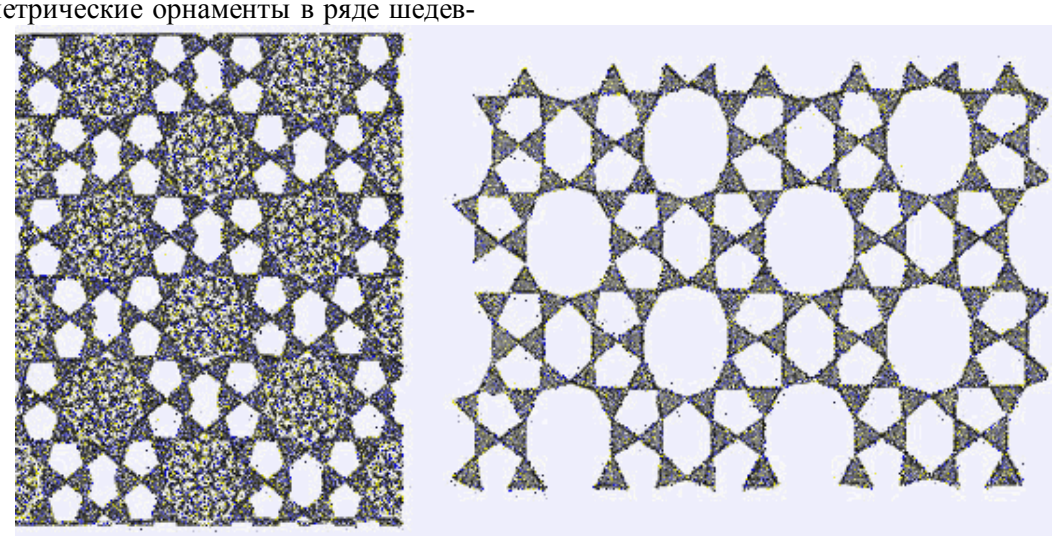
naukavs@mail.ru

В статье рассматривается архитектурная геоника как междисциплинарное направление в архитектурной науке и практике, затрагиваются истоки возникновения архитектурных объектов, основанных на кристаллических структурах. Сформулирован предмет, метод архитектурной геоники и задачи, обосновано новое научное направление в области архитектуры, использующее геологические процессы в архитектурной науке и практике в условиях постиндустриального общества.

Ключевые слова: *архитектурная геоника, фулерены, кристаллы, кристаллическая решетка, структура, архитектура, объекты архитектурны и градостроительства, неорганический мир.*

Эволюция объектов неживой природы является научно установленным фактом, и этот факт требует осмысления с точки зрения общих законов и механизмов естественной самопроизвольной реализации.

Немецкий исследователь В. Эбелинг констатирует, что «вопросы формирования структур относятся к фундаментальным проблемам естественных наук, а изучение возникновения структур является одной из важнейших целей научного познания». Структурные мотивы атомного строения некоторых кристаллов, установленные экспериментально с помощью современных физических методов исследования вещества, поразительно точно копируют некоторые геометрические орнаменты в ряде шедевров мирового искусства. Многие орнаменты на мавзолеях и мечетях напоминают проекции структур неорганических кристаллов в полинговских полиэдрах, особенно структур силикатов. Так, например, фрагмент орнамента мечети, построенной в 1094 году в Египте, передает структурный мотив минерала флуоборита, а архитектурные турецкие орнаменты XIII века являются почти точной копией мотива кристаллической структуры некоторых силикатов. Узор орнамента древнего персидского мавзолея Маджи и Джами (рис.) имеет сходство со структурным мотивом минерала фериерита – одного из представителей цеолитной группы минералов (рис. 1).



а *б*

Рис. 1. Фрагмент орнамента мавзолея Маджи и Джами в Исфахане (а) и проекция тетраэдрического каркаса в структуре минерала фериерита (б)

Совместное рассмотрение чрезвычайно отличных друг от друга знаковых систем позволяет «увидеть» черты сходства и аналогии в их строении и в принципах функционирования. Например, структурное сходство различных по своей природе знаковых систем: произведений художественного творчества человека и моделей структур химических веществ. Таким образом, существует предположение о возможном существовании единого универсального метаязыка

культуры, на котором творит природа и человек [1, 2]. Конечно, наивно думать, что древние зодчие были информированы о структурах кристаллов. Ведь реальное определение структур веществ началось не тысячу, а сто лет назад (отец и сын Брэгги – английские физики, основоположники рентгеноструктурного анализа, в 1913 году расшифровали атомную структуру некоторых кристаллов с помощью дифракции рентгеновских лучей).

Однако, случайно ли, что весьма сложные по рисунку орнаменты – продукты духовного творчества человека, так сходны с узорами структурных мотивов кристаллов, рожденных неживой природой? Возможно, что подобное сходство есть проявление универсальности явления симметрии. В кристаллографии установлено, что существует только 7 различно устроенных типов симметрий линейных и 17 плоских орнаментов. Полную классификацию орнаментов дал в 1891 году Е.С. Федоров. Атомы и молекулы веществ, находящихся в кристаллическом состоянии, образуют кристаллическую структуру - пространственный аналог орнаментов. Сечения подобных структур различными плоскостями представляют собой в точности плоские орнаменты. Группы симметрий плоских орнаментов называют плоскими кристаллографическими группами. Е.С. Федоров получил полную классификацию и пространственных кристаллографических групп – их существует 230. Академик Н.В. Белов отмечал, что мавританская орнаментика является иллюстрацией групп симметрии.

Еще один интересный пример структурного изоморфизма произведения архитектуры и строения молекулы фуллерена. Американский архитектор и дизайнер Бакминстер Фуллер конструировал и применял в различных сооружениях геодезические поверхности. В Монреале в выставочном павильоне США в 1967 году была представлена конструкция, которая точно отразила строение новой аллотропической модификации углерода. Ее назвали фуллереном в честь выдающегося американского архитектора. Эта модификация была экспериментально открыта Р.Керлом, Г. Крото и Р. Смолли в 1985 году, спустя восемнадцать лет после памятной выставки. Фуллерен имеет сферическую структуру, на которой атомы углерода расположены в вершинах правильных сферических шестиугольников и пятиугольников (рис. 2–4).

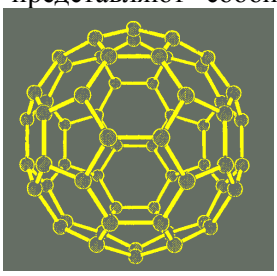


Рис. 2. Структура С60 молекулярный кристалл

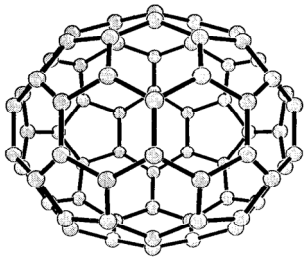


Рис. 3. В структуре C_{70} содержится 30 шестиугольников

Рис. 4. Павильон США на Всемирной выставке в Монреале 1967 г., Expo ‘67

Купол этого сооружения имел диаметр 75 метров, конструкция была покрыта прозрачной внешней оболочкой, составленной из крашеных акриловых панелей. В этом сооружении примечательно и то, что это не только купол, но и пространственная композиция из этажей-платформ, как бы парящих в пространстве купола, олицетворяющего Вселенную. За этот ори-

гинальный архитектурный прием в 1968 г. он получил премию от Американского Института Архитекторов. В основу этого сооружения положен тот же икосасаэдр, который использовался в проекте «картографической проекции», но его грани разбиты еще на несколько треугольников для приближения формы к более сферической. «Геодезические купола» получили большое распространение, они продолжают использоваться и сейчас в крупных общественных сооружениях, например: «Проект Эдем» (Николас Гримшоу, 2000-2001 гг.) (рис. 5.).

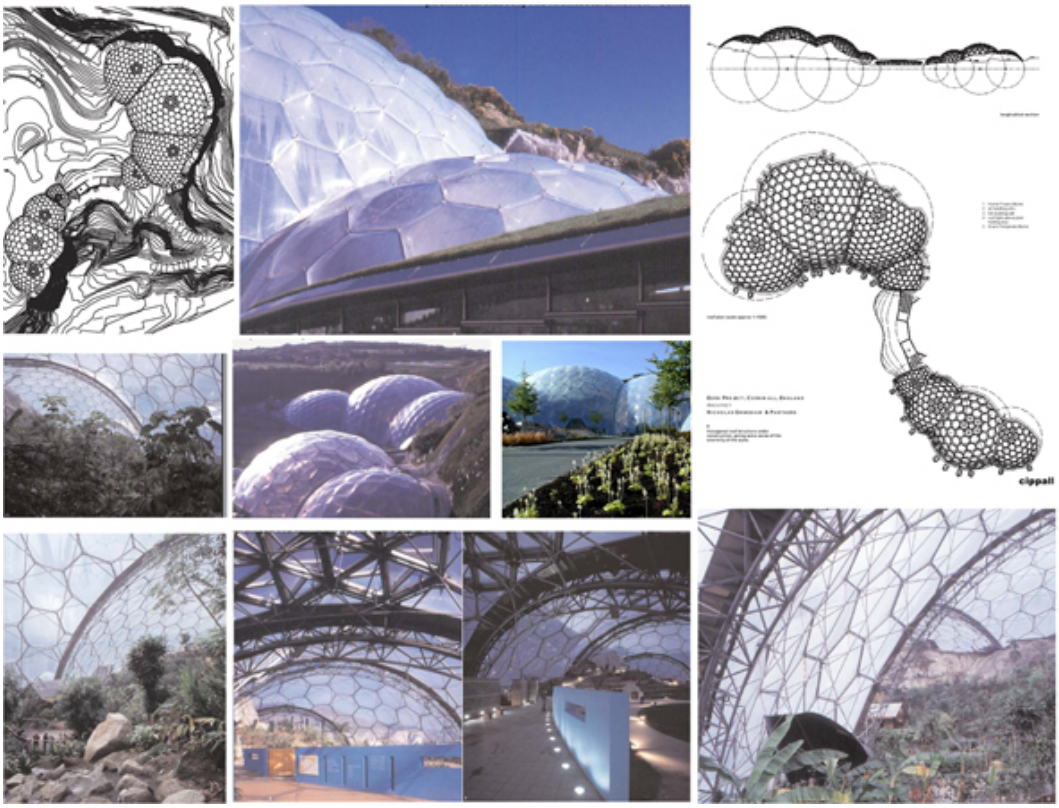


Рис. 5. «Проект Эдем» (Николас Гримшоу, 2000-2001 гг.)

В 1985 году был обнаружен углерод в новом молекулярном состоянии, молекулы представляли собой полые сфероидальные структуры в форме правильных многогранников, напоминающих «геодезические купола» – их назвали фуллерены, в честь Б. Фуллера. Благодаря этому открытию появилась возможность создавать электрические, механические, оптические эффекты. В частности, это позволит создать материалы, обладающие уникальным соотношением прочности и веса (рис. 6).

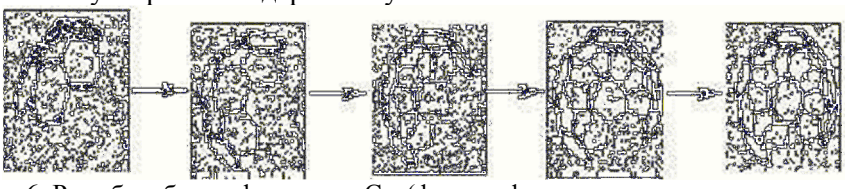


Рис. 6. Рост бакибола - фуллерена C_{60} (фотография с электронного микроскопа)

Если структурное сходство (в отдельных случаях – изоморфизмы) качественно разнородных знаковых систем – атомного строения кристаллов и орнаментов, генетического и лингвистического кодов и других не случайны и не являются чисто внешним совпадением, то тогда возникает фундаментальный вопрос о природе и причинах такого сходства.

Анализируя вышесказанное, в связи формулировкой нового научного направления – геоники, по мнению авторов, имеет место *архитектурная геоника* как междисциплинарное направление в архитектурной науке и практике.

Под *архитектурной геоникой* следует понимать подход к созданию архитектурных и градостроительных объектов, при проектировании которых основываются на исследованиях геологических и космохимических процессов, минералов и горных пород (авт.).

Предмет архитектурной геоники - исследование генезиса минералов и горных пород, их структуры, причин кристаллизации, кристаллохимической и морфологической характеристик с учетом информации целью создания новых архитектурных и градостроительных решений

для оптимизации триады «человек-материал-среда обитания».

Методом архитектурной геоники является механизм познания и практической реализации взаимосвязи архитектуры и неживой природы путем смешанного моделирования.

Новое научное направление развития теоретических исследований в области архитектуры нацелено на использование геологических процессов в архитектурной науке и практике в условиях постиндустриального общества и включает:

– создание современной методологической базы теории архитектуры, нацеленной на понимание и разработку технологий, соответствующих сложным динамично изменяющимся явлениям формо- и типообразования в современной архитектуре в их структурной целостности и взаимодействии с окружающей средой;

– разработку методологии проектирования жилых и общественных зданий на основе структуры кристаллов,

особенностей образной и морфологической структуры архитектурных объектов;

– определение современных подходов к комплексному преподаванию в специализированных учебных заведениях архитектурного проектирования.

Последние 20 лет интерес архитекторов концентрируется на вычислительных технологиях, физических и биологических процессах. Наука о природе и вычислительные технологии переформировывают наше представление о бытие, а за этим и представление о том, как мы можем и должны работать с архитектурной формой и пространством. Это влечет за собой появление и развитие новых инструментов, способов и методов, что существенно меняет представление о том, какова морфология архитектуры, т.е. наука, изучающая строение архитектурной формы. На протяжении практически всей своей истории архитектура была увлечена конечным и статичным результатом. Но с возникновением постмодернизма проявился другой интерес: архитектура всё более увлекается процессом создания проекта. Сначала это были коллажи из аллюзий на большие исторические стили, античную ордерную систему и т.п., затем это перемещается в область игры с более абстрактными процессами: силами, энергиями, чистой геометрией, что сформировало образ деконструктивизма. Со временем в диаграммном мышлении презентации архитекторов все более напоминают инструкцию по сборке и развитию архитектурного объекта (рис. 7).

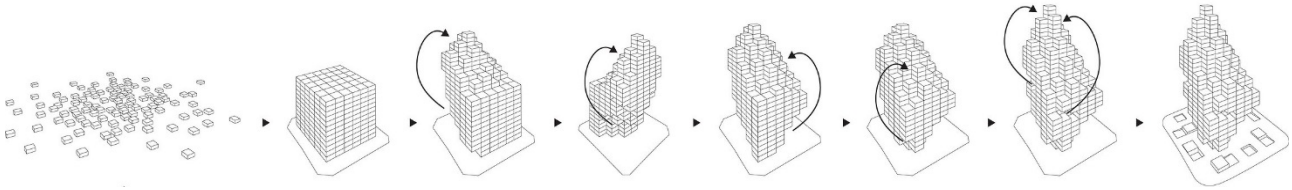


Рис. 7. MVRDV и ADEPT Archi¬tects, схема сборки небоскреба ‘Sky Village’ в Копенгагене

Архитектура не должна, да и просто не может строиться на эмоциях, ведь структурирование пространства требует, прежде всего, умственного напряжения. Закономерность интеграции одних искусств в другие и создание общего контекстуального поля не миновало и архитектуру, для которой выход в разреженные сферы актуальной культурной ситуации оказался тупиком.

Вспоминая триаду человек – материал-среда обитания и исследования в области нанотехнологий, вспомним, что *наномир* – это часть пространства, в котором из атомов путем самоорганизации формируется вещество, живое или неживое. Фундаментальной характеристикой вещества является его структура [4].

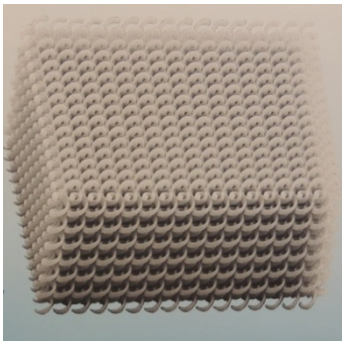


Рис. 8. Многослойная наноструктура

Рис. 9. Несущий каркас зданий

Структура (строение, расположение, порядок) – это совокупность устойчивых связей объекта, обеспечивающих его целостность и тождественность самому себе, т.е. сохранение

основных свойств при различных внутренних и внешних изменениях (структурная химия), а это определение вводит в нее (структурную химию) геометрию как *мероопределение пространства* [4].

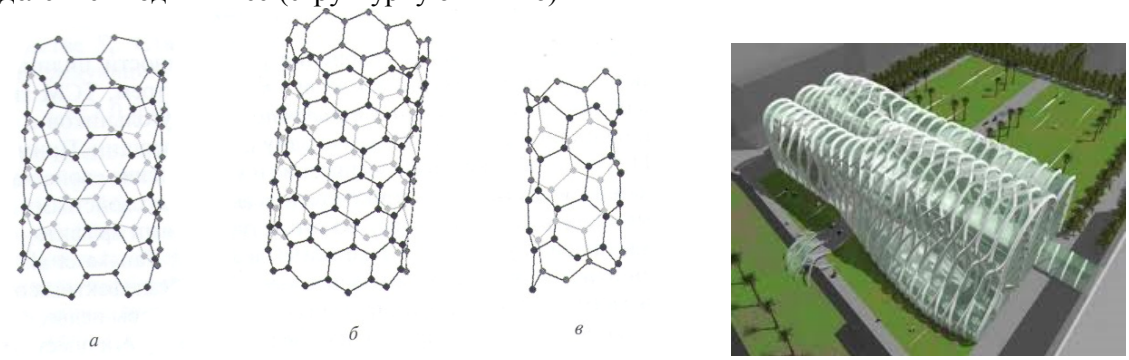


Рис. 10. Нанотрубки разных типов и формообразование архитектурного объекта

Обращаясь к геонике и кристалллографиии**,** кристаллимческая решётка минералов имеет сходство с канвой или сеткой, неким архитектурным (или конструктивным) модулем. В связи с этим она может выступать вспомогательным геометрическим образом (вводимым для анализа строения кристалла) для создания градостроительных и архитектурных объектов (рис.11). Объектами неорганического мира, которые могут выступать вспомогательным геометрическим образом для создания градостроительных и архитектурных объектов могут быть: структуры химических соединений и элементов, структуры кристаллической решетки минералов, формы кристаллов, структуры минеральных агрегатов, текстуры горных пород, формы складчатости и выветривания.

В связи с этим архитектурная геоника ставит перед собой следующие задачи**:**

- выявить генезис профессиональных представлений, лежащий в основе взаимодействию архитектуры и геологии через раскрытие специфики развития внестилевых представлений о формообразовании и роли понятия «образ» в архитектурной теории и практики конца XX – нач. XXI века;
- определить роль и место архитектурно-геонических исследований в архитектурной теории и практике.
- сформировать терминологический и аналитический аппарат как способ корректного введения и описания межсубъектных взаимодействий в архитектурном проектировании, лежащий в основе любого взаимодействия «человек – материал – среда обитания»;
- выделить и раскрыть специфику работы геонических морфотипов, лежащих в основе формирования образа архитектурного объекта;
- разработать развивающуюся типологическую систему, включающей: типологизацию архитектурных объектов, комбинаторику элементов в концепции архитектурного геонического формообразования,
- обосновать «теорию» неорганической архитектуры, или *архитектурной геоники.*

Фактологической основой нового научного направления являются работы по кристаллографии и кристаллохимии; работы по исследованию наноматериалов; работы по композиционной организации архитектурной формы отечественных и зарубежных авторов; работы по архитектурной комбинаторике; работы в области формообразования; работы в области теории фракталов.

Специфику исследования составляет нацеленность на формирование новых методологических подходов к решению практических проблем зодчества в современных экономических условиях гармонизации архитектурной среды. Архитектурная геоника как междисциплинарное направление в архитектурной науке и практике может развиваться в нескольких направлениях, например: проектирование жилых и общественных зданий, ландшафтная архитектура, дизайн интерьера и предметный дизайн.

Таким образом, формирование *«теории» архитектурной геоники* в условиях постиндустриального общества включает в себя:

а) фундаментальную концепцию неорганической архитектуры и ее составляющие:

– модель анализа образной структуры архитектурного объекта;

– модель анализа морфологической структуры архитектурного объекта;

б) прикладную концепцию развивающейся типологической системы и ее составляющие:

– архитектурный геонический метод,

– концепцию архитектурного геонического формообразования,

– концепцию модальности архитектурного объекта на основе объектов неорганического мира.

**Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта ПСР А-25/12 от 10.04.2012 г. в рамках Программы стратегического развития университета.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ален И. Николас Гримшоу. Проект Эдем. / Проект классика. 2002. №4.

2. Лесовик В.С. Геоника. Предмет и задачи. Белгород: Изд-во БГТУ. 2012. 213 с.

3. Лебедев, Ю.С. Архитектурная бионика / Ю.С. Лебедев, В.И. Рабинович, Е.Д. Положай и др.; Под ред. Ю.С. Лебедева. М.: Стройиздат, 1990. 269 с.

4. Лорд Э.Э. Новая геометрия для новых материалов / Э.Э. Лорд, А.Л.Маккей, С. Ранганатан Пер. с анг. к.х.н. Л.П. Мезенцевой под ред. академика В.Я. Шевченко д.ф.-м.н. В.Е. Дмитриенко. Москва «Физматлит», 2010 г.

5. Таланов В.М. Существует ли единый универсальный язык культуры? Журнал «Фундаментальные исследования». №1. 2009. С. 92-94

6. Таланов В.М. Семиотическая Вселенная и проблема структурного сходства знаковых систем //Материалы международного научного симпозиума «Системно-синергетическая парадигма в культуре и искусстве». Таганрог: Изд-во ТРГТУ, 2004. С. 71-75.

7. Таланов В.М. Структурное сходство знаковых систем (к постановке проблемы о едином метаязыке культуры) //Известия Вузов. Северо-Кавказского региона. Технические науки. 2007. Спецвыпуск. С.156-167.

8. Richard Buckminster Fuller, a Visionary Architect [Электронный ресурс] / The Green LaneTM, Environment Canada's. – Режим доступа: http://biosphere.ec.gc.ca/The_sphere/Richard_Buckminster_Fuller-WS30956246-1_En.htm

9. Седов В. Купола Фуллера / Проект классика. 2002. №4.

10. PhotoTravelGuide – достопримечательности мира. [Элекстронный ре-сур] Королевский музей Онтарио, Торонто, Канада // 01.06.2011. URL: http://phototravelguide.ru/muzei-teatr/muzei-ontario-kanada/ (дата обра-щения 01.12.2012).

11. Яblor [Электронный ресурс] «А давайте построим камень!» // 11.09.2010. URL: http://yablor.ru/blogs/a-davayte-postroim-kamen-ili-yayca-sudbi/734568 (дата обращения 01.12.2012).

Buildd.ru [Электронный ресурс] NaCl Residence – дом-соляной кри-сталл в Мэриленде // 28.04.2012. URL: http://buildd.ru/archives/15833 (дата обращения 01.12.2012).

Lesovik V.S., Perkova M.V., Babaev V.B.

ARCHITECTURAL GEONIKA AS THE INTERDISCIPLINARY DIRECTION IN ARCHITECTURAL SCIENCE AND PRACTICE.

In article is considered architectural geonica as the interdisciplinary direction in architectural science and practice, mentioned sources of emergence of the architectural objects based on crystal structures. Formulated the subject, a method architectural geonica and tasks, justifies the new scientific direction in the field of architecture using geological processes in architectural science and practice in the conditions of post-industrial society.

Key words: *architectural geonica, fullerenes, crystals, crystal lattice, structure, architecture, objects of an arkhitekture and town planning.*

Ковриженкина О.В., доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

КОМПОЗИЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АРХИТЕКТУРНАЯ ГРАФИКА

architektura_bgty@mail.ru

Изучение нового формообразования в архитектуре и особенности его восприятия практикуется в дисциплине «Композиционное моделирование» на кафедре «Архитектура и градостроительство» Белгородского государственного университета имени В.Г. Шухова и предназначено для студентов младших курсов специальности «Архитектура». Методика композиционного моделирования легла в основу практической деятельности учащихся в овладении средствами композиции. На практических занятиях курса «Композиционное моделирование» выполняется ряд упражнений в макетировании и ряд упражнений в графике, т.е. в объемном и плоскостном моделировании, что развивает способность поэтапного преобразования объемной модели в плоскостную модель ортогонального изображения и обратный процесс. Переключение способов решения композиционной задачи способствует развитию пространственного воображения и мышления учащихся. Изучение поэтапного объемного и плоскостного моделирования в композиции и изучение приемов архитектурной графики позволяет практическому применению их в дисциплине «Архитектурное проектировани» на всех последующих курсах.

Ключевые слова: *композиционное моделирование, объемно-пространственная композиция, архитектурная графика, формообразование, клаузура.*

Введение. Архитектура как неотъемлемая часть общественно – социальной жизни участвует в формировании всестороннего развития человека и в воспитании профессионального мастерства будущих архитекторов. Многогранность архитектурной деятельности требует овладения передовой теорией архитектуры и ее важнейшей части – теории архитектурной композиции.

«Архитектурная композиция – это закономерное и оптимальное сочетание объемов и пространства в единую гармоничную архитектурную форму, отвечающую назначению произведения природным и социальным условиям [1]. Цель архитектурной композиции – достижение единства формы и содержания, т.е. создание с помощью композиционных средств архитектурной формы, адекватной содержанию. Идея в архитектурной композиции – это организующее звено, основанное на конкретности заказа, влияющее на творческий замысел архитектора и эстетическое воздействие на человека. Поэтапное воплощение идеи как неотъемлемой части произведения связано с задачами архитектурной композиции, которые определяются требованиями функционального, конструктивного и художественного порядка.

Средства архитектурной композиции – это объективные свойства материальной объемно-пространственной формы, с помощью которой достигается наиболее полное и яркое выражение идеи архитектурного произведения. Основы построения архитектурной композиции и изучение объективных свойств форм заложены в содержании объемно-пространственной композиции.

Если архитектурная композиция включает в себя ответ на целый ряд факторов (социальных, функциональных, экономических, конструктивных и др.), то цели объемно-пространственной композиции значительно скромней.

Объемно-пространственная композиция основана на количественных изменениях пространственных форм, и их сочетаний (величина, масса, положение в пространстве, геометрический вид и т.д.) и опирается на особенности зрительного восприятия человека, на его психофизиологические данные. «Архитектурная композиция является стержнем основной профилирующей дисциплины «Архитектурное проектирование», которая на младших курсах носит название «Основы архитектурного проектирования «и включает следующие разделы: архитектурная графика, объемно-пространственная композиция и начала архитектурного проектирования» [2].

Исследование специфических художественно–эстетических требований и законов в построения объемно-пространственной композиции практикуется в дисциплине «Композиционное моделирование».

Курс имеет узко профессиональную направленность и излагает теоретические основы объемно-пространственной композиции, реализуя их на практических занятиях.

«Композиция – это творчество. Нельзя овладеть композицией, не приобретя в ней собственного опыта. Основные принципы формообразования учащиеся должны испытать в ходе живой деятельности. Изучение программ многих отечественных и зарубежных

архитектурных школ показывает: нигде постижение композиции не ограничивается умозрительным освоением её основ, теоретических основ, везде оно сочетается с практической работой, причём практический раздел выступает в роли ведущего» [3].

Методика. Практическая подготовка по композиции на кафедре «Архитектура» в Белгородском государственном технологическом университете имени В. Г. Шухова начинается с творческих композиционных заданий курса «Композиционное моделирование», которые выполняются студентами первого и второго курсов в объемном и плоскостном моделировании, т. е. средствами макетирования и архитектурной графики. Макеты и графические упражнения композиционного моделирования собираются, классифицируются, сортируются и хранятся в методическом фонде кафедры. Содержание методического фонда стало важной задачей в повышении качества композиционной педагогики, а для профессиональных архитекторов и для начинающих студентов эти макеты могут служить источником накопления новых визуальных образов в поиске оригинальных, не опробованных формообразовательных решений.

«Методический подход в организации начальной композиционной подготовки дизайнеров выразился в способе постановки композиционного задания, формулировании условий, определений целей, установки ограничений» [4].

Методика курса «Композиционное моделирование» легла в основу его практических занятий. Первые задания композиционного практикума курса «ОПК» выполняются в макетах и дают студентам начальные понятия о средствах композиции и её основных видах. Композиционно-макетная форма упражнений отвлечена от условий реального архитектурного задания, чем открывает возможности для проявления свободы фантазии. В конце первого семестра обучения проводится результативное задание в макетировании – контрольная клаузура. Задание предусматривает самостоятельное решение проекта небольшого сооружения с выраженной информационной функцией – выставочный, рекламный стенд. Во втором и третьем семестрах обучения методические задачи заданий постепенно усложняются и в композиционный практикум вводятся художественно-графические упражнения экспериментального характера на основе использования типовой программы, применительно к условиям периферийного вуза. Графические упражнения, как плоскостная форма композиционного моделирования, начинают применяться в последовательной стадийной разработке практических заданий. Студенты изучают композиционное построение на плоскости, архитектурную графику и ее техники.

Архитектурная графика – это способ передачи архитектурно-графической информации посредством линии, тона, светотени, фактуры и цвета с целью наиболее полно выразить идею проекта в графической модели. Архитектурная графика на всех стадиях архитектурного проектирования от первоначального замысла – эскиза-идеи до окончательного доведения проекта до рабочей стадии является творческим процессом архитектора.

«Первые эскизы я всегда выполняю в небольшом масштабе – 1/500. Когда идея проясняется, я ее развиваю стараюсь сопроводить рисунки пояснительным текстом Макетом я проверяю свою работу, объемы, формы и свободные пространства» [5].

На первых стадиях – это средство быстрой фиксации начальных замыслов будущего проекта; здесь требуется умение обобщенно, без излишней деталировки выразить основную идею проекта. Далее, по мере уточнения деталировки, усложняются приемы графической модели проекта, который заканчивается стадией «рабочие чертежи» и «рабочие макеты». Это конечная цель архитектурного проектирования.

Графическая модель будущего объекта должна давать полное представление о назначении, композиционной и объемно-планировочной структуре сооружения, о его конструкциях, материалах, о целесообразности и экономичности избранного решения.

Изучение и применение архитектурной графики и её технических приемов, как средства выражения архитектурного замысла и его визуального воплощения в проектной документации практикуется на нашей кафедре архитектуры с первого года обучения студентов. В дисциплинах «Основы архитектурного проектирования», «Введение в профессию», «Композиционное моделирование» существует ряд заданий несущих графическую информацию.

Реализуя свой художественный замысел, архитектор пользуется методом моделирования. На практических занятиях курса «Композиционное моделирование» выполняются упражнения в макетировании и упражнения в графике (рис. 1). Такое применение объемного и плоскостного

моделирования в учебном процессе, как этап построения композиции, выявляет профессиональный подход к процессу моделирования и наиболее эффективным образом развивает пространственное мышление учащихся.

К объемному моделированию относятся объемные модели, которые изображаются на двухмерной плоскости листа бумаги, экрана, картины и др.

Трехмерное построение объемной модели делает её вполне соответствующей архитектурной форме, быстро и цельно воспринимается, показывает взаимосвязь всех поверхностей формы. Возможность экспериментирования с объемной моделью показывает результаты поведения будущего объекта в различных условиях и с различных сторон.

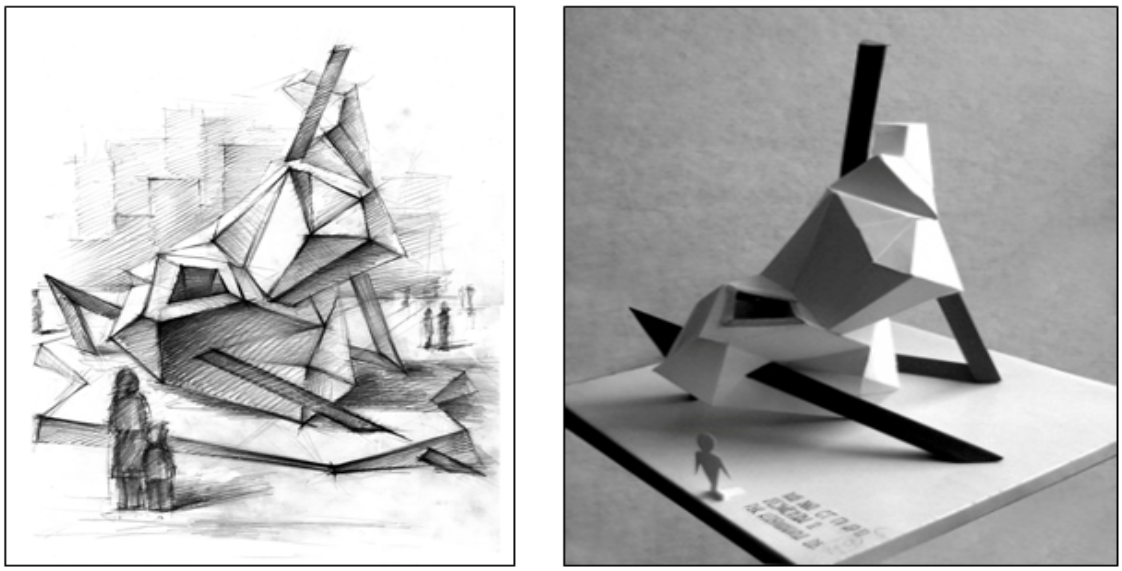


Рис. 1. Несущие и несомые конструкции

Плоскостные модели используют для: фиксирования определенного состояния или положения объекта; мысли архитектора (эскизы); расчленения архитектурной формы на её составляющие (план, фасад, разрез и т.д.); для более гибкой проработки конкретных качеств объекта. Плоскостное композиционное моделирование выявляет наглядный характер модели в перспективе, аксонометрии, фасадах, развертках и т.д., дающих большую степень соответствия восприятия архитектурной формы натуре.

«Великое искусство не сводится к вопросу о форме и внешним виде, которые можно скопировать, нужны красивые решения благородных задач; живая архитектура – это всегда стремление вперед – от одного переворота к другому» [6].

Основная часть. Семь графических упражнений, предложенных как дополнительный материал, имеют конкретные разноплановые задачи и направленности. Одна из направленности упражнений строится на анализе выполненных заданий в макетах и на разборе выявленных ошибок совместно с учащимися. Такие упражнения имеют результативно-проверочный характер (рис. 2), который ведет к последующим исправлениям композиционных ошибок на графических работах.

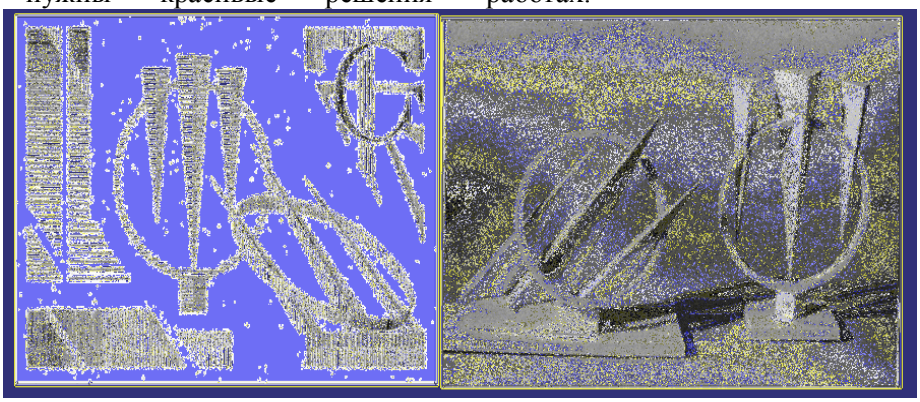


Рис. 2. Контрасты в объемно – пространственной композиции

В этом направлении решаются задачи к практическим заданиям: «Контрасты в объёмно-пространственной композиции», «Композиционное упражнение на конструктивное взаимодействие объемно-пространственных форм», «Выявление фронтальной поверхности и объёмной формы» [2] .

Другая направленность графических заданий носит эскизный характер (рис. 3) построения композиции и выполняется перед макетированием, что развивает пространственное представление и умение преобразования ортогонального изображения в объемное, натуральное и обратно. Упражнения эскизного характера относятся к заданиям на решение пространственной композиции – «Композиционная организация открытого пространства», «Композиционное сопоставление закрытых контрастных пространств».

Графические упражнения клаузурного характера являются итоговыми работами по темам практических заданий, таких как изучение метро-ритмических закономерностей в первом семестре обучения (рис. 4) и в третьем семестре обучения: «Взаимосвязь внутреннего пространства с его объемной формой и окружающей средой» [2].

В художественно-графических работах к практическим заданиям мы используем плоскостные визуальные модели, выполненные в перспективном построении, или же плоскостные геометрические модели, выполненные в ортогональном проецировании.

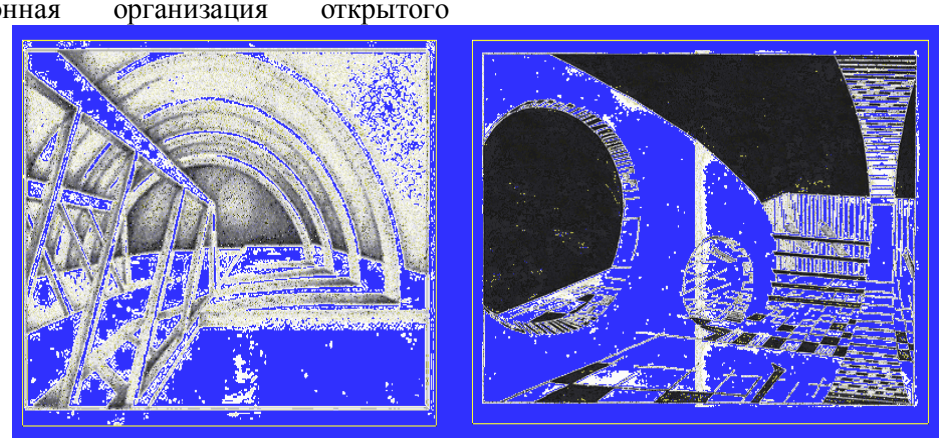


Рис. 3. Сопоставление закрытых контрастных пространств

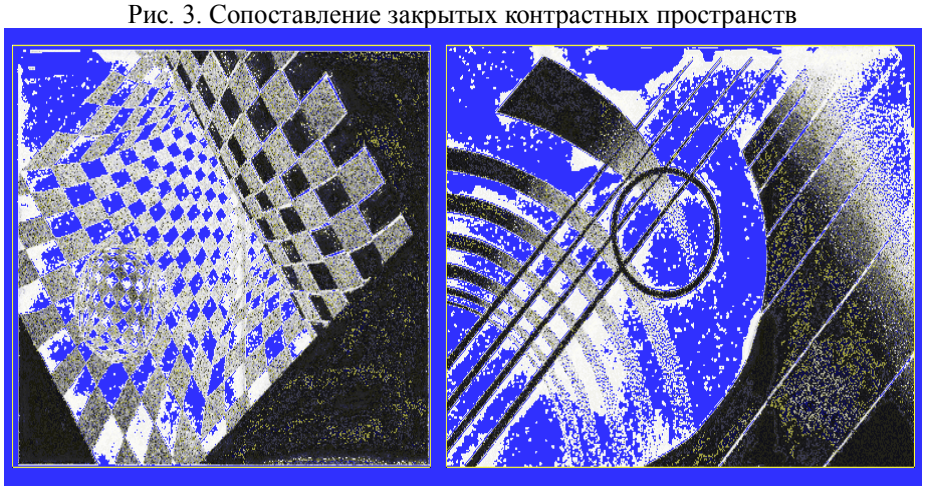


Рис. 4. Композиция на плоскости. Метро-ритмические закономерности

«Основными средствами изображения объемно-пространственной модели служат геометрические, визуальные и объемные модели. Геометрические модели раскрывают композицию объекта с точки зрения основных видов пространственного расположения форм, их точных геометрических параметров и размеров. Визуальные модели выявляют характер восприятия композиции объемов, форм взаимоположения того или иного вида композиции со зрителем. Визуальные модели воплощают в себе основные качественные характеристики формы – масштаб и масштабность объемно-пространственной модели по отношению к человеку» [7].

Плоскостные модели и их элементы изображаются в композиции на плоскости посредством архитектурной графики. Но, прежде чем проанализировать композицию на плоскости, учащихся знакомят с природой самой плоскости, с воздействием сил сопротивления границ плоскости и напряжения ее частей на элементы композиции. В своей книге «Точка и линия на плоскости» В.В. Кандинский исследует

природу плоскости со стороны эмоционального восприятия напряжения её частей и границ. «Под основной плоскостью (ОП) понимается материальная поверхность, которая призвана воспринять содержание произведения. Схематическая основная плоскость ограничена двумя горизонтальными и двумя вертикальными линиями и тем самым выделена из окружающей её среды как самостоятельная сущность» [8] . Далее он приходит к выводу что, приближаясь к границе, формы подвергаются особому воздействию, что имеет для композиции решающее значение. Силы сопротивления границ отличны друг от друга лишь степенью сопротивления.

Василий Кандинский рассматривает противопоставление напряжений четырех частей плоскости исходящих из центра ОП в диагональных направлениях.

Обозначив «специфическое лицо» самой плоскости, далее в заданиях художественно-графических упражнений указываются цели и задачи композиций на плоскости. Предлагается формальный строй выразительных средств, ограниченных плоскостью, для построения данных композиций это – точки, линии, плоскости, простые геометрические формы. «В концептуальном смысле точку, линию, плоскость, объем можно увидеть лишь мысленным взором. Хотя они реально не существуют, мы тем не менее чувствуем их присутствие. Точку мы можем ощутить как место схода двух линий, линию – как контур плоскости, плоскость – как грань объема, а объем – как объект в пространстве. Будучи визуализированы, на бумаге или в трехмерном пространстве, эти элементы превращаются в форму, которая обладает характерными очертаниями, размерами, цветом, фактурой, вещественностью» [9].

В заданиях художественно-графических упражнений указываются цели и задачи композиций на плоскости. Предлагается формальный строй выразительных средств, ограниченных плоскостью, для построения данных композиций это – точки, линии, плоскости, простые геометрические формы и шрифты.

Для выполнения графических упражнений выбирается:

– один из вариантов графического наброска плоскостных моделей, преобразованных из объемного моделирования;

– вид композиции в двухмерной плоскости – симметричный, ассиметричный, центральный, статичный, динамичный и т.д.

– основной способ изображения в плоскостном моделировании – аксонометрия, перспектива, фронтальная изометрия;

– шрифтовая композиция.

Необходимость ввода шрифтов в графическое упражнение вызвана освоением их разнообразия для применения в архитектурном чертеже. Шрифт должен соответствовать характеру изображения, составляя с ним единое стилевое и композиционное целое (рис. 5). Основными требованиями, предъявляемые к шрифту в графических композициях на плоскости являются:

–четкость, ясность, удобочитаемость;

–стилевое единство шрифта и изображения на листе бумаги;

–композиционное единство всех букв с изображением архитектурных моделей и их элементов; согласованность масштаба шрифта и элементов композиции.

Рис. 5. Тренировочные упражнения шрифтовой композиции

После разработки эскиза композиционного решения графического упражнения выполняется первый этап его построения. Первый этап построения композиции начинается с последовательного вычерчивания основных и вспомогательных линий построения форм и элементов чертежа твердыми карандашами – проведение линий по линейке, проведение окружностей и сопряжений геометрических фигур циркулями и другими инструментами.

Второй этап сводится к выявлению объема, пластики поверхности плоскостных моделей и глубины композиционного пространства с помощью архитектурной графики. Техника архитектурной графики выполняется тушью, чертежным пером от руки или другим способом.

В каждом задании упражнений предлагается определенная техника архитектурной графики. В первом упражнении используется графика свободного выбора учащихся или предлагаемая: тушь, перо, кисть. В последующих заданиях используются графические техники: линейно-штриховая, «завиток», «паркетик», «точечная», «сухая кисть», «торцевание», «набрызг» и т.д. Завершается курс из семи графических упражнений введением двух и более приемов архитектурной графики для тонового или линейного изображения элементов композиции и пространства. Соединение нескольких графических приемов в обработке одной композиции, применяется в заданиях на организацию открытых или закрытых пространств для показа пластической проработки поверхности земли, графического изображения озеленения, типов мощения, рельефов, элементов благоустройства и объёмных сооружений (рис. 6).

При помощи средств архитектурной графики возможно выявлять объемы плоскостных моделей и глубину композиционного пространства на двухмерной плоскости в художественно-графических упражнениях.

Заключение. Творческий подход учащихся при выполнении данных упражнений показал их целенаправленный характер, основанный на этапности построения композиции, на выявлении таких её характеристик как красота и эстетическая выразительность. Задания практических занятий курса подводили учащихся к цели – «Пробудить творческие силы и вместе с ними художественные способности обучающихся. Сделать так, чтобы личные переживания и особенности восприятия каждого определяли своеобразие их работ. Постепенно студенты должны были избавится от всех мертвящих условностей и научится работать самостоятельно» [10].

Рис. 6. Соединение нескольких графических приемов в одной композиции

Большой объем теоретического материала курса «Композиционное моделирование», макетно-композиционная практика и художественно-графические работы в совокупности играют ведущую роль в эффективности развития пространственных представлений учащихся на первом этапе их обучения в высшей архитектурной школе. Изображение и макетирование – работа руки и глаза увеличивают возможности профессионального восприятия, развивают визуальную форму мышления, наделяют чувством пространства, а без этого чувства архитектор не может соответствовать своей профессии.

«Композиция есть схема пространственного единства произведения. Только в произведении она осуществляется и облекается художественной плотью, и потому только при наличие его будет представительницей некоторого пространства» [11].

Вывод. За эти годы на базе анализа собранного материала выявились положительные результаты не только в плоскостном моделировании, но и в макетировании, что было отмечено и утверждено на методических семинарах кафедры. В проведении занятий по данной программе участвовали преподаватели кафедры архитектуры О.В. Коврижкина, М.В. Перькова, Н.В. Алейникова, Ю.М. Калинин, Г.И. Тарасов. Графические задания и упражнения как дополнительный материал к курсу «Композиционное моделирование» разработала преподаватель О.В. Коврижкина на основе накопленного теоретического и графического материала в композиционно-проектном

моделировании.

Данная методика последовательной и стадийной разработки в композиционном моделировании характеризует частичную индивидуальность архитектурной школы начального обучения в Белгородском государственном технологическом университете имени В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тиц А.А. Основы архитектурной композиции и проектирования. Киев: издательское объединение «Вища школа», 1976. 64 с.

2. Степанов А.Ф. Объемно-пространственная композиция. М: Стройиздат, 2005 . С. 7. 249, 253.

3. Мелодинский Д.Л. Школа архитектурно-дизайнерского формообразования. М: Изд-во «Архитектура-С», 2004. 143 с.

4. Коврижкина О.В. Основы дизайн-проекта и его ходожественно-копозиционный практикум в БГТУ им. В.Г. Шухова // В сборнике. Керамика и огнеупоры: перспективные решения и нанотехнологии. Белгород, 2009. 333 с.

5. Оскар Нимейер. Архитектура и общество. М: Изд-во «Прогресс», 1975 . 180 с.

6. Хилари Френч. История архитектуры. М. Астрель. АСТ, 2003. 13 с.

7. Куликов А.Д. Введение в методику графического художественного-композиционного моделирования. Казань,1999 . 10 с.

8. Кандинский В. В. Точка и линия на плоскости. С-Пб: Изд-во «Азбука-классика», 2004. 173 с.

9. Франсис Д.К.Чинь. Архитектура. Форма, пространство, композиция. М. АСТ Астрель, 2005. С.2.

10. Иоханнес Иттен. Искусство формы. М. Изд-ль Д.Дронов, 2001. С.9.

11. Азизян И.А., Добрицына И.А., Лебедева Г.С. Теория композиции как поэтика архитектуры. М. Прогресс-Традиция, 2002. 217 с.

Kovrizhkina O.V.

COMPOSITIONAL MODELING AND ARCHITECTURAL GRAPHICS

Studying of the new shaping in architecture and features of its perception is practice at ''Composition modeling'' discipline on the ''Architecture and town planning'' department Belgorod State University named by V.G. Shyhov and it's intended for the young-courses students practical activity at mastering means of composition. On the practical classes of ''Compositional modeling'' courses ranks of exercises at prototyping and graphical mastering are carried out ,that is the volume and plane modeling develops ability of stage-by-stage transforming volume and plane models of orthogonal depiction and the other way round. Changeover the meaning of decision compositional task promotes evolution of dimensional fancy and intellection of students. Studying stage-by-stage volume and plane modeling at composition and architectural graphic meanings permits practical application of them at "Architectural planning'' discipline for all following courses.

Key words: *compositional modeling, the volume and plane composition, architectural graphic, shaping, klausura.*

Русина С.Ю., аспирант,
Высоцкая М.А., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОЙ НАНОМОДИФИЦИРОВАННОЙ БИТУМНО-ПОЛИМЕРНОЙ МАСТИКИ*

Rusina.svetlan@yandex.ru

Для защиты бетонных, кирпичных, надземных и подземных сооружений, работающих в условиях агрессивных воздействий, необходима эффективная гидроизоляционная защита от коррозии, возникающей от гидродинамических процессов, происходящих под действием поверхностных и подземных вод, приводящих к деформации сооружения и, как следствие, преждевременному его выводу из эксплуатации. Поэтому для обеспечения долгосрочной работы объектов такого рода необходимо использование материалов с комплексом характеристик. В настоящее время одним из эффективных методов борьбы с обозначенными дефектами является использование гидроизоляционных материалов к числу которых относится полимерно-битумная мастика.

Ключевые слова: *полимерно-битумная мастика, наномодификатор, наноармирование.*

Введение. Все строительные объекты подвержены разрушительному действию влаги, как от поверхностных, так и от подземных и грунтовых вод. Ряд конструкций, в силу своего назначения, в процессе эксплуатации постоянно находятся в контакте с агрессивной средой. Следствием этого становится снижение их эксплуатационных характеристик, а также преждевременное разрушение конструкций. Поэтому в настоящее время в строительной отрасли наблюдается потребность в высококачественных гидроизоляционных материалах, обладающих повышенной устойчивостью к воздействиям агрессивных сред.

Подавляющее большинство материалов строительных конструкций имеет пористую структуру, довольно хорошо пропускающую и впитывающую воду, что является существенным недостатком. Заполнившая поры влага, замерзая зимой, расширяется и разрушает конструктив подземной части сооружения на всю глубину намокания. Это одна из основных причин разрушения фундаментов и других конструктивных элементов, не обработанных гидроизолирующими материалами или не укрытых на зиму. Таким образом, гидроизоляция играет важную роль в обеспечение бездефектной работы всего сооружения на весь период эксплуатационного срока.

Современный рынок гидроизоляции предлагает широкую линейку продукции [1…5], однако надежный гарантированный результат можно получить лишь при правильном подборе материалов, их совместимости и строгом соблюдении технологии производства работ.

Для устройства защитных покрытий широко применяются материалы, в основе которых лежат полимеры [6…11], в частности низкомолекулярные термоэластопласты, относящиеся к классу стирол-бутадиен-стирол (СБС), производство которых в мире непрерывно растет. К сожалению, материалы, приготовленные с использованием полимера, как основного модифицирующего компонента, для обеспечения долгосрочной работы конструктива, требуют значительного содержания полимера, иначе они не способны в полной мере обеспечить необходимые эксплуатационные показатели строительного объекта на длительный срок.

Основная часть. Анализ состояния вопроса показал, что необходим поиск альтернативных методик и рецептур битумно - полимерных мастик. Одним из наиболее перспективных направлений в материаловедении последних лет является модификация полимеров наноразмерными объектами для создания материалов с уникальными комбинациями физико-механических свойств [12, 13]. К числу, таких модификаторов относятся одностенные или многостенные углеродные нанотрубки (ОУНТ или МУНТ), представляющие собой цилиндрические структуры диаметром от одного до нескольких нанометров и длиной до нескольких см. Ключевым моментом при работе с нанообъектами является равномерное распределение частиц в пластифицирующей среде и их последующее встраивание в структуру композиции. Таким образом, решение данной технологической задачи легло в основу первого этапа постановки эксперимента.

В представленной работе в качестве нанообъектов использовали исходный материал ОУНТ и МУНТ. Так, было установлено, что при введении нанообъектов, в матрицу полимерно-битумного вяжущего, путем нагрева и диспергации удается добиться хорошего сопряжения (встраивания) между поверхностью нанообъектов и матрицей композита, за счет этого обеспечивается эффективная передача нагрузки в структуре материала к нанотрубке, что приводит

к повышению прочностных показателей полученного композита, увеличению его низкотемпературных свойств, а также значительному увеличению эластичности, теплостойкости и интервала работоспособности [14, 15]. Опираясь на полученные зависимости, было предположено, что при использовании приемов наномодификации возможно целенаправленно регулировать показатели свойств мастик за счет варьирования процентного соотношения компонентов в рецептуре гидроизоляционного материала и в первую очередь, нанотрубок. В связи с этим, вторым этапом исследования явилось изучение влияния комбинации компонентов и, в первую очередь, нанообъектов на свойства полимерно-битумной мастики.

В качестве сырьевых компонентов для приготовления мастики использовали: исходный материал ОУНТ и МУНТ, битум 90/130 «Московского» НПЗ, который соответствует требованиям [16], полимер – дивинилстирольный термоэластопласт ДСТ–30Р–01, органический пластификатор – индустриальное масло, мелкодисперсную резиновую крошку, крупностью не более 0,7 мм, минеральный наполнитель – шунгит, соответствующий требованиям [17], результаты испытаний представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные физико-механические показатели минерального наполнителя

Наименование показателя	Величина показателя	
	требования ГОСТ	фактические
Зерновой состав, % по массе мельче 1,25 мм мельче 0,315 мельче 0,071	 Не менее 95 От 80 до 95 Не менее 60	 99,6 94,5 84
Пористость, %	не более 40	22
Набухание образцов из смеси порошка с битумом, %	не более 3,0	1,5
Водостойкость образцов из смеси порошка с битумом, %	не более 0,7	0,91
Показатель битумоемкости, г.	не более 80	48
Влажность, % по массе	2,5	2,1
Средняя плотность, г/см^3	-	2,5
Истинная плотность, г/см^3	-	3,2

Как видно из таблицы, используемый минеральный материал полностью соответствует требованиям [16, 17].

При постановке эксперимента была рассмотрена следующая рецептурная комбинация составляющих компонентов: наномодификатор $1\cdot10^{-3}$…$6\cdot10^{-3}$ %, индустриальное масло 2…9,4 %, ДСТ–30Р–01 2,5…3,5 %, резиновая крошка 1…5 %, минеральный наполнитель шунгит 6…10 %, битум – остальное

В табл. 2 представлен ряд возможных составов мастик, однако, вариантов их приготовления в зависимости от необходимых конечных свойств продукции множество.

Изменяя соотношения компонентов в мастике, был выявлен синергизм влияния каждого из них. Так, например, существенный вклад в формирование базовых показателей качества мастики вносит пластификатор. В ходе приготовления битумно-полимерной мастики, наличие пластификатора необходимо как среды, в которой распределяются нанообъекты. Полученный прекурсор (пластификатор и нанообъекты) объединяется с битумом, а затем с резиновой крошкой и полимером. Содержание модифицированного пластификатора зависит от вязкости исходного битума, а также свойств, которыми должен характеризоваться готовый продукт. При содержании пластификатора менее 2 % достичь равномерного распределения минимального количества ($1\cdot10^{-3}$) нанообъектов не представляется возможным. При использовании более вязкого битума содержание пластификатора в композиции должно увеличиваться.

При введении прекурсора в битум, увеличивается растворяющая способность дисперсионной среды, таким образом, становится возможным сохранить равновесное состояние в этой системе и не допустить уменьшение толщины сольватной оболочки в асфальтеновых комплексах, что неизбежно происходит при введении полимера в битум при отсутствии пластификатора. Это может привести к расслаиванию системы в процессе хранения и транспортировки в результате конкурирующей абсорбции между молекулами асфальтенов и молекулами полимера.

Таблица 2

Составы мастик

№ сост	Компоненты мастик, %							
	Битум БНД		Резиновая крошка	Полимер	Пластификатор	Наномоди-фикатор		Минеральный наполнитель
	60/90	90/130		ДСТ 30Р-01	И-40	ОУНТ	МУНТ	шунгит
1	83,5	-	3	3	2,0	2·10-3	-	7
2	77,6	-	3	3	3,5	2·10-3	-	7
3	77,6	-	3	3	9,4	1·10-3	-	7
4	-	76,4	4	3,2	9,4	-	5·10-3	7
5	-	82,3	4	3,2	3,5	-	5·10-3	7
6	-	82,3	4	3,2	3,5	-	6·10-3	7
7	79	-	3	3	9,4	-	-	7

Достижение равномерного распределения нанообъектов с последующим их встраиванием в матрицу композита становится возможным за счет введения дополнительной технологической операции – ультразвуковой диспергации нанообъектов в пластификаторе с одновременным его нагревом, рис. 1.

Представленные микрофотоснимки получены на спектрометре комбинационного рассеивания senterra на базе конфокального микроскопа.

Фиксировать равномерность распределения нанообъектов в битуме – задача, в настоящее время, невыполнимая, поэтому равномерность распределения ОУНТ оценивали в процессе приготовления полимерного компонента. Как видно, по рис. 1 рассыпаны радужные круги, если всмотреться внимательно, то обнаружить их можно и в глубине рисунка. Это объясняется тем, что видимые объекты внутри образца меньше длины световой волны (менее ~50 нм), поэтому наблюдается дифракционная картина. Очевидно, наблюдаемые объекты - это конгломераты нанотрубок, распределенные в объеме полимерного компонента [14].

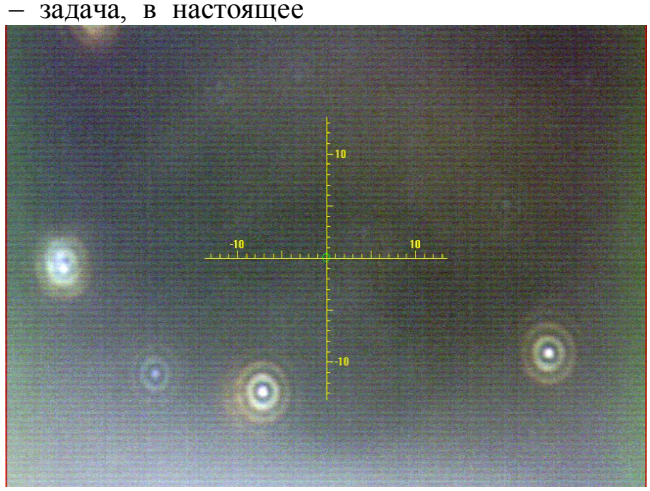


Рис. 1. Микрофотография полимерного компонента модифицированного ОУНТ

Можно предположить, что последовательное распределение наномодифицированного полимерного компонента в битуме будет способствовать более равномерному распределению ОУНТ в объеме вяжущего, а видимые агрегаты нанотрубок, со структурированным вокруг них полимером, придадут композиту совокупность полезных свойств.

В общем виде приготовление мастик осуществлялось следующим способом: в разогретый до 160…170ºС битум при перемешивании совместно вводились предварительно приготовленный прекурсор, состоящий из пластификатора и углеродных нанообъектов, дивинилстирольный термоэластопласт и резиновая крошка. Затем вводился минеральный наполнитель шунгит, после чего приготавливаемая мастика перемешивалась до готовности и далее стабилизировалась в течение 1 часа. Показатели физико-механических характеристик представлены в табл. 4.

Как видно из табл. 4, при введения нанообъектов в битумную матрицу композиции с последующим добавлением резиновой крошки и полимера происходит ее комплексное армирование.

Очевидно, что при содержании наномодификатора в рассмотренном интервале происходит сближение частиц в битумно – полимерно – резиновой матрице. В этом случае приповерх-

ностные структурирующие слои, образующиеся вокруг нанообъектов, имеющих высочайшую удельную поверхность, начинают соприкасаться с последующим сближением в общую для всех частиц, упрочненную за счет армирования, матрицу.

Таблица 3

Физико-механические характеристики образцов мастик

№ Сост.	Физико-механические показатели									
	глубина проникания иглы,0,1,мм		температура, ºС		растяжимость, см, при		эластичность		адгезионное сцепление	гибкость
	25ºС	0ºС	размягчения	хрупкости	25ºС	0ºС	25ºС	0ºС		
1	62	40	90	-30	49	14	100	98	5	25
2	77	61	72	-29	50	17	99	98	5	25
3	79	55	75	-33	69	24	98	96	5	25
4	115	63	60	-27	70	14	85	83	5	35
5	84	55	78	-27	53	10	87	85	5	25
6	82	53	80	-26	55	13	97	91	5	35
7	82	66	62	-21	43	9	79	73	4	35

При этом композиция становится более прочной, но в отличие от классического армирования сохраняет свою пластичность. За счет этого, получаемое вяжущее становится более эластичным с повышенными когезионными и адгезионными показателями. Полученные результаты по когезионной прочности представлены на рис. 2.

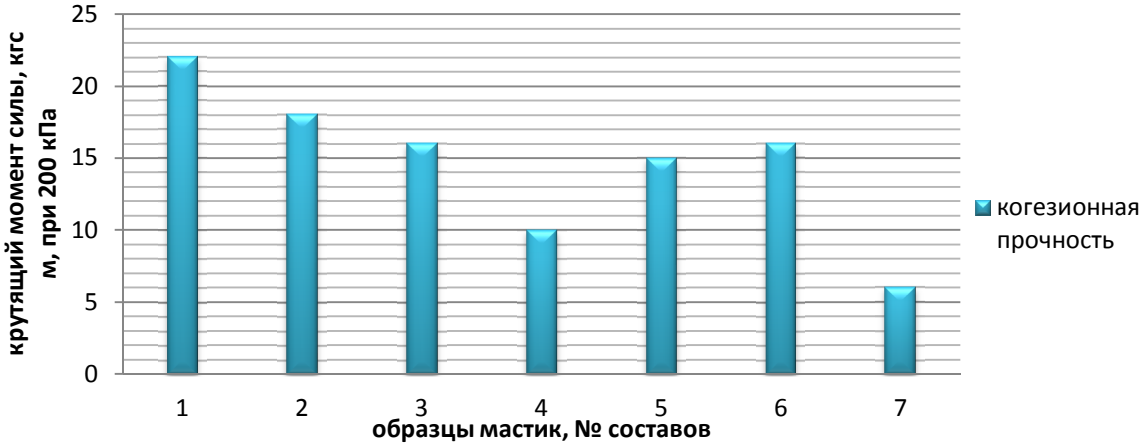


Рис. 2. Когезионная прочность образцов мастик

Как видно, когезионная прочность напрямую зависит от содержания нанообъектов в образцах мастик. При уменьшении их содержания (образец №3) когезионная прочность уменьшается на 27 % , в контрольном образце №7, который был приготовлен без использования наномодификатора, когезионная прочность уменьшилась на 73 %. Что говорит о весомом вкладе нанообъектов в структуризацию и наноармирование композита.

Резиновая крошка выполняет функцию наполнителя, который повышает температуру размягчения системы. Введение резиновой крошки в состав мастики снижает расход дорогостоящих полимерных компонентов, позволяет удешевить модификацию вяжущего, тем самым приводит к значительной экономии. В процессе перемешивания резиновой крошки и полимера с битумным вяжущим в присутствии прекурсора под воздействием высокой температуры происходит частичная девулканизация поверхностных слоев резиновой крошки, происходящий при этом разрыв связей С–S–С приводит к образованию боковых ответвлений производных изопрена, которые растворяются в модифицированном органическом пластификаторе. Они же, в свою очередь, несут на себе радикалы –С–S, способные к взаимодействию с оставшимися двойными связями в бутадиеновых блоках СБС полимера [18, 19]. В результате такого взаимодействия происходит прививка молекул наномодифицированного полимера на поверхность частично девулканизированной резиновой крошки и образование пространственной «пластично» армированной структуры в вяжущем, состоящей из частиц нерастворившейся резиновой крошки и привитых молекул полимера.

В соответствии с требованиями к готовой продукции по теплостойкости, количество резиновой крошки может доходить до 5 %. Дальнейшее увеличение содержания резиновой крошки создает трудности при приготовлении мастики, так как усложняется процесс ее перемешивания и получения однородной стабильной системы.

В качестве наполнителя, для регулирования показателей свойств мастики использовался тонкомолотый шунгит, который становится центром структурирования за счет содержания в своем составе смеси разнообразных углеродных аллотропов, чьи небольшие решётки соединены аморфным углеродом [20, 21]. Эти особенности строения позволяют при наполнении битумно – полимерно – резиновой композиции минеральным наполнителем сохранить высокую гибкость при отрицательных температурах, эластичность при 0^0С, когезионную прочность, а также высокую адгезию к поверхности каменного материала. Предварительно были проведены исследования по определению оптимального содержания минерального наполнителя [22], установлено, что наиболее предпочтительно использовать дисперсный шунгит в количестве 7 %. При такой концентрации достигается наилучшая гибкость композиции. Дальнейшее увеличение наполнителя переводит смесь в очень вязкое состояние с приобретением хрупких свойств.

Анализ полученных результатов показал, что за счет модификации мастики нанообъектами, содержание полимера в композиции снижается, с одновременным повышением температуры размягчения, эластичности и когезии. Так для получения теплостойкой мастики полимер вводится в среднем в количестве 5…12 %, в соответствии с полученными данными содержание полимера в композиции может варьироваться от 2,5 до 4 %. При этом, достижение высоких показателей качества мастики возможно при использовании как исходного материала одностенных (ОУНТ), так и многостенных (МУНТ) углеродных трубок. Однако для достижения равнозначного эффекта содержание МУНТ в композиции должно быть увеличено. В соответствии с таблицей 2, концентрация таких трубок должна в 2 раза превышать содержание ОУНТ при увеличении содержания полимера, чтобы достичь температуры хрупкости мастики –27ºС и температуры размягчения 60…90ºС. Наличие нанообъектов в составе мастик увеличивает адгезионные и когезионные характеристики композиционного материала.

Выводы. Проведенное авторами исследование существующих методов защиты сооружений, работающих в условиях агрессивной водной среды, позволяет утверждать, что решение существующих проблем по защите сооружений основывается на использовании гидроизоляционных материалов. Предложены эффективные пути решения проблемы за счет создания нового материала - битумно-полимерной мастики с комплексным армированием матрицы, придающей материалу свойства, обеспечивающие бездефектную работу объектов строительства и их надежное функционирование на весь период эксплуатационного срока.

Авторами рассмотрены ключевые моменты наномодификации, армирования полимером и резиновой крошкой, наполнения минеральным наполнителем, а также вариативные воздействия этих составляющих в совокупности. Разработаны оптимальные составы мастик, в зависимости от необходимых эксплуатационных условий, получены оптимальные технологические режимы, обеспечивающие получение однородного, стабильного, наномодифицированного композита с высокими показателями когезионной и адгезионной прочности и широким температурным интервалом работоспособности.

**Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ №1950 и Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова на 2012–2016 годы.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зельманович Я. И. Состояние рынка мягких кровельных и гидроизоляционных материалов в России в 2009-2010 гг. // Строительные материалы. 2011. №3. С. 63-67.

2. Барабаш Д.Е, Волков В.В. Гидрофильные герметики для автомобильных дорог и аэродромов // Строительные материалы. 2011. №10. С. 55-58.

3. Рыбкин Ю. Ю. Битумно-полимерные мастики Tytan Professional: качественная гидроизоляция от ведущего международного производителя строительных материалов Selena Group // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI. 2013. №3. С. 14-18.

4. Khakimullin Y. N. Yarulin R.S. Thermal and radioactive aging of application rubber and rubber-bitumen composition // Inter. Conf. «Strength, durability and stability of materials end structures». Panevezys. Lietuva. 1999. P. 345-350.

5. Lin Y., Meziani M. J., Sun Y. P. Innovative materials based // Materials Chemical. 2007. No. 17. pp. 1143.

6. Хозин В. Г., Низамов Р.К. Полимерные нанокомпозиты строительного назначения // Строительные материалы. 2009. №8. С. 32-35.

7. Аюпов Д.А., Мурафа А.В. Модифицированные битумные вяжущие строительного назначения // Строительные материалы. 2009. №8. С. 50-51.

8. Гохман Л. М., Гурарий Е.М., Давыдова А.Р., Давыдова К.И. Полимерно-битумные вяжущие материалы на основе СБС для дорожного строительства. М., 2002. (Автомоб. дороги: Информ. сб. // Информавтодор; Вып. 4).

9. Низамов Р.К. Хозин В.Г. Полимерные нанокомпозиты строительного назначения // Строительные материалы. 2009. №8. С. 32-35.

10. Алдошин С.М. Бадамшина Э.Р., Каблов Е.Н. Полимерные нанокомпозиты – новое поколение полимерных материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками. В сб. тр. Международного форума по нанотехнологиям «Rusnanotech – 08». Москва. // 3-5 декабря. 2008. Т1. С. 385-386.

11. ОДМ 218.2.003-2007 Рекомендации по использованию полимерно-битумных вяжущих материалов на основе блоксополимеров типа СБС при строительстве и реконструкции автомобильных дорог. от 01.02.2007 № ОБ-29-р

12. Озерин А. Н. Наноструктуры в полимерах: получение, структура, свойства // Тр. VII сессии «Проблемы и достижения физико-химической и инженерной науки в области наноматериалов». М: 2002. Т.1. С. 185-204

13. Прокопец В. С. Битумные композиции с добавкой агрегатов наночастиц // Строительные материалы. Оборудование. Технологии XXI века. 2012. №5. С. 16-17.

14. Высоцкая М.А., Кузнецов Д.А., Русина С.Ю**.** Наноструктурированное полимерно-битумное вяжущее для дорожно-строительной индустрии / «Инновации в науке»: материалы XII международной заочной научно-практической конференции. Часть I. (17 октября 2012 г.); [под ред. Я.А. Полонского]. Новосибирск: Изд. «Сибирская ассоциация консультантов», 2012. С. 27-31

15**.** Патент РФ 20123312640/03, 27.10.2013. Высоцкая М.А., Русина С.Ю, Кузнецов Д.А. и др. Полимерно-битумное вяжущее и способ его получения // Патент России № 2496812. 2013.

16. ГОСТ 22245-90. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия. Введ. 01.01.91.-М.: Изд-во стандартов, 1996. 5 с.

17. ГОСТ 52129-2003. Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей. Технические условия. Введ. 27.06.2003.-М.: Изд-во стандартов, 2004. 20 с.

18. Гуреев А.А., Лакомых А.В, Самсонов М.В Полиэтиленгудроновые вяжущие – инновационный материал для дорожного строительства // Сборник трудов научно-практической конференции, посвященной 50-летию образования битумной лаборатории РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. 2003. С. 21-29.

19. Гусев А.Д., Петухова Н.А., Карпухин Г.А. К вопросу переработки изношенных автомобильных шин // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. №6. С. 11-14.

20. Пыкин А. А., Лукутцова Н. П., Калугин А.А. Мелешкевич В.И. Влияние органоминеральных наномодификаторов на основе шунгита на структуру и прочность керамического камня // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. №1. С. 50-55.

21. Высоцкая М.А., Русина С.Ю., Кузнецов Д.А., Федоров М.Ю. Удивительный шунгит // Сборник научных трудов Института строительства и архитектуры МГСУ (Выпуск 4): научные труды Международной молодежной конференции «Оценка рисков и безопасность в строительстве. Новое качество и надежность строительных материалов и конструкций на основе высоких технологий». ФГБОУ ВПО «Моск. Гос. Строит. ун-т». М.: МГСУ, 2012. 390 с.

22. Marina Vysotskaya, Rusina Svetlana Die Strukturierung des Bitumens in den Binären Systemen / Science and Education: materials of the II international and practice conference, Vol. I, Munich, December 18-19, 2012 / publishing office Vela Verlag Waldkraiburg–Munich–Germany, 2012. P. 147-150.

Rusina S.Y., Vysotskaya M.A.

THE DEVELOPMENT OF EFFECTIVE NANOMODIFIED POLYMER-BITUMEN MASTIC

To protect concrete, brick, elevated and underground structures, working in conditions of aggressive, effective waterproof protection against corrosion arising from hydrodynamic processes occurring under the action of surface water and groundwater, leading to deformation of the structure and, consequently, premature decommissioning. Therefore, to ensure long-term operation of such facilities requires the use of materials with complex characteristics. Currently one of the most effective methods of struggle with the indicated defects is the use of waterproof materials including polymer-bitumen mastic.

Key words: *polymer-bitumen mastic, nano-modifier, nanormirovanniy.*

Черныш Н.Д., доц.,
Коренькова Г.В., доц.,
Митякина Н.А., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ПРОБЛЕМЫ, МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КУЛЬТУРЫ СОЗДАНИЯ АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЫ

konsrarh@mail.ru

В последнее время в учебных планах направления «Строительство» предусмотрено сокращение объема дисциплин, связанных с архитектурой. Между тем, обучение проектированию, подготовка выпускника вуза к архитектурно-строительной деятельности актуально, поскольку затрагивают общественное здоровье, безопасность и благосостояние. В статье рассмотрены методические основы подхода к проблеме профессионального развития, основные аспекты тенденций профессионального развития.

Ключевые слова: *архитектурная среда, здания, застройка, архитектурно-строительная деятельность, профессионализм, методика обучения.*

Во все времена образование – часть культуры, от состояния и развития которой зависит будущее любой страны. Культура хранит и передает от поколения к поколению программу социальной жизни с особенностями архитектурно-пространственной среды, характерной для определенного типа общества. Архитектурно-строительная деятельность всегда была важнейшей структурной составляющей жизни любого государства.

Профессия строителя (в широком смысле) не может существовать и развиваться без опоры на опыт предшественников без изучения и осмысления исторических знаний. Недооценка этого факта в последние десятилетия ведет к падению уровня профессиональной культуры строителей. Мнение о том, что строителям не нужно изучать архитектуру или что достаточно изучить основы архитектуры, чтобы в дальнейшем самостоятельно разобраться в вопросах проектирования – глубокое заблуждение. Объем знаний всегда определяет зрелость специалиста. Именно объем знаний позволяет вырабатывать обоснованные, взвешенные, убедительные проектные решения, которые содержат концептуальную научно-техническую составляющую. Ошибки, допускаемые в процессе проектирования, часто связаны с незнанием или плохим знанием и пониманием закономерностей и особенностей архитектурно-строительной деятельности.

Самореализация выпускника вуза происходит через деятельность, направленную на фактическое изменение мира. Результат его труда – инженерное решение, содержащее информационную основу для организации, преобразования и развития **окружающей** среды. В профессиональной подготовке выпускников для строительной отрасли проектирование среды в виде зданий, сооружений занимает особое место.

Обеспечение жильем долгое время остается сложным вопросом. Приоритетными направлениями строительной стратегии в процессе реализации национального проекта «Доступное и комфортное жилье» являются развитие комплексной застройки и малоэтажного строительства. Города не могут быть только малоэтажными или многоэтажными. Необходима гармоничная среда обитания.

Расширения знаний в области малоэтажного домостроения необходимо ещё и потому, что частный одноэтажный дом, хорошо известен в сельской местности. В настоящее время малоэтажная застройка получает распространение в пригородах, входит в города, особенно малые и средние. Новый вид малоэтажной городской застройки порождает новые проблемы в проектировании. Встречаясь напрямую с заказчиком – будущим владельцем дома – архитектор, заинтересованный в получении заказа, выполняет его желание, которое во многих случаях бывает спорно с профессиональной точки зрения. В большинстве случаев заказчик не имеет представления о рациональной структуре дома: без опыта эксплуатации суждения бывают ошибочны. Представление о доме складывается под влиянием журналов, фильмов, рекламы и т.д.

Развитие малоэтажного строительства характеризует многообразие типов домов и различные технологии возведения. Одной из проблем малоэтажного строительства является применение в условиях российского климата не апробированных материалов, конструктивных систем, качество и безопасность которых оставляют желать лучшего.

Повышенный интерес к теме жилой среды обусловлен социальной значимостью и актуальностью. Жилая среда постоянно меняется, реагируя на изменение вкусов общества, выраженных в стилевых предпочтениях, и отражает возрастающие требования к физической и психической комфортности жилища.

В течение тысячелетий практически каждый дом нес отпечаток традиций своего народа,

особенностей образа жизни, имеющихся природно-климатических условий местности, технологий строительного искусства. В различных регионах выработаны свои формы традиционного жилища.

Рост городов и развитие промышленности изменили систему расселения, создав огромные территории многоэтажной застройки. Благодаря индустриальным методам строительства по типовым проектам, жилищное строительство приобрело грандиозные масштабы. Однако жилая застройка велась без учета климатических поясов, культурных и архитектурных традиций, национальных особенностей и индивидуальных требований.

Устойчивое развитие городов на современном этапе, безусловно, связано с проблемой реконструкции индустриальной жилой застройки прошлого столетия. В процессе длительной эксплуатации она приобрела не только физические дефекты, но и морально деградировала, перестав удовлетворять современным потребительским качествам, предъявляемым к жилью. Поскольку основной жилой фонд по стране сосредоточен в домах массовых серий, а проблема обеспечения населения жильем не становится менее острой, то поиск способов реконструкции старого жилого фонда с целью продления срока его службы и соответствия современным требованиям на сегодняшний день особенно актуален. Возрастающие требования к жилой среде вытекают из изменяющихся психологических, общественных и демографических факторов, из технических обоснований, связанных с общим прогрессом. Одновременно появляется тенденция изменения требований к качеству окружающей среды в целом.

Любая проектная концепция строится на базе теоретической подготовки, включающей следующие вопросы: социальные проблемы архитектурной среды; факторы, влияющие на формирование городской среды; назначение и эмоциональное содержание среды; преемственность и новаторство в развитии городской среды; тенденции развития городской среды; структурные элементы селитебной территории; методы реконструктивного анализа городской среды; модели оптимизации качества жилой среды;

В процессе изменений, происходящих в стране, в обществе, в погоне за прибылью и по ряду других причин почти утрачено понимание, что проектная деятельность – это этап строительных услуг, которые в наибольшей степени затрагивают общественное здоровье, безопасность и благосостояние. Общество рассматривает проектирование и архитектуру в основном как чистое искусство. «Проектирование настолько превратилось в некую игру с формой, что реальность того, как здание переживается, оказалась упущенной. Мы делаем ошибку, когда размышляем о здании и оцениваем здание как формальную композицию, не понимая более, что оно есть символ переживания другой реальности, которая лежит за этим символом ». Эти строки написаны в 1986 году.

ФГОС подготовки бакалавров по направлению «Строительство» предусматривает овладение системой знаний об основах архитектурно-строительного проектирования гражданских и промышленных зданий и сооружений. В результате изучения дисциплин обучающийся должен знать основы теории проектирования и градостроительства, принципы и тенденции их формирования и развития, уметь разрабатывать конструктивные решения простейших вариантов жилых здании как единое целое, состоящее из связанных и взаимодействующих друг с другом несущих и ограждающих конструкций; разрабатывать архитектурно-строительные чертежи жилых зданий; решать задачи по созданию конструкций зданий с высокими эстетическими и функционально-технологическими качествами; владеть (быть способным продемонстрировать) навыками самостоятельного пользования нормативной и технической документацией на разных стадиях архитектурно–строительного проектирования.

Методика изучение основ архитектуры отличается от изучения гуманитарных и математических дисциплин. Способом вхождения студента в мир профессиональных знаний должна оставаться передача знаний наставником, который в современных условиях учитывает необходимость развивающего характера технического образования; делает акцент с вопроса «Чему учить?» на вопрос «Как учить?», как формировать мышление, как привить тягу к самосовершенствованию, как развить способность к творчеству, к переключению на иную сферу деятельности. Система высшего профессионального образования имеет противоречивую природу: с одной стороны она – консервативна: призвана обеспечить воспроизводство культурных ценностей, с другой – она призвана «опережать», предвидеть будущее. Методы обучения имеют многофункциональное значение в учебном процессе. Овладение учебным материалом предполагает, что студент способен, руководствуясь знаниями, проанализировать ту или иную ситуацию, дать ее оценку с позиций теории, наметить правильный путь решения профессиональной задачи.

В учебной и справочной литературе обычно подробно рассматривают конкретные решения конструктивных элементов зданий без раскрытия методики конструирования. В то время как выявление и объяснение существующих причинно-следственных связей позволит максимально исключить механическое запоминание материала и повысить качество подготовки сту-

дентов по поиску конструктивных решений элементов для реальных условий проектирования и строительства.

Методику целесообразно рассмотреть на примере конструирования перекрытия гражданского здания. Перекрытие подвержено воздействиям, возникающим и протекающим в ходе строительства, в процессе эксплуатации здания. Перекрытия воспринимают силовые воздействия и дополнительные напряжения в результате выполнения функций жестких горизонтальных диафрагм. Перекрытия подвержены не силовым воздействиям: тепловой поток, диффузия водяных паров, воздушный шум, под влиянием которых может происходить нагрев и охлаждение, увлажнение, замерзание, оттаивание материала.

В результате анализа воздействий возможно сформулировать требования, которым должен удовлетворять элемент в целом и его отдельные части и узлы. В первую группу включают требования, обусловленные воздействиями: чердачное перекрытие должно быть прочным, жестким и не зыбким, обеспечивать теплозащиту помещений, их звукоизоляцию от воздушного шума. Вторую группу составляют технико-экономические требования, которым должны удовлетворять все конструктивные элементы и здание в целом (удобство в эксплуатации, выразительность, технологичность, экономичность, высокая заводская готовность и др).

Поиск конструктивного решения перекрытия необходимо вести по направлениям уменьшения неблагоприятного воздействий на элемент и улучшения конструкции элемента за счет применения эффективных материалов и изделий. Процесс поиска удобно разделить на несколько действий. Одновременно с поиском конструктивного решения элемента следует думать о решениях узловых сопряжений с другими элементами с учетом тех воздействий, которым они будут подвергаться в процессе эксплуатации здания. В процессе поиска конструктивного решения конкретного элемента обычно получают несколько вариантов, из которых необходимо принять один, выполнив оценку качества вариантов.

Среда, в которую бывшие студенты попадают на работе, отличается от студенческой среды. При этом огромную роль в становлении молодого специалиста играет базовая подготовка в вузе, предполагающая достаточно высокий уровень сформированности различных умений и навыков, а также способность непрерывно совершенствовать и умение активно применять полученные знания.

Опыт, в отличие от знаний, приобретают только в процессе практической деятельности, в ходе которой выполняют необходимые действия и анализируют результаты их выполнения. В то же время выполнение действий возможно только на основе знаний и определенных умений. Обучение умениям и навыкам происходит только в практической деятельности, поэтому в учебном процессе необходимо выполнение курсовых проектов.

Выполнение учебных проектов является мотивировкой учебно-познавательной деятельности, так как студенты делают персональные интеллектуальные инвестиции в проект и видят результаты своей деятельности, а также мотивацией служит и то, что они постоянно работают над совершенствованием собственных технологий, знаний, умений и навыков оперирования компьютерными программами и INTERNET-**ресурсами.** Выбор тем курсовых работ и проектов определен требованиями практики проектирования с таким расчетом, чтобы ознакомить студентов со зданиями наиболее разнообразного характера. Формы и методы обучения направлены на формирование у студента ответственности, на развитие творческого мышления и самосознания, на повышение самостоятельности работы.

Совершенствование профессиональной практической подготовки предполагает: во-первых, обеспечение подготовки к выполнению всех основных профессиональных функции; во-вторых, готовность к выполнению не только отдельных операций, но и деятельности от начального этапа до анализа результатов.

Одним из подходов к решению проблемы повышения качества готовности выпускников к практической профессиональной деятельности является моделирования профессиональной деятельности в учебном процессе. Моделирование профессиональной деятельности в учебном процессе дает обучающимся правильное и полное представление о целостной профессиональной деятельности (от целеполагания до самоанализа процесса и результатов деятельности) и позволяет в процессе обучения овладеть способами (действиями, операциями) профессиональной деятельности настолько полно, что обеспечивает безболезненный переход к реальному выполнению профессиональных функций.

Моделирование профессиональной деятельности в учебном процессе преподаватели кафедры применяют как специфическую технологию обучения. Суть ее состоит в том, что обучающиеся не выполняют профессиональную деятельность, а имитируют ее. Моделирование профессиональной деятельности в учебном процессе предполагает, во-первых, установление составляющих элементов деятельности, во-вторых, определение значимости этих составляющих для протекания процесса, в-третьих, установление взаимосвязей между ними, характеризующих структуру целостной деятельности.

Студент осваивает новую для него **деятельность** от простых элементов к более слож-

ным и затем переходит к овладению полноценной профессиональной деятельностью. Для **преподавателей** это движение имеет обратное направление – от целостной деятельности к составным ее частям и элементам.

Данный метод создает у студента впечатление, что он в действительности «проектирует». Однако, выполненная в рамках одной дисциплины в осеннем семестре второго курса учебная работа не позволяет утверждать, что студент научен проектированию: студент решил за несколько занятий то, что проектные институты коллективом специалистов проектируют по несколько месяцев. В связи с этим требовать от студентов самостоятельного выполнения реального проекта – то же, что от студента-медика самостоятельно выполненной операции. Перефразировав классиков о качестве учебных проектов студентов, можно сказать: «Сначала мы проектируем просто и плохо, позже – сложно и плохо, затем – сложно и хорошо, и уж только после этого просто и хорошо».

Следует отметить, что процесс «настоящего» профессионального производственного проектирования и процесс учебного проектирования имеют ряд различий, связанных, в первую очередь, с целью. Если цель производственного проектирования заключается в создании проекта как результата деятельности, то учебное проектирование направлено, в первую очередь, на овладение обучающимся способами и приемами самостоятельного достижения поставленной учебно-профессиональной задачи, удовлетворение познавательных потребностей, самореализацию и развитие личностных качеств. При этом сама новизна продукта проектирования зачастую субъективна.

Имеющийся опыт преподавания и проектирования позволяет авторам статьи утверждать, что в настоящее время целесообразно расширение знаний выпускников в области организации пространства, проектирования объектов и развития архитектурной среды. Практический опыт по преобразованию жилой среды в учебном проектировании позволяет студентам глубоко знать проблемы развития города в целом, выработать системный подход в решении задач любого уровня, знать и уметь применять широкий спектр возможностей новых технологий, находить новые образные и стилевые характеристики среды обитания. Знание современных технологий в области строительства и строительных материалов позволяет любой идее придать осмысленность и реальную основу для воплощения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попков В.А. Коржуев А.В. Теория и практика высшего профессионального образования. М.: Академический проект, 2004. 428 с.

2. Дружилов С.А. Профессионалы и профессионализм в новой реальности: психологические механизмы и проблемы формирования // Сибирь. Философия. Образование. Альманах СО РАО, ИПК. Новокузнецк, 2001. Вып. 5. С. 45–56.

3. Чернышов Ю.В. К проблеме развития конструктивно-пространственного мышления инженеров-архитекторов в процессе обучения архитектурному рисунку // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 3. С. 184–186.

4. Черныш Н.Д., Коренькова Г.В. Реальное проектирование в учебном процессе при подготовке инженера-архитектора // Непрерывное многоуровневое профессиональное образование: традиции и инновации: в 3-х частях. Ч. 3. Повышение качества профессиональной подготовки: сборник статей по материалам региональной научно-методической конференции. Воронеж: Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т. 2011. С. 99–104.

5. Черныш Н.Д., Коренькова Г.В., Митякина Н.А. Актуальность обучения проектированию в учебном процессе при подготовке инженера-архитектора // Современные тенденции в образовании и науке: сборник статей Международной заочной научно-практической конференции. Тамбов, 2012. С. 51–53.

6. Черныш Н.Д., Коренькова Г.В., Митякина Н.А. Применение современной нормативной базы проектирования объектов капитального строительства в учебном курсовом проекте // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сборник научных трудов по материалам Международной заочной научно-практической конференции. Воронеж: Изд-во ФГБОУ ВПО «ВГЛТА». 2013. С. 6–11.

Chernysh N.D., Korenkova G.V., Mityakina N.A.

ISSUES AND TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF METHODICAL BASES OF PROFESSIONAL CULTURE OF ARCHITECTURAL ENVIRONMENT

Recently, the curriculum areas of "construction", the reduction in disciplines related to architecture. Meanwhile, training design, training, graduate of the University to the architectural and construction activity is relevant, since it affects the public health, safety and welfare. In the article the methodical fundamentals approach to professional development, the main aspects of the trends of professional development.

Key words: *architecture, buildings, environment building, architectural and construction work, professionalism, technique training.*

Строкова В.В., д-р техн. наук, проф.,
Огурцова Ю.Н., инж.-иссл-ль,
Боцман Л.Н., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВНОГО КОМПОНЕНТА НА СТЕПЕНЬ ПРОПИТКИ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА ПРИ ЭПИКРИСТАЛЛИЗАЦИОННОМ МОДИФИЦИРОВАНИИ*

ogurtsova.y@yandex.ru

В работе исследована возможность регулирования процесса эпикристаллизационного модифицирования цементно-песчаной матрицы за счет варьирования характеристик активного компонента. Установлены зависимости степени пропитки цементно-песчаной матрицы раствором полисиликатов натрия от вида кремнеземного сырья и количества щелочи, размера гранул активного компонента и их содержания в составе бетонной смеси. Исследованы микроструктурные особенности бетонной матрицы в зоне пропитки раствором полисиликатов натрия при различном содержании активного компонента.

Ключевые слова: *активный компонент, мелкозернистый бетон, эпикристаллизационное модифицирование, кремнеземное сырье, раствор полисиликатов натрия, степень пропитки.*

Введение. Структурообразование бетона с активным компонентом, например, гранулированным наноструктурирующим заполнителем (ГНЗ) [1, 2], отличается от традиционного присутствием этапа эпикристаллизационного модифицирования (ЭМ). В строительных композиционных материалах ЭМ выступает примером направленной реализации механизма техногенного метасоматоза для улучшения их свойств [3].

Критерием эффективности реализации эпикристаллизационного модифицирования является достижение необходимых физико-механических (или гидро-, теплофизических) характеристик в сравнении с контрольными, немодифицированными образцами. В частности, в зависимости от назначения проектируемого композита, это прочность на сжатие, теплопроводность, водопоглощение и др.

Результатом ЭМ матрицы композиционного строительного материала на нано- и микроуровнях выступает заполнение пор и микротрещин модифицирующим раствором, на макроуровне – формирование системы замкнутых пор с уплотненной контактной зоной «цементное вяжущее – активный компонент».

Регулирование эпикристаллизационного модифицирования возможно за счет управления следующими факторами: свойства и соотношение компонентов модификатора; свойства и соотношение компонентов матрицы композита; технологические параметры модифицирования.

В данной работе предлагается установить влияние на эффективность эпикристаллизационного модифицирования состава, содержания и размера гранул активного компонента.

Для выявления влияния вышеуказанных факторов на эффективность ЭМ строительных композитов был приготовлен гранулированный заполнитель на основе высокоактивного и активного кремнеземного сырья. Стоит отметить, что активность используемого кремнеземного сырья значительно влияет на структурообразование при эпикристаллизационном модифицировании [1]. При изменении сырья, а, следовательно, силикатного модуля и объема образующегося раствора [4…6], меняется и его воздействие на цементно-песчаную матрицу, в т.ч. степень ее пропитки.

Методология. Для установления зависимости степени пропитки цементно-песчаной матрицы раствором полисиликатов натрия от вида кремнеземного сырья и количества щелочи (рис. 1) при приготовлении образцов мелкозернистого бетона использовался активный компонент (ГНЗ) фракции 10 мм на основе: высокоактивного (кремневая кислота K_A = 76 %) и активного (опока (респ. Мордовия) K_A= 40,5 %, диатомитовый порошок Diasil (Ульяновская обл.) K_A = 40,1 %, трепел (Брянская обл.) K_A = 39,2 %) кремнеземного сырья. Содержание щелочи составляло 15…50 % с шагом 5 %.

При приготовлении образцов, гранулы определенного состава помещали в бетонную смесь в одной плоскости, с расстоянием до края образца не менее 2 см. После предварительной выдержки и тепловлажностной обработки образцы распиливали в плоскости расположения гранул. Определение степени пропитки производилось путем измерения радиуса зоны распространения полисиликатов натрия в бетонную матрицу с точностью до 0,1 мм (рис. 1).

Для установления зависимости радиуса пропитки цементно-песчаной матрицы раствором полисиликатов натрия от диаметра активного компонента (рис. 2) для изготовления образ-

цов использовался активный компонент на основе опоки Алексеевского месторождения (респ. Мордовия), предварительно разделенный на фракции по диаметру от 2 мм до 10 мм. Содержание щелочи составляло 30 % от массы опоки. Приготовление и обработка осуществлялись по тому же принципу как в предыдущем опыте (рис. 2).

Для исследования зависимости степени пропитки цементно-песчаной матрицы раствором полисиликатов натрия от содержания активного компонента (рис. 3) по вышеуказанному методу были приготовлены образцы с содержанием активного компонента 25 %, 50 % и 75 % по объему.

Микроструктурные особенности образцов мелкозернистого бетона с использованием активного компонента (рис. 4) исследованы с использованием сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения TESCAN MIRA 3 LMU.

Основная часть. Результаты определения зависимости степени пропитки цементно-песчаной матрицы раствором полисиликатов натрия от вида кремнеземного сырья и количества щелочи в составе активного компонента (рис. 1) показали, что увеличение активности кремнеземного сырья и содержания NaOH в ядре активного компонента приводит к повышению радиуса пропитки цементно-песчаной матрицы раствором полисиликатов натрия. Это обусловлено более полным растворением аморфного кремнезема, а, следовательно, увеличением количества образующегося раствора полисиликатов с последующей его миграцией через оболочку активного компонента и пропиткой матрицы. Радиус пропитки цементно-песчаной матрицы значительно не изменяется при увеличении содержания щелочного компонента в составе ядра свыше 30 % от массы кремнеземного компонента, следовательно, применение такого активного компонента не целесообразно, в том числе и по причине уменьшения силикатного модуля наноструктурирующего раствора полисиликатов натрия, и, как следствие, увеличения pH среды цементно-песчаной матрицы, что снижает конечную прочность готовых бетонных изделий, а так же приводит к увеличению высолообразования карбонатов натрия, образующихся в процессе карбонизации оксида натрия при взаимодействии с углекислым газом окружающего воздуха.

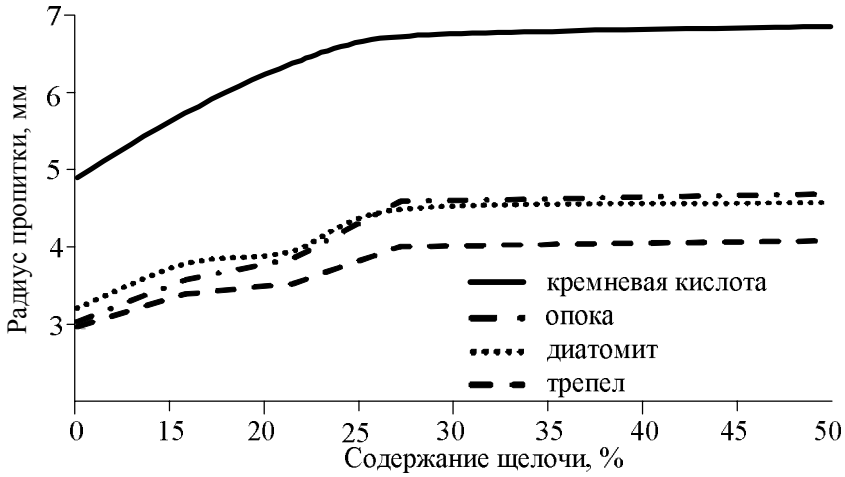
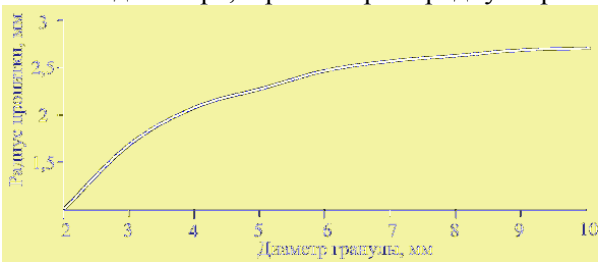


Рис. 1. Степень пропитки бетонной матрицы в зависимости от состава активного компонента

По результатам определения зависимости радиуса пропитки цементно-песчаной матрицы раствором полисиликатов натрия от диаметра активного компонента (рис. 2) установлено, что оптимальный размер заполнителя составляет 5…6 мм в диаметре, при котором радиус пропитки равен 2…2,5 мм. Дальнейшее увеличение размера заполнителя не приводит к значительному росту радиуса пропитки, так, при диаметре гранул 6…10 мм, ее значение находится в интервале 2,5…2,7 мм.



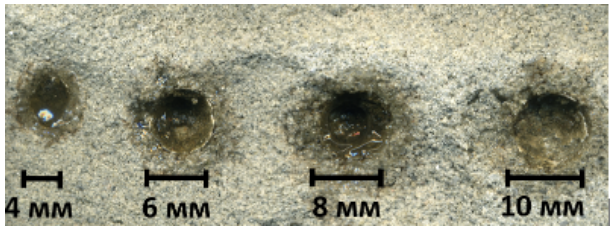
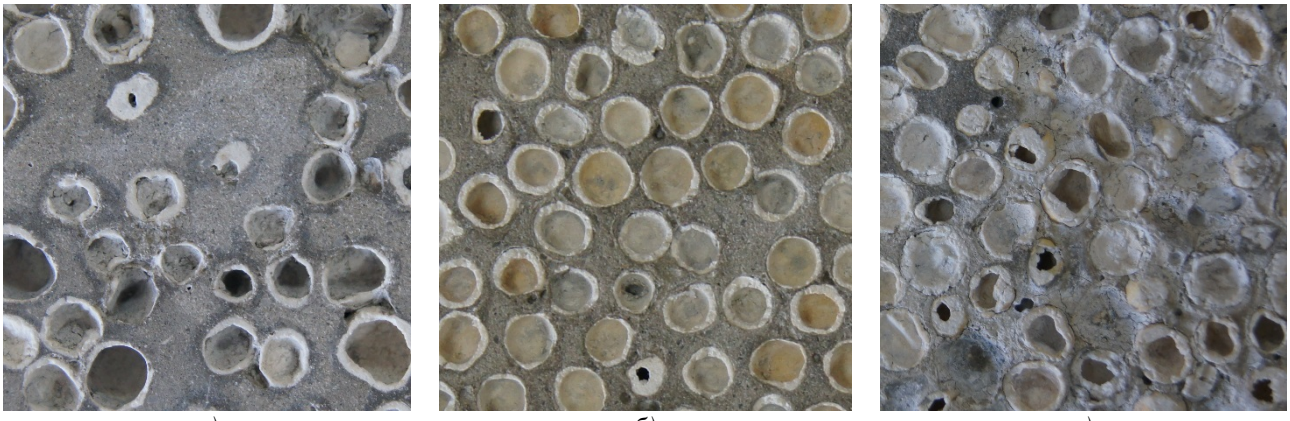


Рис. 2 Степень пропитки цементно-песчаной матрицы
в зависимости от диаметра гранул активного компонента

С учетом полученных результатов, было проведено исследование зависимости степени пропитки цементно-песчаной матрицы раствором полисиликатов натрия от содержания активного компонента (рис. 3).



а) *б)* *в)*

Рис. 3. Фотографии образцов мелкозернистого бетона с различным содержанием активного компонента по объему: а – 25 %, б – 50 %, в – 75 %

При малых содержаниях заполнителя (25 %) (рис. 3, а), его распределение по объему образца неравномерно, что негативно сказывается на характеристиках бетона из-за зональных изменений свойств. При содержании активного компонента 50 % по объему (рис. 3, б), наблюдается равномерное распределение гранул по всему образцу, а при больших концентрациях заполнителя наблюдается перекрывание зон пропитки (рис. 3, в), что приводит к повышению в данных местах содержания оксида натрия, и, следовательно, способствует выщелачиванию гидросиликатов кальция, образованных в процессе гидратации минералов цемента, и снижению за счет этого прочности бетонной матрицы, а так же к увеличению высолообразования на поверхности изделий.

Анализ микроструктурных особенностей бетонной матрицы в зоне пропитки раствором полисиликатов натрия при различном содержании активного компонента (рис. 4) позволяет отметить повышение ее монолитности, и снижение количества трещин при увеличении содержания активного компонента.

При одинаковых условиях обработки образцов в структуре с меньшим содержанием активного заполнителя наблюдаются многочисленные трещины (рис. 4, а). Неравномерное распределение пропитки в данном случае снижает эффективность эпикристаллизационного модифицирования и обуславливает формирование трещин при пробоподготовке, отслоение гидратированного цементного камня от поверхности мелкого заполнителя. При повышении степени пропитки (рис. 4 б, в) количество трещин и пор в структуре композита снижается.

Объемная пропитка в данном случае выступает примером некоторых процессов техногенного метасоматоза – процесса замещения фаз с изменение химического состава, формирования новых парагенезисов, преобразования свойств конечного материала. При оптимальной пропитке модифицирующим раствором микроструктура является более плотной и однородной, поверхность зерен покрыта микро- и наноразмерными новообразованиями различной морфологии. В случае же минимального количества активного агента микроструктура является рыхлой и дефектной, с четко выраженными границами контакта цементной матрицы и зернами заполнителя.

Выводы. В ходе исследования возможности регулирования процесса ЭМ бетонной матрицы установлено влияние на функционирование активного компонента, т.е. степень (радиус) пропитки бетонной матрицы раствором полисиликатов натрия, следующих факторов: вида кремнеземного сырья и количества щелочи; размера и содержания активного компонента. Для достижения оптимальных значений радиуса пропитки цементно-песчаной матрицы полисиликатами натрия, содержание щелочи в составе ядра должно быть не выше 30 %, диаметр гранул 5…6 мм, содержание активного компонента около 50 % по объему. Полученные результаты станут основой для разработки принципов проектирования модифицирующих компонентов, способных к активному химическому взаимодействию с цементной матрицей, повышению ее водостойкости и прочности, снижению теплопроводности композита.

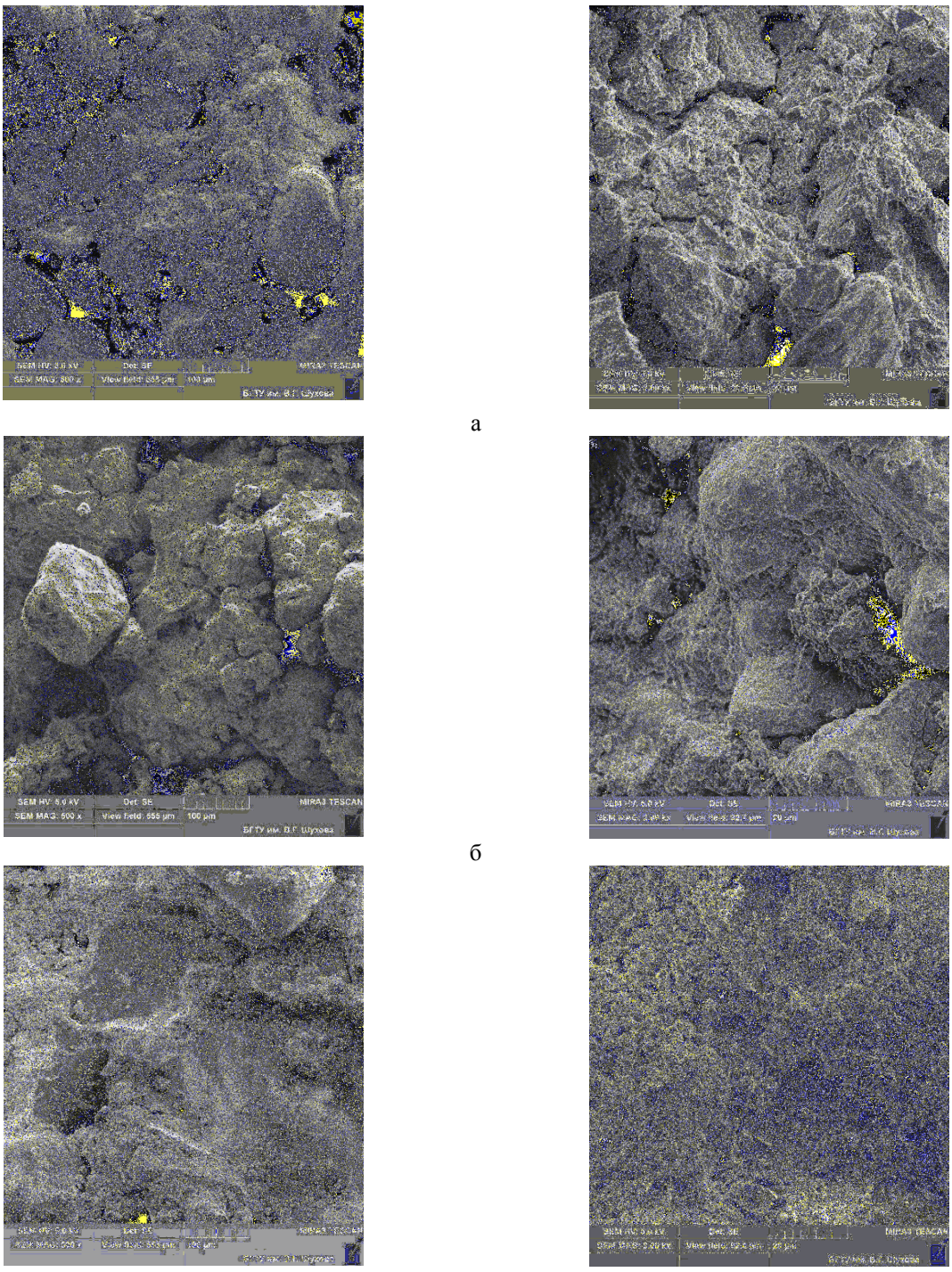


Рис. 4. Микроструктура мелкозернистого бетона с различным содержанием активного компонента по объему: а – 25 %, б – 50 %, в – 75 %

**Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 14-41-08024; в рамках стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам; с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Строкова В.В., Жерновский И.В., Максаков А.В., Огурцова Ю.Н., Соловьева Л.Н. Последовательность процессов формирования цементо-песчаной матрицы бетона при использовании гранулированного наноструктурирующего заполнителя // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6; URL: http://www.science-education.ru/106-7874 (дата обращения: 24.12.2012).

2. Лесовик В.С., Мосьпан А.В., Беленцов Ю.А., Ряпухин Н.В. Силикатные изделия на гранулированных заполнителях для сейсмостойкого строительства // Вестник Белгородского

государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. №4. С. 62–65.

3. Лесовик В.С., Володченко А.А. К проблеме техногенного метасоматоза в строительном материаловедении // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. №4. С. 38–41.

4. Филиппович Е.Н., Хацринов А.И., Егорова Т.В. Выбор оптимальных условий щелочной обработки диатомита Инзенского месторождения для получения кристаллических силикатов натрия // Вестник Казанского технологического университета. 2010. № 8. С. 272–276.

5. Кудяков А.И., Иванов М.Ю. Зернистые теплоизоляционные материалы на основе силикат-натриевых композиций с добавками продуктов сульфатно-целлюлозной переработки древесины. Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2009. № 4. С. 78–88.

6. Митина Н.А., Верещагин В.И. Строительные материалы на основе активированного кварцевого песка // Известия Томского политехнического университета. 2009. Т. 314. № 3. С. 11−14.

Strokova V.V., Ogurtsova Y.N., Botsman L.N.

INFLUENCE OF ACTIVE COMPONENT CHARACTERISTICS ON THE DEGREE OF IMPREGNATION OF FINE-GRAINED CONCRETE IN THE EPICRYSTALLIC MODIFICATION

We have studied the possibility of managing the process of cement-sand matrix epicrystallic modification by varying the characteristics of the active component. The dependences of the saturation degree of cement-sand matrix with a solution of sodium polysilicates from the type of silica raw materials and the amount of alkali; granular size of active component and its content in the composition of the concrete mix were stated. Microstructural features of the concrete matrix in the area of saturation with of sodium polysilicates with different contents of the active component were examined.

Key words: *the active component, fine-grained concrete, epicrystallic modification, silica raw material, solution of sodium polysilicates, saturation degree.*

Чернышева Е.В., канд. техн. наук, доц.,
Серых И.Р., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Статинов В.В., ген. дир.,
Статинов В.Ф., техн. дир.
ООО НЦЭ «БелЭкс»

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СТАЛЕБЕТОННЫХ ПОЛИГОНАЛЬНЫХ ПЛИТ

inna_ad@mail.ru

В работе изложен алгоритм расчета сталебетонной плиты по прочности контакта листовой арматуры с бетоном с учетом основных предпосылок метода предельного равновесия. Получены выражения для определения разрушающей нагрузки как в случае приложения сосредоточенной силы, так и при действии равномерно распределенной нагрузки.

Ключевые слова: *сталебетонная плита, несущая способность, предельное равновесие.*

Одновременно с совершенствованием железобетонных конструкций традиционного типа, в последнее время большое внимание отечественных и зарубежных исследователей привлекает изучение принципиально новых видов несущих элементов. К их числу относятся конструкции с внешним армированием [1…5]. Опыт последних лет свидетельствует об эффективности внешнего армирования в изгибаемых элементах, которое стало возможным благодаря развитию и практическому применению эффективных способов соединения различных материалов [6…10]. В то же время современная наука нуждается в разработке теории и методов расчета подобных конструкций с учетом особенностей их работы и эксплуатации.

Условием применимости метода предельного равновесия к поставленной задаче является наличие двух известных предпосылок [11]. Согласно одной из них деформации системы не должны изменять геометрических величин в условии равновесия. Эта предпосылка соблюдается без сомнения. Что касается второй предпосылки, то ее требование также можно считать удовлетворительными, если работа связей сдвига соответствует закону деформирования идеально упруго–пластического материала и исключена возможность их хрупкого разрушения.

Предельное сдвигающее усилие, воспринимаемое анкером, зависит от его конструкции и определяется условием смятия бетона, стального листа или среза анкера по известным зависимостям [12]. При равномерном расположении по площади контакта, наиболее нагруженными являются связи расположенные вдоль опорного контура. Очевидно, что наступление предельного состояния в этих связях будет происходить раньше чем в других. На этом основании можно предположить кинематическую схему предельного равновесия, показанную на рис. 1, *а*.

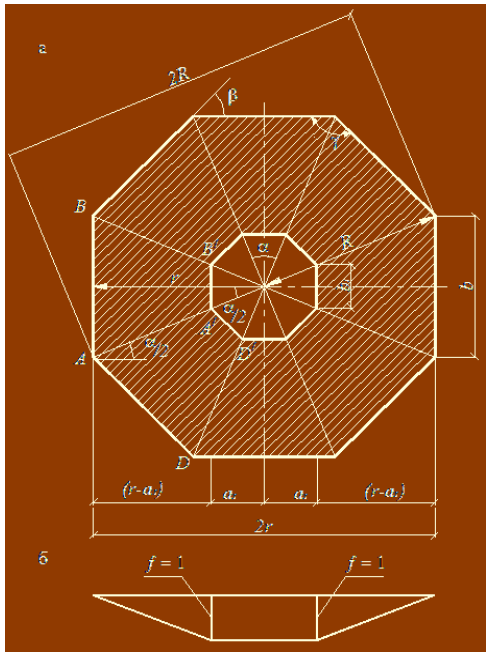


Рис. 1. Схема излома плиты при разрушении по прочности контакта листа с бетоном при сосредоточенном воздействии:
а – схема излома плиты;
б – эпюра прогибов в состоянии предельного равновесия

Заштрихованные участки на рисунке соответствуют законам пластического деформирования связей сдвига, средняя часть плиты при этом остается горизонтальной. Исходные данные для правильного многоугольника приведены в табл. 1.

Таблица 1

Элементы многоугольника

n	$\frac{S}{b^2}$	$\frac{S}{R^2}$	$\frac{S}{r^2}$	$\frac{R}{r}$	$\frac{b}{R}$	$\frac{R}{b}$	$\frac{r}{R}$	$\frac{r}{b}$	$\frac{b}{r}$
8	4,829	2,828	3,311	1,082	0,765	1,307	0,924	1,208	0,828

где $n=8$ – число сторон многоугольника; $\alpha=\frac{360^0}{8}=45^0$ – центральный угол; $\beta=45^0$ – внешний угол; $\gamma=180^0-45^0=135^0$ – внутренний угол; $b=2R\sin\frac{\alpha}{2}$ – сторона многоугольника; $S=4R^2\sin\alpha$ – площадь.

Объем эпюры прогибов:

$$V=\frac{S}{3b^2}\left[b(b+b_1)+b_1^2\right]=\frac{4R^2\sin\alpha}{12R^2\sin^2\frac{\alpha}{2}}\left[2R\sin\frac{\alpha}{2}\left(2R\sin\frac{\alpha}{2}+b_1\right)+b_1^2\right]=\frac{\sin\alpha}{3\sin^2\frac{\alpha}{2}}\left[2R\sin\frac{\alpha}{2}\left(2R\sin\frac{\alpha}{2}+b_1\right)+b_1^2\right] \quad (1)$$

Работа внешних сил от действия равномерно распределенной нагрузки и сосредоточенной силы

$$W=\frac{q\sin\alpha}{3\sin^2\frac{\alpha}{2}}\left[2R\left(2R\sin\frac{\alpha}{2}+b_1\right)\sin\frac{\alpha}{2}+b_1^2\right] \quad (2)$$

$$W=Ff\ ,$$

где q – интенсивность равномерно распределенной нагрузки.

Принимая во внимание одну из предпосылок, согласно которой прогибы малы, найдем углы поворота смежных дисков при единичном вертикальном перемещении.

Углы поворота смежных дисков вдоль линий A^1B^1 и A^1D^1 в радиальном направлении

$$\theta_1=\theta_2=1/(r-a_1)=\theta\ . \quad (3)$$

Углы поворота дисков в тангенциальном направлении

$$\theta_3=\theta\left(\cos\frac{\alpha}{2}+\sin\frac{\alpha}{2}\right). \quad (4)$$

где θ_3 – двугранный угол перелома в i м ребре эпюры прогибов.

Работа внутренних сил складывается из работы связей сдвига A_c и работы усилий сжатой зоны бетона A_b Работа связей сдвига определяется зависимостью

$$A_c=8\tau_a T_1 S_1,\ . \quad (5)$$

где $\tau_a=\frac{Q_a}{\Delta^2}$ – предельное усилие на единице площади контакта; $Q_a=316d_{ан}^2R_b^{0.5}$ – предельная нагрузка на анкер из условия смятия бетона; $Q_a=6{,}3d_{ан}^2R_{sw}$ – предельная нагрузка на анкер из условия среза анкера; R_{sw} – расчетное сопротивление растяжению анкера (МПа); R_b – расчетное сопротивление бетона сжатию (МПа); $d_{ан}$ – диаметр анкера (см); Δ – шаг анкерных упоров; $T_1=\theta_1(h_b-x)$ – сдвиг по контакту в пределах диска ABA^1B^1; $S_1=\frac{b+b_1}{2}(r-a_1)$ – площадь диска ABA^1B^1.

Тогда выражения для работы связей сдвига принимает вид:

$$A_c=4\tau_a(h_b-x)(b+b_1) \quad (6)$$

Работа усилий сжатой зоны бетона:

$$A_b=\sum_{i=1}^{16}M_ia_il_i=8M\theta_1b_1+8M\theta_3\left(R-\frac{a_1}{\cos\frac{\alpha}{2}}\right)=8Mh_1/(r-a_1)+8M\left(R-a_1/\cos\frac{\alpha}{2}\right)\frac{1}{(r-a_1)}\left(\cos\frac{\alpha}{2}+\sin\frac{\alpha}{2}\right)=$$

$$=8M\left[\frac{b_1}{(r-a_1)}+\frac{\left(R-a_1/\cos\frac{\alpha}{2}\right)\left(\cos\frac{\alpha}{2}+\sin\frac{\alpha}{2}\right)}{(r-a_1)}\right]=\frac{8M}{(r-a_1)}\left[b_1+\left(R-\frac{a_1}{\cos\frac{\alpha}{2}}\right)\left(\cos\frac{\alpha}{2}+\sin\frac{\alpha}{2}\right)\right] \quad (7)$$

где $M=R_b\frac{x^2}{2}$ – предельный погонный момент вдоль линии пластического шарнира, создаваемый усилием сжатой зоны бетона относительно нейтральной оси.

Суммарная работа внутренних сил:

$$A=-\left\{\ 4\tau_a(h_b-x)(b+b_1)+\frac{4R_bx^2}{(r-a_1)}\left[b_1+\left(R-\frac{a_1}{\cos\frac{\alpha}{2}}\right)\left(\cos\frac{\alpha}{2}+\sin\frac{\alpha}{2}\right)\right]\right\} \quad (8)$$

Приравнивая (2) и (8), получим уравнения для определения разрушающей нагрузки из условия прочности контакта

$$q = \frac{4\tau_a(h_b - x)(b + b_1) + \dfrac{4R_b x^2}{(r - a_1)}\left[b_1 + \left(R - \dfrac{a_1}{\cos\dfrac{\alpha}{2}}\right)\left(\cos\dfrac{\alpha}{2} + \sin\dfrac{\alpha}{2}\right)\right]}{\dfrac{\sin\alpha}{3\sin^2\dfrac{\alpha}{2}}\left[2R\left(2R\sin\dfrac{\alpha}{2} + b_1\right)\sin\dfrac{\alpha}{2} + b_1^2\right]} \quad (9)$$

При действии сосредоточенной силы

$$F_p = 4\tau_a(h_b - x)(b + b_1) + \frac{4R_b x^2}{(r - a_1)}\left[b + \left(R - \frac{a_1}{\cos\dfrac{\alpha}{2}}\right)\left(\cos\frac{\alpha}{2} + \sin\frac{\alpha}{2}\right)\right] \quad (10)$$

В целях упрощения, без существенной погрешности, можно считать предельные напряжения в бетоне постоянными вдоль линий пластического шарнира и равными прочности бетона при одноосном сжатии. Тогда, условие равновесия диска запишется так (рис. 2).

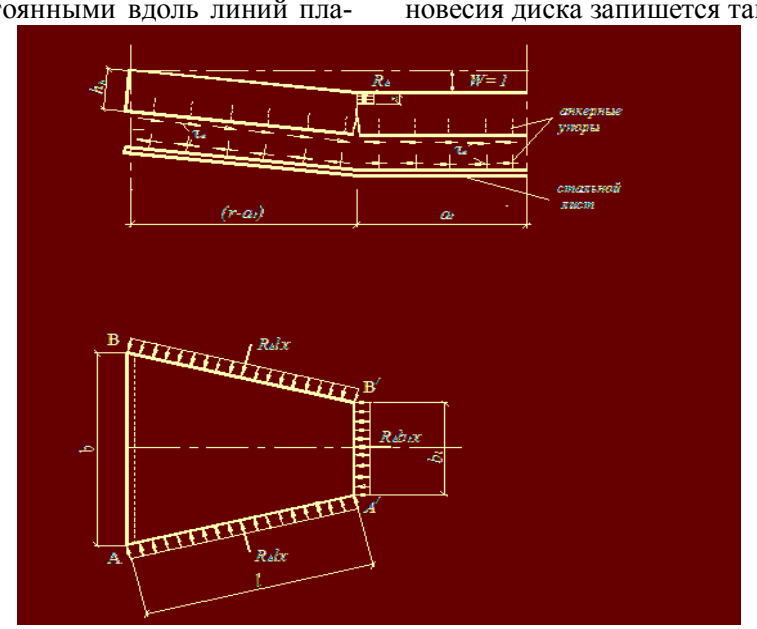


Рис. 2. Предельное равновесие сталебетонной плиты при разрушении по прочности контакта стального листа с бетоном

$$R_b b_1 x = \tau_a \frac{(b + b_1)}{2}(r - a_1) \quad (11)$$

отсюда найдем высоту сжатой зоны

$$x = \frac{\tau_a}{R_b b_1}\frac{(b + b_1)(r - a_1)}{2} \quad (12)$$

Из рис. 1 видно, что

$$a_1 = \frac{b_1}{2tq\dfrac{\alpha}{2}} \quad (13)$$

Численный анализ выражения (9) показал, что для получения минимальной разрушающей нагрузки (наиболее невыгодной схемы излома плиты) необходимо принять $b_1 = b - 2\Delta$.

Таким образом, авторами были получены уравнения, позволяющие рассчитать несущую способность сталебетонных плит по прочности контакта стального листа с бетоном.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ЧихладзеЭ.Д., Ватуля Г.Л. Предельное состояние двухслойных плит // Збірник наукових праць. Рівне, 2011. Вип. 22. С. 532-537.

2. Ватуля Г.Л., Шевченко А.А. Работа сталебетонных перекрытий разного очертания при силовом воздействии // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: матер. междунар. научн.-практ. конф. Том 3. Пермь, ПГТУ, 2013. С. 79-86.

3. Клюев С.В., Гурьянов Ю.В. Внешнее армирование изгибаемых фибробетонных изделий углеволокном // Инженерно-строительный журнал. 2013. №1(36). С. 21-26.

4. Панченко Л.А., Серых И.Р., Юрьев А.Г. Подкрепление балки полосой из полимера, армированного волокнами // Современные строительные материалы, технологии и конструкции: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО «ГГНТУ

им. акад. М.Д. Миллионщикова» (24-26 марта 2015 г., г. Грозный). В 2-х томах. Грозный; ФГУП «Издательско-полиграфический комплекс «Грозненский рабочий», Т.2. 2015. С. 278-283.

5. Чернышева Е.В. Экспериментальные исследования сталебетонных плит // Качество, безопасность, энерго- и ресурсосбережение в промышленности строительных материалов и строительстве на пороге XXI века: сб. докл. Междунар. научно-практич. конф. Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2000. С. 297–300.

6. Клюев А.В. Усиление изгибаемых конструкций композитами на основе углеволокна // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 38–41.

7. Клюев С.В., Клюев А.В., Лесовик Р.В. Усиление строительных конструкций композитами на основе углеволокна. Lambert, 2011. 123 с.

8. Клюев С.В. Усиление и восстановление конструкций с использованием композитов на основе углеволокна // Бетон и железобетон. 2012. №3. С. 23–26.

9. Клюев А.В., Клюев С.В., Нетребенко А.В., Дураченко А.В. Мелкозернистый фибробетон, армированный полипропиленовым волокном // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 4. С. 67-72.

10. Клюев С.В., Лесовик Р.В., Рубанов В.Г. Расчет изгибаемых конструкций, усиленных композитами на основе углеродного волокна // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 4. С. 55-58.

11. Гвоздев А.А. Расчет несущей способности конструкций по методу предельного равновесия. М.: Стройиздат, 1949. 280 с.

12. Клименко Ф.Е. Сталебетонные конструкции с внешним полосовым армированием. Киев: Будівельник, 1984. 88 с.

Chernysheva E.V., Serykh I.R., Statinov V.V., Statinov V.F.

CARRYING CAPACITY OF STEEL CONCRETE POLYGONAL SLABS.

In this paper the algorithm of calculation steel concrete slabs on endurance of contact sheet of armature with concrete account main preconditions of limit equilibrium method is given. The expressions for calculation of load to failure, as in the case of application concentrated force, as at action of evenly distributed load.

Key words: *steel concrete slab, carrying capacity, equilibrium limits.*

Бабаев В.Б., канд. техн. наук,
Перькова М.В., канд. арх., проф.,
Крушельницкая Е.И., аспирант, асс.,
Жданова И.Г., студент
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПРОСТРАНСТВЕННОЕ МАКЕТИРОВАНИЕ И ПРОТОТИПИРОВАНИЕ*

Krushelnitskaya1@rambler.ru

В статье рассмотрена актуальность макетирования и моделирования объектов архитектуры и градостроительства, новые технические возможности изготовления моделей и макетов.

***Ключевые слова**: прототипирование, быстрое прототипирование, макетирование, 3D печать.*

Актуальность исследования. Постоянно возрастающая сложность и многоплановость задач, решаемых в практике современного архитектурного проектирования, изменение социально-экономических условий самой работы архитектора требуют дальнейшего совершенствования проектного дела, широкого применения прогрессивных методов, приемов и технических средств в архитектурном творчестве. С каждым годом расширяется объем внедрения вычислительной техники в архитектурно-строительное проектирование. Сегодня ЭВМ - привычный инструмент в учебных, научно-исследовательских и проектных институтах. Компьютеры используются на всех этапах создания объектов архитектуры: исследования, проектирования, возведения и эксплуатации. В связи с этим все более актуальной становится задача эффективного использования столь мощного инструмента интенсификации творческой деятельности, каким является современная ЭВМ.

Одним из перспективных направлений интенсификации профессиональной деятельности архитектора является использование систем автоматизированного проектирования (САПР). Наибольшими возможностями при этом обладают технические средства и программные продукты, обеспечивающие органичное взаимодействие архитектора и компьютера в традиционной для проектировщика форме представления результатов творческого труда, т.е. в виде графических или объемных моделей и макетов градостроительных или архитектурных объектов [1].

Возможно, рассматривать проектирование как процесс творческой трансформации проектных моделей с последовательным уточнением и детализацией их описания, основное требование к средствам проектирования – требование наглядности, т.е. обеспечение легкости и простоты восприятия образного решения объекта проектирования. Наиболее наглядной моделью проектируемого объекта является его объемный макет либо модель.

История изобретения **архитектурных макетов** насчитывает не одну сотню лет. В гробницах Египта находили миниатюрные макеты домов и храмов, которые выполняли религиозную функцию. В античной Греции макеты из воска или дерева использовались для оценки архитектурного проекта. Широкое использование обрели они в эпоху Возрождения, когда создавались миниатюрные копии церквей и соборов. Встречались и крупные копии, как, например, копия Собора св. Петра в Риме, которая имеет высокую степень детализации и сложности, а также более 7 метров в длину.

Благодаря новейшим технологиям современное архитектурное макетирование и моделирование вышло на качественно новый уровень. Ярким прорывом в настоящее время стала технология **прототипирования** – технология трёхмерной «печати» объекта, ландшафта, здания, - отрисованных в трёхмерной графике. Компьютерный эскиз при помощи специальной технологии трёхмерной печати "выращивают" слой за слоем на специальном 3D-принтере. Ориентируясь на компьютерную модель, печатающая головка принтера выстраивает в пространстве из сотен тысяч слоёв переклеенного мелкодисперсного быстро затвердевающего порошка реальный объект с достаточно высокой степенью детализации и необходимой окраской. Возможности работы с цветом у таких принтеров не меньшие, чем необходимо при печати цветных фотографий.

Данные технологии используются в настоящее время в сфере архитектурно-ландшафтного проектирования, презентационных материалах, видео и кинофильмах, мультимедийной составляющей музейных экспонатов, выставочном бизнесе. Различное программное обеспечение позволяет сконцентрироваться на различных приоритетных в данный момент задачах, охватывая собой темы проектирования, прогнозиро-

вания развития объекта и во временной и сезонной шкале позволяет обеспечить естественность вхождения проектируемого объекта в существующую планировку. Сочетание данных технологий в комплексе позволяет отразить архитектурно-ландшафтный объект на новом информационно-визуальном уровне, недоступном ранее и могут так же существенно расширить экспозиционные возможности музеев и выставок.

Градостроительный либо архитектурный макет может демонстрироваться для согласования строительства новых микрорайонов, частной застройки, коттеджных поселков, рекреационных зон и территорий туризма. Дополнительно макет проектируемых объектов может использоваться для привлечения инвесторов, презентации, демонстрации перспектив развития конкретных территорий и благоустройства отдельных районов. Убедительное, реалистичное макетирование объекта и окружающего ландшафта, позволяет оценить архитектурные и ландшафтные решения в комплексе, как с высоты птичьего полета, так и в детальном рассмотрении единовременно, с детализацией доступной в выбранном масштабе макетирования [2].

Макеты и модели градостроительных и архитектурных объектов дают возможность:

1. Представить градостроительный проект широкой аудитории;
2. Привлечь внимание потенциального инвестора к проекту;
3. Продемонстрировать в комплексе все нюансы и особенности объекта;
4. Визуализировать объект на разных стадиях его строительства;
5. Провести презентацию нового оборудования или технологии;
6. Показать наглядно схему работы конкретного инженерного узла;
7. Более эффективно представить свое предложение в рамках тендера или отраслевого конкурса.

Современные технологии позволяют изготавливать макеты и модели градостроительных объектов, практически из любых материалов (пластик, полистирол, ПЭТ, оргстекло, силикаты, гипс, металлы, дерево, картон, другие материалы природного и промышленного происхождения); различных масштабов (стандартных и нестандартных масштабов, укрупненных, уменьшенных масштабов, масштаба 1:1);разъемные и разборные макеты (для удобства перевозки)

Прототипирование и макетирование является самым важным этапом разработки. На этапе прототипирования и макетирования объектов промышленного и артдизайна, градостроительных и архитектурных систем. создается работающая система, в которой видна *более детальная картина ее устройства и функционирования*. Макетирование и прототипирование всегда предполагают наличие трёхмерной модели системы, объекта или детали, полученное различными способами (стереолитографией, отверждением на твёрдом основании, нанесением термопластов, распылением термопластов, лазерным спеканием порошков, моделированием при помощи склейки элементов и т.д.).

Моделирование и прототипирование необходимо:

- для оценки эргономики, визуализации и дизайна изделия (для объектов промышленного и артдизайна);
- композиционно-пространственного анализа архитектурного объекта и градостроительного образования в городской среде (для архитектурных объектов и градостроительных систем);
- для функциональной оценки изделия (проверка качества сборочных изделий, функциональныххарактеристик, практичности);
- использование в качестве модели для дальнейшего применения в производстве (например, в качестве литейной формы).

Преимуществом такого подхода является:

- сокращение длительности технической подготовки производства новой продукции в 2…4 раза;
- снижение себестоимости продукции, особенно в мелкосерийном или единичном производстве в 2…3 раза;
- значительное повышение гибкости производства;
- повышение конкурентоспособности производства;
- сквозное использование компьютерных технологий, интеграция с системами САПР.

С помощью моделирования и прототипирования уже на этапе проектирования можно кардинальным образом изменить конструкцию узла или объекта в целом. В инженерии такой подход способен существенно снизить затраты в производстве и освоении новой продукции.

При работе с объектами артдизайна прототипирование позволяет любому человеку (заказчику) загрузить свой трехмерный файл, тут же изменить масштаб изделия и выбрать материал, из которого он будет изготовлен, а потом заказать свой товар и ждать, когда он будет изготовлен. Производство может осуществляться с помощью цифровых технологий, в том числе аддитивных**.**

1. Онтологическое, «сущностное» моделирование (макеты и модели, абстрактные композиции, отображающие структуру и взаимосвязь архитектурных объектов как целостных (с функциональной точки зрения) систем), сопровождение творческой или исследовательской деятельности.

2. Аналоговое макетирование – изготовление материальных копий (аналогов) реальных объектов архитектуры и градостроительства (в заданном масштабе и материале) для целей:

- сравнительного анализа и оценки композиционных и функциональных особенностей архитектурных объектов в рамках исследований, концептуальных поисков и т.д.;
- изготовление сложных градостроительных композиций (генпланов);
- организации выставок и презентаций;
- восстановление облика (структуры) утраченных исторических памятников архитектуры и материальной культуры;

3. Дизайнерское макетирование и прототипирование:

- прототипирование объектов промышленного дизайна;
- прототипирование объектов и элементов артдизайна.
- макетирование объектов средового дизайна.

4. Особенности макетирования и прототипирования объектов их разных материалов с помощью различных технологий.

Осуществлять перечисленные виды деятельности планируется с помощью сквозного использования современного программного обеспечения и оборудования для изготовления моделей, макетов и прототипов.

Предполагаемая работа включает:

- разработку проектов для визуализации объектов, систем и элементов;
- поиск и определение оптимальных инженерно-технических, архитектурно – композиционных и дизайнерских решений в процессе вариантного проектирования;
- макетирование, моделирование и прототипирование объектов и систем с помощью различных технологий в зависимости от прототипа (макета, модели), его функции и композиции (архитектуры).
- двухмерное моделирование объектов артдизайна.
- разработку классификации моделей и прототипов.

Необходимым условием для проведения НИР является наличие мастерских со специализированным оборудованием, позволяющим создавать модели, макеты и прототипы: лазерное, фрезеровальное, трехмерные принтеры и плоттеры, а также материалы для изготовления продукции.

Можно выделить **рабочие макеты, демонстрационные и экспериментальные**.

Научными результатами исследовательской работы является:

1. Разработанные способы формирования объемных объектов арт-дизайна из плоскостных элементов.

2. Разработанные варианты использование метода послойной триангуляциифотоснимков, выполненных по радиальному сечению объекта на примере сканирования объектов для создания трехмерной цифровой модели.

3. Разработанные способы передачи формы трехмерных световых объектов интерьера с помощью листовых материалов различных свойств.

4. Способ эргономического прототипирования объектов интерьера (кресла и скамьи) из продольных ламелей дерева.

Прототипирование элементов в макетировании является самым важным этапом разработки. Прототипирование в макетировании всегда предполагают наличие трёхмерной модели системы, объекта или детали, полученное различными способами Прототипирование в макетировании сложных градостроительных объектов необходимо для композиционно-пространственного анализа архитектурного объекта и градостроительного образования в городской среде.

Рис. 1 Аналоговое макетирование как метод восстановления облика (структуры) утраченных исторических памятников

Рис. 2. Сравнительный анализ и оценка композиционных и функциональных особенностей градостроительных объектов в рамках исследования

Таким образом, осуществляется аналоговое макетирование – изготовление материальных копий (аналогов) реальных объектов архитектуры и градостроительства (в заданном масштабе и материале) для целей:

- восстановление облика (структуры) утраченных исторических памятников архитектуры и материальной культуры (макет Свято-Троицкого монастыря в историческом квартале города Белгорода) (рис. 1).
- сравнительного анализа и оценки композиционных и функциональных особенностей архитектурных объектов в рамках исследований, концептуальных поисков и т.д. (рис. 2)

В настоящее время методы прототипирования объектов используются в различных отраслях промышленности, медицины и дизайна. Это связано с наиболее эффективной риторикой применения объектов, что зачастую обгоняет темпы индустриального производства.

В современном пространстве все большее количество деталей выполняется из пластика. Несмотря на свои технологические преимущества, восстановление или реконструкция поврежденных деталей из пластика зачастую невозможна и влечет за собой полную замену конструкции.

Так метод восстановления объекта был использован на примере воссоздания поврежденных деталей в существующем турникете.

Рис. 3 Исходная модель

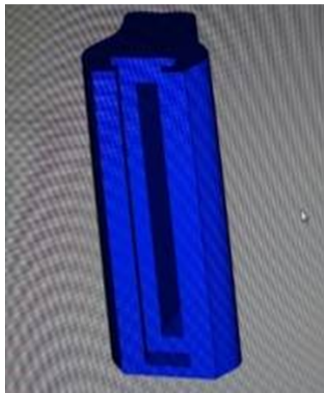


Рис. 4. Трехмерная модель

Рис. 5. Конечное изделие в работе

Научными результатами исследовательской работы в области дизайнерского макетирования и прототипирования является:

1. Разработанные способы формирования объемных предметов интерьера и их прототипирования из плоскостных элементов (лавочка) и продольных ламелей (кресло).

2. Разработанные способы передачи формы трехмерных световых объектов интерьера с помощью листовых материалов различных свойств.

После окончания процесса моделирования изделие можно почти сразу использовать, поскольку не требуется его длительная последующая доработка [4].

Существуют следующие технологии прототипирования: лазерная резка, фрезеровка, быстрое прототипирование –3D печать.

На сегодняшний день существует большое количество технологий объемной 3d печати, но во всех лежит один и тот же принцип послойного создания твердой геометрии. Применение технологий быстрого прототипирования (3d печать) позволяет оценить внешний вид арт-объекта. Рассмотрим основные технологий изготовления прототипов (3d печати), получившие самое широкое распространение [5].

1. SLA– Stereo Lithography Apparatus, стереолитография.

SLA – это лазерное прототипирование. Технология подразумевает использование в качестве модельного материала специального фотополимера – светочувствительной смолы. Основой в данном процессе является ультрафиолетовый лазер, который последовательно переводит поперечные сечения модели на поверхность емкости со светочувствительной смолой. Жидкий пластик затвердевает только в том месте, где прошел лазерный луч. Затем новый жидкий слой наносится на затвердевший слой, и новый контур намечается лазером. Процесс повторяется до завершения построения модели. Стереолитография – наиболее распространенная RP-технология. SLA–технология позволяет быстро и точно построить модель изделия практически любых размеров. Качество поверхностей зависит от шага построения. Современные машины обеспечивают шаг построения 0,1…0,025 мм. SLA-технология дает наилучший результат при изготовлении мастер-моделей для последующего изготовления силиконовых форм и литья в них полимерных смол, а также ювелирных мастер-моделей.

2. SLS – Selective Laser Sintering – селективноелазерноеспекание.

Лазерное прототипирование применяется не только с жидкими основами. Метод SLS позволяет создавать копии на основе порошкообразных компонентов. Согласно этому процессу модели создаются за счет эффекта спекания при помощи энергии лазерного луча. В данном случае, в отличие от SLA–процесса, лазерный луч является не источником света, а источником тепла. Попадая на тонкий слой порошка, лазерный луч спекает его частицы и формирует твердую массу, в соответствие с геометрией детали. В качестве материалов используются полиамид, полистирол, песок и порошки некоторых металлов. Суще–ственным преимуществом SLS–процесса является отсутствие так называемых поддержек при построении модели. В процессе SLA при построении нависающих элементов детали используются специальные поддержки, предохраняющие свежепостроенные тонкие слои создаваемой модели от обрушения. В SLS–процессе в таких поддержках нет необходимости, поскольку построение ведется в однородной массе. После построения модель извлекается из массива порошка и очищается. Модели из полистирола предназначены для получения отливок методом "выжигаемых моделей". Наиболее популярным модельным материалом является порошковый полиамид. Этот материал применяется для создания макетов, масштабных копий, функциональных моделей.

3. FDM – FusedDepositionModeling

При FDM–процессе – послойное наложение расплавленной полимерной нити) термопластичный моделирующий материал, диаметр которого составляет 0,07 дюйма (1,78 мм), подаётся через экструзионную (выдавливающую) головку с контролируемой температурой, нагреваясь в ней до полужидкого состояния. Выдавливающая головка наносит материал очень тонкими слоями на неподвижное основание. Головка выдавливает материал с очень высокой точностью. Последующие слои также ложатся на предыдущие, солидифируются (отвердевают), соединяются друг с другом. Главным недостатком метода является недостаточно гладкая поверхность создаваемой детали. Кроме того, при наложении расплавленного материала происходит некоторое оплавление предыдущего слоя. Поэтому данный метод имеет ограничение на минимальный размер зазоров в создаваемом изделии [6].

4. Технология WaterWorks.

Модель, изготовленная с применением этой технологии, называющейся Water Works, остается гладкой и чистой, без рисок и царапин, с сохранением мельчайших деталей. Технология Water Works предоставляет неограниченные возможности для моделирования тонкостенных моделей и объектов со сложными внутренними полостями.

Как и на предыдущих этапах, исследовательская работа делится на два блока – макетирование и прототипирование объектов. Научными результатами исследовательской работы по двум вышеуказанным блокам являются:

1. Моделирование принципов аддитивных технологий для устройства строительных конструкций.

2. Разработка методов прототипирования сидения пилота для рынка непрофессиональных гоночных болидов.

3. Вариантное прототипирование предметов интерьера (ширм) и тематической сувенирной продукции.

4.Прототипирование элементов рельефа при изготовлении градостроительных макетах (участки исторического культурного слоя).

5. Приемы моделирования объектов культурного наследия.

**Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта ПСР А-25/12 от 10.04.2012 г. в рамках Программы стратегического развития университета.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колесникова Л.И. Свято-троицкий собор: открытия и находки // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 1. С. 35–40.

2. Свирская Т.А. Автоматизированный макетный метод архитектурного проектирования [Электронный ресурс] URL: http://www.dissercat.com/content/avtomatizirovannyi-maketnyi-metod-arkhitekturnogo-proektirovaniya#ixzz3GQyPGvyY

3. Кичигин Э.В.3d моделирование, макетирование, прототипирование и современные технологии в ландшафтном дизайне на примере проекта конно – спортивного комплекса и ипподрома «Ручьи» *(СПбГЛТА, г.Санкт-Петербург, РФ)*[Электронный ресурс] URL: http://science-bsea.bgita.ru/2009/les_komp_2009/kichigin_model.htm

4. [Электронный ресурс] URL: http://std911.ru/gradostroitelnye/

Babaev V.B., Perkova M.V., Krushelnitskaya E.I., Zhdanova I.G.

PROTOTYPING OF ART-DESIGN OBJECTS

The article discusses the relevance of modeling and simulation of objects of architecture and urban planning, new technical possibilities for manufacturing models and layouts. Described the process of prototyping, as a process of creative transformation of design models with their successive refinement and detail, revealed the basic requirement for a prototyping tool - requirement of visibility. Revealed the feasibility of the 3d prototyping method in the design of objects of design, architecture, urban planning, etc.

***Key words**: prototyping, rapid prototyping, modeling, 3D printing.*

Лебедев В.М., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

СИСТЕМОКВАНТЫ КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

lebedev.lebedev.v.m@yandex.ru

Определен состав комплексной технологичности строительных конструкций, приведены формулы определения и системокванты.

Ключевые слова: комплексная технологичность, технологичности изготовления, транспортирования, монтажа конструкций и эксплуатации объекта, системокванты.

Введение. Под комплексной технологичностью понимается технологичность четырех подсистем строительства объекта: изготовления, транспортирования, монтажа конструкций и эксплуатации объекта (рис. 1).

Методология. Комплексную технологичность можно оценивать с помощью обобщенного критерия (К), который представляется зависимостью:

$$K = f(K_и, K_Т, K_м, K_э), \quad (1)$$

где $К_и$ – показатель уровня технологичности по изготовлению;$К_т$ – показатель уровня технологичности по транспортированию;$К_м$ – показатель монтажной технологичности;$К_э$ – показатель эксплуатационной технологичности.

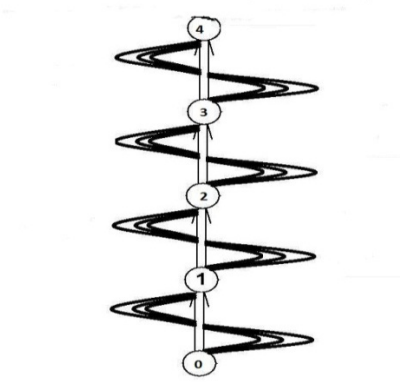


Рис. 1. Системокванты комплексной технологичности строительных конструкций:
3-4 – изготовление; 1-2 – транспортирование; 2-3 – установка в проектное положение;
3-4 – эксплуатация; 0-4 – информационный направляющий вектор и кванты ресурсов;
1-4 – промежуточные и конечная цели системы

Основная часть. Каждый из приведенных выше показателей имеет определенную размерность. С помощью сравнительно эквивалента можно привести их к безразмерному виду для сопоставления в обобщенном показателе. Сравнивая базовые показатели технологичности с показателями проектируемой конструкции можно определить ее уровень технологичности.

Показатель уровня технологичности по трудоемкости изготовления конструкции:

$$K_и = \frac{T_{иб}}{T_и}, \quad (2)$$

где $Т_{иб}$ – удельная трудоемкость изготовления базовой конструкции; $Т_и$ – удельная трудоемкость изготовления данной конструкции.

Показатель уровня технологичности по транспортированию конструкций:

$$K_Т = \frac{C_{ТБ}}{C_Т}, \quad (3)$$

где $С_{ТБ}$ – удельная себестоимость транспортирования базовой конструкции;$С_Т$ – удельная себестоимость транспортирования данной конструкции.

Показатель уровня технологичности по трудоемкости монтажа:

$$K_м = \frac{T_{мб}}{T_м}, \quad (4)$$

где $Т_{мб}$ – удельная трудоемкость монтажа базовой конструкции;$Т_м$ – удельная трудоемкость разрабатываемой конструкции

Показатель уровня эксплуатационных затрат:

$$K_э = \frac{Э_б}{Э}, \quad (5)$$

где $Э_б$ – показатели эксплуатационных затрат базовой конструкции; Э – показатель эксплуатационных затрат проектируемой конструкции.

Показатели уровня технологичности могут иметь значения меньше и больще 1.

При показателе <1 конструкция имеет низкий уровень технологичности, при показателе >1 – высокий уровень технологичности [1, 2, 4].

Для оценки и описания технологичности в строительстве используются многочисленные показатели технологичности объемно-планировочных и конструктивных решений в процессе проектирования, изготовления, транспортировки, монтажа и эксплуатации объектов. При этом показатели технологичности могут быть: технические, технико-экономические, экономические, для любых объектов и отдельных типов, дифференцированные (частные) и комплексные (общие), количественные и качественные, относительные и абсолютные [1…4].

Формирование и обоснование необходимого и достаточного состава показателей технологичности в строительстве должны иметь функционально-объектный характер и описывать подсистемы строительного объекта или элементы объемно-конструктивных решений применительно к типам отдельных объектов.

Все разработки в области технологичности конструкций должны учитывать вероятностный характер строительного производства, подверженного многочисленным дестабилизирующим воздействиям.

При детерминированном подходе проектные решения могут быть технологичными в одних производственных условиях и нетехнологичниим в других условиях. Строительное производство является сложной вероятностной системой, следовательно, оценки технологичности могут быть величинами вероятностными или корреляционными, но не функциональными [1, 2, 4].

Проблема технологичности приобретает все более практическое значение для строительно-монтажных организаций в связи с необходимостью резкого повышения производительности труда без дальнейшего наращивания сборности и механизации и переходом на новую систему хозяйствования.

Методы исследования и совершенствования технологичности в значительной степени зависит от особенностей строительных объектов [2]. Анализ многочисленных особенностей различных строительных объектов позволяет утверждать, что для исследования технологичности на стадии проектирования объектов и их возведения можно разработать системотехнические методы исследований и проектирования строительного производства с учетом технологичности.

Выводы. В качестве математического аппарата возможно использование математической статистики (корреляционный, регрессивный, факторный, экспертный анализ и др.), которая позволит в определенной степени учесть вероятностный характер строительного производства через корреляционные зависимости, где экономические показатели эффективности строительного производства отражают тенденции совершенствования технологичности в условиях вероятностного строительного производства [2].

Необходимы дальнейшее развитие и разработка методологии исследования технологичности в строительстве, математических моделей, описывающих технологичность, учитывающих условия АСС и возможности ЭВМ, практических методик совершенствования проектных решений и прогнозирования технического прогресса в проектировании и строительстве.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Булгаков С.Н. Технологичность железобетонных конструкций и проектных решений. М.: Стройиздат, 1983. 303 с.

2. Гусаков А.А. Системотехника строительства. М.: Стройиздат, 1993. 368 с.

3. Системотехника строительства. Энциклопедический словарь / Под ред. А.А.Гусакова. М.: Изд-во АСВ, 2004. 320 с.

4. Лебедев В.М. Основы системотехники строительного производства. Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. 272 с.

Lebedev V.M.

SISTEMOKVANTY PROCESSABILITY COMPLEX CONSTRUCTION

The composition of the complex technological building constructions, the formulas and definitions sistemokvanty.

Key words: *comprehensive adaptability, manufacturability, transportation, installation, construction and operation of the facility, sistemokvanty.*

Есипов С.М., аспирант
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

АНАЛИЗ МЕТОДИК ПРОЕКТИРОВАНИЯ УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

sk31.sm@gmail.com

В данной статье кратко рассмотрены методы расчета и проектирования усиления жбк композитами на основании нормативной документации различных стран. Произведено сравнение исходных предпосылок, сходств и различий в подходах к расчету, особенностей учета различных факторов действительной работы конструкций.

***Ключевые слова**: железобетон, усиление, композиционные материалы, внешнее армирование, нормативная документация.*

Основными факторами, определяющими эксплуатационную надежность железобетонных конструкций, являются коррозионные повреждения арматуры и бетона. В настоящее время разработаны эффективные методы оценки конструктивной безопасности железобетонных конструкций с учетом коррозионных повреждений [5…7].

Длительный срок эксплуатации зданий и сооружений при одновременном проявлении силовых и коррозионных воздействий приводит к значительным снижениям проектного значения несущей способности конструкции, а также к развитию значительных деформаций, препятствующих нармальной эксплуатации конструкций. При наличии коррозионных повреждений для обеспечения эксплуатации зданий и сооружений возникает необходимость усиления поврежденных железобетонных конструкций. В настоящее время широко применяются традиционные методы усиления конструкций, в числе которых наращивание сечения элемента, устройство обойм, постановка разгружающих конструкций, монтаж затяжек и шпренгелей. Эти методы предполагают применение стальных элементов, что обуславливает необходимость антикоррозионной защиты и усиленных конструкций. В современной строительной индустрии наметилась тенденция отхода от классических методов усиления конструкций и ремонта в направление применения для усиления железобетонных конструкций композитных материалов.

В России и за рубежом накоплен опыт усиления композитным материалами железобетонных конструкций промышленных зданий, инженерных сооружений и мостов [8…12]. Наиболее эффективным решением является внешнее усиление железобетонных конструкций наклейкой на их поверхность лент, холстов и ламината из композитных материалов. Таким системам усиления присущи малые вес и размеры, стойкость к агрессивным воздействиям, простота технологии усиления, что делает применение таких систем экономически обоснованным, несмотря на высокую стоимость композитных материалов.

В ряде стран разработаны проекты нормативных документов и нормы по проектированию усиления железобетонных конструкций с применением композитной арматурой, некоторые из которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Нормативные документы, регламентирующие применение композитной арматуры для усиления железобетонных конструкций

Страна	Название документа
РФ	СП 164.1325800.2014 Усиление железобетонных конструкций композитными материалами [1]
США	1. Руководство по проектированию и конструированию наружного армирования бетонных конструкций с использованием композитной арматуры. 440.2R-08 – Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. Американский институт бетона American Concrete Institute (ACI) [2] 2. Руководство по проектированию и строительству наружных композитных стекловолоконных полимерных систем, предназначенных для повышения прочности бетонных конструкций. 440.2R-02 Американский институт бетона American Concrete Institute (ACI) [3]
Япония	Руководство по модернизации и усилению существующих бетонных сооружений в зоне сейсмической активности при помощи армирования композитными материалами, 1999. Seismic Retrofiting Reinforcement Design and Constraction Guidelines for Existing Reinforced Concrete (RC) Buildings with FRP Materials, 1999. Японская строительная ассоциация предотвращения разрушений Japan Building Disaster Prevention Association (JBDPA) [4]

Следует отметить, что наиболее детально проработанными являются нормы России и США. В основе данных документов лежат нормативные положения проектирования железобетонных конструкций с металлической арматурой и положения по проектированию сборно-монолитных железобетонных конструкций. Анализ общих положений методик расчета усиления железобетонных конструкций внешним армированием композитными материалами приведен в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение методик расчета усиления железобетонных изгибаемых элементов по нормам РФ и США

ACI 440.2R-02	**СП 164.1325800.2014**
А. Расчет по прочности нормальных сечений	
1. Исходные предпосылки	
1. Напряжения в усилении и бетоне прямо пропорциональны расстоянию до нейтральной оси 2. Отсутствие проскальзывания между усилением и бетоном 3. Пренебрежение деформациями сдвига в клеевом слое 4. $\varepsilon_{b.ult} = 0.003$ 5. $R_{bt} = 0$ 6. Упругая работа композита	1. Отсутствие проскальзывания между усилением и бетоном 2. Пренебрежение деформациями сдвига в клеевом слое 3. $\varepsilon_{b.ult} = 0.003$ 4. Расчет по прочности нормальных сечений проводят на основе нелинейной деформационной модели 5. При разрушении 50 % и более сечения бетона или 50 % и более сечения рабочей арматуры несущей способностью усиливаемой конструкции пренебрегают. 6. Учет существующей арматуры с условием $R_f \le (\varepsilon_{s2} - \varepsilon_f^0)\cdot E_f$ 7. $\xi \le \xi_{RF}$
2. Рассматриваемые схемы разрушения	
1. Разрушение сжатого бетона до деформации арматуры 2. Достижение предела текучести арматуры перед разрушением бетона 3. Достижение предела текучести арматуры перед разрушением бетона 4. Расслоение защитного слоя 5. Отслаивание усиления	1. Разрушение сжатой зоны бетона до достижения напряжений текучести в растянутой арматуре 2. Наступление текучести в растянутой стержневой арматуре и последующий разрыв усиления без разрушения сжатой зоны бетона 3. Наступление текучести в растянутой стержневой арматуре и последующее разрушение усиления и сжатой зоны бетона 4. Отслаивание усиления
3. Величина коэффициента ограничения деформации композита	
$k_m = \begin{cases} \dfrac{1}{60\varepsilon_{fu}}\left(1-\dfrac{n\cdot E_f\cdot t_f}{360000}\right) \le 0.9, \;\; n\cdot E_f\cdot t_f \le 180000 \\ \dfrac{1}{60\varepsilon_{fu}}\left(\dfrac{90000}{n\cdot E_f\cdot t_f}\right) \le 0.9, \;\; n\cdot E_f\cdot t_f \ge 18000 \end{cases}$	Отсутствует (присутствует в Руководстве по усилению ЖБК композитными материалами)
4. Величины начальной деформации стали и бетона	
Сталь: $\varepsilon_s^0 = (\varepsilon_{fe} + \varepsilon_{bi})\left(\dfrac{d-c}{h-c}\right)$	Сталь: $\varepsilon_s^0 = \dfrac{M_0}{E_{b1}\cdot I_{red}}(h_0 - x_0)$ Бетон: $\varepsilon_b^0 = \dfrac{M_0}{E_{b1}\cdot I_{red}}x_0$
ACI 440.2R-02	**СП 164.1325800.2014**
5. Основная расчетная формула	
$M \le M_{f1} = A_s\cdot f_s\left(d-\dfrac{\beta_1 c}{2}\right)+\psi_f\cdot A_f f_{fe}\left(h-\dfrac{\beta_1 c}{2}\right)$	$M \le M_{ult} = R_b\cdot b\cdot x(h_0 - 0.5x) + R_{sc}\cdot A_s'(h_0 - a') + +R_f\cdot A_f\cdot a$
6. Напряжение во внешней арматуре из композита под нагрузкой	
$f_{fs} = f_{ss}\left(\dfrac{E_f}{E_s}\right)\dfrac{h-kd}{d-kd} - \varepsilon_{bi}\cdot E_f$	$\sigma_f = \left[\varepsilon_{b2}\left(\dfrac{\omega\cdot h}{x}-1\right) - k\cdot\varepsilon_{bt}^0\right]E_f$
7. Учет нелинейной деформационной модели	
Отсутствует	Присутствует

Продолжение табл. 2

Б. Расчет по прочности наклонных сечений	
1. Основная расчетная формула	
$V_u \le \varphi V_n = \varphi(V_c + V_s + \psi_f V_f)$	$Q \le Q_b + Q_{sw} + Q_{fw}$ Формула не учитывает коэффициент концентрации напряжений при потере пластичности
2. Поперечная сила, воспринимаемая композитным внешним армированием	
$V_f = \frac{A_{fv} \cdot f_{fe}(\sin\alpha + \cos\alpha) d_f}{s_f}$	$Q_{fw} = \psi_f \frac{A_{fw} R_{fw} \sin\alpha \cdot C_{fw}}{s_f}$
3. Величина коэффициента учета схемы наклейки внешнего армирования (ψ_f)	
$\psi_f = \begin{cases} 0.95 - для\ замкнутых\ хомутов \\ 0.85 - для\ двух\ и\ трехсторонних\ хомутов \end{cases}$	$\psi_f = \begin{cases} 0.95 - для\ замкнутых\ хомутов \\ 0.85 - для\ двух\ и\ трехсторонних\ хомутов \end{cases}$
4. Условие недопущения разрушения усиления от потери общего сцепления с бетоном	
$\varepsilon_{fe} = 0.004 \le 0.75\varepsilon_{fu}$	$R_{fw} = 0.75R_f \le 0.004E_f$
5. Коэффициент надежности по сцеплению	
$k_v = \frac{k_1 k_2 \cdot L_f}{11900\varepsilon_{fu}} \le 0.75$ где k_1 - коэффициент учета прочности бетона $k_1 = (\frac{f_c'}{27})^{2/3}$ k_2 - коэффициент учета схемы усиления $k_2 = \begin{cases} \frac{h_{fw} - L_f}{h_{fw}}, трехсторонний\ хомут \\ \frac{h_{fw} - 2L_f}{h_{fw}}, двухсторонний\ хомут \end{cases}$ L_f - эффективная длина зоны анкеровки $L_f = \frac{23300}{(n \cdot t_f \cdot E_f)^{0.58}}$	$\gamma_{f3} = \frac{k_1 k_2 \cdot L_f \cdot E_f}{1190 R_f} \le 0.75$ где k_1 - коэффициент учета прочности бетона $k_1 = (0.1R_b)^{2/3}$ k_2 - коэффициент учета схемы усиления $k_2 = \begin{cases} \frac{h_{fw} - L_f}{h_{fw}}, трехсторонний\ хомут \\ \frac{h_{fw} - 2L_f}{h_{fw}}, двухсторонний\ хомут \end{cases}$ L_f - эффективная длина зоны анкеровки $L_f = \frac{23300}{(n \cdot t_f \cdot E_f)^{0.58}}$
6. Предел полного армирования, работающего на срез	
$V_s + V_f \le 0.66\sqrt{f_c'} b_w d$	Не ограничено

В рассмотренных нормативных документах принят вероятностный подход к выбору предельного состояния железобетонных конструкций, усиленных внешним армированием композитными материалами. При расчете усиления рассматриваются предельные состояния, связанные с разрушением сжатой зоны бетона до достижения напряжений текучести в стальной растянутой арматуре усиливаемой железобетонной конструкции, текучесть растянутой стальной арматуры и последующий разрыв внешней композитной арматуры без разрушения бетона сжатой зоны, текучесть растянутой стальной арматуры и последующее разрушение внешней композитной арматуры, отслоения элементов внешней композитной арматуры. Расчетные методики построены на применении многочисленных коэффициентов, с помощью которых предпринята попытка учесть особенности технологии усиления железобетонных конструкций композитными материалами, особенности технологии усиления, механические характеристики материалов, длительность эксплуатации и др. Однако эти коэффициенты нуждаются в серьёзном экспериментальном подтверждении.

Методики расчета усиленных конструкций предполагает абсолютную совместную работу композитного внешнего армирования и железобетонной конструкции (отсутствие проскальзывания между бетонной подложкой и композитом). Необходимо отметить, что данная предпосылка не отражает действительной работы желе-

зобетонной конструкции, так как усиленная конструкция является составным элементом, состоящим из материалов с различными деформативными свойствами.

Одним из детально рассматриваемых в нормативных документах является расчет на возможное отслоение композитной арматуры от бетонной поверхности усиливаемой конструкции. В рассматриваемых нормативных документах по проектированию усиления железобетонных конструкций композиционными материалами опасность отслаивания учитывается косвенно. Для предотвращения отслоения композиционного элемента в расчетах ограничивают уровень его деформаций из предположения, что отслаивание возможно, если деформация бетона приближается к максимальному значению в точках трещинообразования. Процесс отслоения внешней композитной арматуры от бетонной поверхности носит более сложный характер, чем отслоение от разрушения клеевого слоя. На механизм отслоения внешней композитной арматуры влияет образование и раскрытие нормальных трещин в усиливаемом железобетонном элементе. При образовании трещины в бетоне растягивающие напряжения в зоне трещин распределяются между композиционным материалом и бетоном, возрастают напряжения по контакту композиционного материала и бетона. Возникновение нескольких трещин в бетоне растянутой зоны усиленной конструкции делает непредсказуемым момент и место отслоения композитной внешней арматуры.

Значительным недостатком методик проектирования железобетонных конструкций является не учет напряженно-деформированного состояния эксплуатируемой железобетонной конструкции к моменту усиления внешней композитной арматурой. Кроме того при усилении конструкция может иметь коррозионные повреждения стальной арматуры и бетона, трещины в бетоне растянутой зоны. В настоящее время эти специфические вопросы усиления железобетонных конструкций внешним армированием композитными материалами не учитываются.

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 и провести специально направленные экспериментальные исследования по оценке деформативности клеевого шва, соединяющего усиливаемую железобетонную конструкцию и элементы внешнего композитного армирования.

2. Построение расчетной методики проектирования усиления железобетонных конструкций внешним армированием композитными материалами с учетом напряженно деформированного состояния эксплуатируемых конструкций к моменту усиления, а также силовых и коррозионных повреждений при различных режимах нагружения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 164.1325800.2014 Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. М.: ЦНИИСК, 2014. 50 с.

2. ACI 440.2R-08. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. Michigan / American concrete Institute, ACI Committee 440. 2008. - 80 p.

3. ACI 440.2R-02. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. Michigan / American concrete Institute, ACI Committee 440. 2002. 55 p.

4. Seismic Retrofiting Design and Constraction Guidelines for Existing Reinforced Concrete (RC) Buildings with FRP Materials. Tokyo / JBDPA. 1999. 76 p.

5. Меркулов С.И. Конструктивная безопасность эксплуатируемых железобетонных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2009. №4. С. 53-54.

6. Бондаренко В.М., Меркулов С.И. Методологические основы теории конструктивной безопасности реконструированного железобетона // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2008. №3. С. 77-80.

7. Меркулов С.И. Развитие теории конструктивной безопасности объектов в условиях коррозионных воздействий// Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. №3. С.44–46

8. Шилин А.А.. Пшеничный В.А., Картузов Д.В. Внешнее армирование железобетонных конструкций композиционными материалами. М.: Стройиздат, 2007. 180 с.

9. Andrae H. – P., Kusch O., Maier M. Carbon Fibre Composites, A New Generation of Reinforcement and Prestressing Tendons / / Научные труды 2-ой Всероссийской (Международной) по бетону и железобетону «Бетон и железобетон – пути развития» (5-9 сентября 2005г., Москва). Том 4. С. 535. 546.

10. CNR-DT. 200/2004. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP.

Systems for Strengthening Existing Structures. Rome. 2004, 144 p.

11. Чернявский В. Л. Аксельрод Е. З. Применение углепластиков для усиления железобе-

тонных конструкций промышленных зданий // Промышленное и гражданское строительство, 2004. № 3. С. 37–38.

12. Римшин В.И., Меркулов С.И. Элементы теории развития бетонных конструкций с неметаллической композитной арматурой // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 5. С. 38–42.

Esipov S.M.

ANALYSIS TECHNIQUES FOR DESIGN OF STRENGTHENING REINFORCED CONCRETE STRUCTURES WITH COMPOSITE MATERIALS

This article briefly considers the methods of calculation and design of strengthening concrete structures with composite materials on the basis of normative documents of different countries. Comparison of the assumptions of similarities and differences in approaches to the calculation of the peculiarities of the various factors of the actual work of construction.

Key words *:reinforced concrete, strengthening, composite materials, external reinforcement, normative documents.*

Клюев С.В., канд. техн. наук, доц.,
Клюев А.В., канд. техн. наук, ст. препод.,
Лесовик Р.В., д-р тех. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ФИБРОБЕТОНА

klyuyev@ya.ru

В данной статье рассматривается теоретический подход к изучению влияния длины фиброволокна, его объема, ориентации на прочностные характеристики бетона. Приводятся формулы для расчета оптимальной объемной доли волокна в фибробетоне, а также его длины.

***Ключевые слова**: фибробетон, армирующее волокно, прочность, критическая доля волокна.*

Фибробетон состоит из распределенных коротких волокон в цементной матрице [1…10]. Влияние таких коротких, наклонных волокон на механические свойства армированного бетона, как правило, меньше, чем длинных волокон, расположенных параллельно нагрузке. Это означает, что эффективность коротких и наклонных волокон меньше. Тем не менее, эффективность волокон в цементной матрице, повышающих механические свойства бетона можно оценить двумя способами:

- Повышение прочности бетона;
- Повышение ударной вязкости бетона.

Это влияет на свойства бетона в зависимости от количества волокна, длины волокна, ориентации волокон, распределенных в бетоне и прочности соединения цементного камня и волокна при сдвиге. Все эти факторы не были независимыми, так как эффект от длины волокна и ориентации в значительной степени влияет на связь между волокном и цементным камнем [11…19].

Несущая способность фибробетона зависит от объемной доли волокна в бетонной матрице в этом фибробетонном композите, предел прочности волокна как правило, больше, предел прочности бетона. Что касается предела прочности волокна, то несущая способность волокна должна быть больше, чем нагрузка приложенная к бетону, при которой начинается трещинообразование. Это обусловлено тем, что бетон после начала трещинообразования не влияет на работу композита, а нагрузка полностью передается на волокна, содержащиеся в бетоне. Кроме того, волокна способны нести большую нагрузку, в результате чего предел прочности фибробетонного композита выше, чем прочность самой матрицы. В связи с этим, было выведено уравнение для определения минимальной доли содержания волокна, чтобы сделать идентичными несущую способность фибробетонного композита и несущую способность волокна.

Минимальная или критическая доля волокна, *Vcr*, необходимого для добавления в бетон, для восприятия им приложенной нагрузки, выглядит следующим образом:

$$V_{cr} > \frac{\sigma_{mu}}{\sigma_{mu}+(\sigma_{fu}+\sigma'_{fu})}, \quad (1)$$

где V_{cr} – критическая или минимальная доля волокна; σ_{mu} – предел прочности при растяжении бетона; σ_{fu} – предел прочности при растяжении волокна; σ'_{fu} – напряжения в волокнах при начале трещинообразования.

Напряжение бетона (конечная бетона деформация) в момент образования первой трещины 0,003. Если предположить, что нагрузка на бетон и волокна одинаковая. Таким образом, напряжение на волокна в момент образования первой трещины может быть принято в качестве предельной деформации бетона и модуля упругости волокна.

Уравнение 1 может быть изменено следующим образом:

$$V_{cr} > \frac{\sigma_{mu}}{\sigma_{mu}+(\sigma_{fu}-E_{st}\varepsilon_{cu})}, \quad (2)$$

где E_{st} – модуль упругости волокна; ε_{cu} – предельная деформация бетона = 0,003.

Уравнение 2, было использовано для прогнозирования предела прочности бетона, так как предел прочности бетона на растяжение требуется, чтобы получить минимальную долю волокна.

$$\sigma_{mu} = f_{ct} = 0.4x(f_c)^{0.5}, \quad (3)$$

где f_c – нормативный предел прочности бетона при сжатии; f_{ct} – нормативный предел прочности бетона при растяжении.

Минимальная объемная доля стального, стеклянного и полипропиленового волокна в конкретной матрицы составляет примерно 0,31 %, 0,40 % и 0,75 % соответственно. Для композитов, содержащих рубленые и хаотически ориентированные волокна, минимальная объемная доля волокна больше, чем указанные значения, так как такие факторы как длина волокна и его ориентация влияют на его объемную долю. Нагрузка на бетон в момент возникновения первой трещины была

достаточной, чтобы распространиться на волокна, при минимальной объемной доле волокон. Важно, что уравнение 2 позволяет вычислить объем волокон, добавляемых в бетон, необходимых для увеличения пластичности и прочности бетона.

Влияние длины волокна можно проанализировать с помощью зависимости прочности бетона при действии нагрузки от параметра критической длины l_c , которая может быть определена как минимальная длина волокна, которая необходима для передачи напряжения через волокно при условии, что волокно не будет разорвано или выдернуто. Определение критической длины волокна представляет собой механизм передачи напряжений. Если длина волокна превышает l_c , то напряжение в большинстве волокон дойдет до своего предела текучести.

Критическая длина волокна может быть рассчитана как:

$$l_c = \frac{df\sigma f}{2\tau}, \quad (4)$$

где df – диаметр волокна; σf – предел прочности волокна: τ – прочность сцепления.

Хотя прочность сцепления зависит от прочности бетона и типа волокна, она может быть принята примерно равной 1 МПа.

Напряжение в волокне не является постоянным по всей длине. Тем не менее, напряжение развивается линейно на конце волокна. Но в большинстве случаев, в армированном бетоне, волокна не размещены параллельно направлению приложенной нагрузки. Это показывает, что волокна не имеют максимального эффекта при усилении фибробетона. Кроме того, волокна, расположенные перпендикулярно приложенному напряжению как правило, имеют меньшее влияние или даже не оказывают влияние на прочность фибробетона.

Уравнение 4 являются точным методом описания требуемой длины волокна необходимой для передачи нагрузки, но есть другие показатели КПД в зависимости от нагрузки, приложенной к волокну – отношение длины к диаметру и пропорции волокна. Отношение длины к диаметру следует считать упрощенным способом оценки эффективность волокна при передаче нагрузки. Чем больше диаметр, тем большие нагрузки может воспринимать волокно. Подобно отношению длины к диаметру волокна, сцепление большей площади поверхности волокна с бетонной матрицей, позволит передать большую нагрузку на волокно.

Влияние длины волокна используются для прогнозирования свойств волокна сталефибробетона до и после начала трещинообразования. Эффективность длина, которая принимает в расчет критическую длину волокна в обеих стадиях, до и после начала трещинообразования, можно выразить следующими уравнениями:
до начала трещинообразования:

$$\eta_l = 1 - \frac{l_c\,\varepsilon_{mu}}{2l\varepsilon_{fu}};$$

после начала трещинообразования:

$$\eta_l = 1 - \frac{l_c}{l} \quad \text{при} \quad l \gg 2l_c,$$

$$\eta_l = \frac{1}{4} - \frac{l_c}{l} \quad \text{при} \quad l \gg 2l_c,$$

где коэффициент η_l – эффективность длины, l_c – критическая длина волокна, ε_{mu} – точка первой трещины, l – встроенная длина волокна в цементной матрице, ε_{fu} – предельная деформация волокна.

Если бы все волокна были расположены параллельно направлению приложенной нагрузки, их эффективность была бы максимальной. Однако, волокна, используемые в фибробетоне, распределяются в бетонной матрице случайным образом. При таком распределении, некоторые из волокон располагаются под углом к оси приложенной нагрузки или возникающих напряжений. Однако, при проведении векторного анализа получим, что волокна, расположенные под углом, могут передавать нагрузку на волокна, расположенные параллельно действию нагрузки. Кроме того, волокна под углом наклона к направлению нагрузки способны нести более гибкие напряжения во время возникновения трещин и воспринимать часть нагрузки, приложенной к бетону.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алфимова Н.И. Повышение эффективности стеновых камней за счет использования техногенного сырья // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. № 2. С. 56–59.

2. Клюев А.В. Усиление изгибаемых конструкций композитами на основе углеволокна // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 38–41.

3. Клюев С.В. Высокопрочный сталефибробетон на техногенных песках КМА // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2013. № 11. С. 38–39.

4. Клюев С.В. Фибробетон для каркасного строительства // Белгородская область: прошлое, настоящее и будущее: материалы научн.-практ.

конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. Ч.3. С. 37-38.

5. Клюев С.В. Мелкозернистый сталефибробетон на основе отсева кварцитопесчанника // Белгородская область: прошлое, настоящее и будущее: материалы научн.-практ. конф. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. Ч.3. С. 27–31.

6. Клюев С.В. Сталефибробетон на основе композиционного вяжущего // Белгородская область: прошлое, настоящее и будущее: материалы научн.-практ. конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. Ч.3. С. 32–36.

7. Клюев А.В., Клюев С.В., Нетребенко А.В., Дураченко А.В. Мелкозернистый фибробетон армированный полипропиленовым волокном // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. № 4. С. 67–72.

8. Клюев С.В. Основы конструктивной организации природных и искусственных материалов // Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии: сб. студ. докл. Международного конгресса: В 2 ч. Ч. 1. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2003. С. 161–163.

9. Клюев С.В., Авилова Е.Н. Бетон для строительства оснований автомобильных дорог на основе сланцевого щебня // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 2. С. 38–41.

10. Клюев С.В., Авилова Е.Н. Мелкозернистый фибробетон с использованием полипропиленового волокна для покрытия автомобильных дорог // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 1. С. 37–40.

11. Клюев С.В. Высокопрочный сталефибробетон на техногенных песках КМА // Технологии бетонов. 2012. № 5–6. С. 33–35.

12. Клюев С.В. Применение композиционных вяжущих для производства фибробетонов // Технологии бетонов. 2012. №1–2 (66–67). С. 56–57.

13. Клюев С.В., Нетребенко А.В., Дураченко А.В., Пикалова Е.К. Монолитный фибробетон для полов промышленных зданий // Сборник научных трудов Sworld. 2014. Т. 19. №1. С. 29–32.

14. Клюев С.В., Клюев А.В., Сопин Д.М., Нетребенко А.В., Казлитин С.А. Тяжелонагруженные полы на основе мелкозернистых фибробетонов // Инженерно-строительный журнал. 2013. №3. С. 7–14.

15. Клюев С.В., Нетребенко А.В., Дураченко А.В., Пикалова Е.К. Фиброармированные композиты на техногенном сырье // Сборник научных трудов Sworld. 2014. Т. 19. №1. С. 34–36.

16. Клюев С.В., Клюев А.В. Исследование физико-механических свойств композиционных вяжущих // Успехи современной науки. 2015. № 1. С. 21 – 24.

17 Клюев С.В., Клюев А.В. Техногенное сырье – эффективный заполнитель для фибробетонов // Успехи современной науки. 2015. № 1. С. 33–35.

18. Селицкая Н.В. О теплостойкости органических композиционных материалов как составляющей долговечности искусственных сооружений // Успехи современной науки. 2015. № 1. С. 9–11.

19. Селицкая Н.В., Лашин М.В., Яковлев Д.Н. Усиление подшпального основания железных дорог органическими материалами // Успехи современной науки. 2015. № 1. С. 18–20.

Klyuyev S.V., Klyuev A.V., Lesovik R.V.

THE OPTIMAL DESIGN OF HIGH QUALITY FIBER CONCRETE

The theoretical approach to study the impact of fiber length, its volume and orientations on the strength characteristics of concrete is considered in this article. Formulas for calculating the optimal volume fractions of fiber and also its length in fiber concrete are given here.

Key words: *fiber concrete, reinforcing fiber, durability, critical share of fiber.*

Черныш А.С., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ СЛОЖЕННЫХ ПРОСАДОЧНЫМИ ГРУНТАМИ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ И УВЛАЖНЕНИИ

gkadastr@mail.ru

Откосы как инженерные сооружения в настоящее время получают все большее распространение. Проектирование зданий и сооружений на участках имеющих откосный профиль сопровождаются обязательными расчетами устойчивости откосов. Общеизвестно, что устойчивость откоса зависит от физико-механических характеристик грунтов. В отдельных случаях, в частности в Белгородской области грунтовые массивы сложены просадочными лессовыми субаэральными суглинками. Сейсмическое воздействие, динамические воздействия, замачивание грунтов изменяют физико-механические свойства грунтов воздействуя на напряженно-деформированнное состояние массива грунтов. Эти факторы в конечном счете оказывают существенное влияние на устойчивость откосов.

Ключевые слова: *просадочные суглинки, откос, коэффициент устойчивости откоса, удельное сцепление, угол внутреннего трения, взрыв, динамическое воздействие.*

Важным аспектом расчета устойчивости грунтового откоса при действии на него, кроме веса слагающего грунта, является учет дополнительных динамических нагрузок. Такие нагрузки могут возникать и при ведении взрывных работ вблизи откоса, сейсмических воздействиях, забивке свай, трамбовании массива и др.

При действии только динамической нагрузки, сцепление и коэффициент внутреннего трения может быть даже на 20…50 % выше, чем при статическом, долговременном нагружении. Это имеет существенное значение при определении изменений условий устойчивости грунтового массива, обусловленных действий взрывных и динамических волн.

Экспериментально установлено [1], что от очага взрыва распространяется пластическая волна сжатия, затухающая по экспоненциальному закону. Условия разрушения по поверхности скольжения под i-м элементом имеет вид:

$$\frac{(R_i + R_i^*)tg\varphi + \tau_0 \Delta l}{T_i + T_i^*} < 1, \qquad (1)$$

где R_i и T_i – нормальные и касательные составляющие массы элементарных столбов пород на i-м участке поверхности скольжения; R_i^* и T_i^* – аналогичные составляющие динамического воздействия, определенные для каждого участка с учетом закономерности его затухания; τ_0 и φ – сцепление и угол внутреннего трения при статическом и динамическом нагружениях грунтов; Δl – длина i-го участка поверхности скольжения.

После прохождения волны сжатия общее условие предельного равновесия примыкающего к откосу массива пород имеет вид:

$$\frac{tg\varphi \sum_{i=k}^{n} R_i^* + \tau_0^* \sum_{i=k}^{m} \Delta l}{\sum_{i=k}^{n} T_i^*} \le 1, \qquad (2)$$

где $\sum_{i=k}^{n}$ – сумма участков поверхности скольжения, на которых не выполняется условия (1), т.е. разрушение поверхности скольжения при прохождении волны сжатия не происходит и сцепление сохраняется.

Согласно выражению (2) необходимо составить уравнение для конкретной кривой скольжения и после приравнивания левой его части коэффициенту устойчивости η определяем величину последнего.

Устойчивость откоса, подвергающегося динамическому воздействию от производящихся вблизи, вблизи взрывных работ, рассчитывается из условий ее обязательного сохранения. Коэффициент устойчивости в правой части расчетного уравнения должен быть не менее 1,25…1,3. Расчетами технологического разрушения уступов при использовании управляемого обрушения массива в момент и после взрыва. Для этого случая производится аналогичные расчеты с подставкой в правую часть коэффициента устойчивости, равного 0,7…0,8. При применении управляемого взрывного обрушения не должно происходить непредусмотренного технологией обрушения до производства взрывных работ. Поэтому проверочные расчеты устойчивости уступа без учета взрывной нагрузки ведутся с подстановкой коэффициента устойчивости 1,25…1,3. Исходя, из этих условий определяются высота уступа, величина необходимой погонной массы заряда Q и расстояние его заложения от подошвы обрушаемого уступа.

На основании многочисленных лабораторных исследований установлено, что в глинистых грунтах существенное влияние на изменение их прочности является замачивание [2, 3]. В обычных глинистых грунтах уменьшение их прочности незначительно. При увлажнении же лессовых просадочных грунтов отмечается более резкое, снижение величин сцепления и в меньшей степени – углов внутреннего трения за счет расклинивающего действия молекул воды в тонких пленках и размягчения цементационных связей между частицами грунта.

Как известно, существуют различные методы определения показателей прочности грунтов – испытаний на одноосное раздавливание, на приборах трехосного сжатия (стабилиометрах), пенетрацией, на сдвиговых приборах и др. Наибольшее распространение получил метод определения сопротивления сдвигу.

Показатели прочности лессовых просадочных грунтов зависят от многих факторов, в том числе от методов подготовки образцов к испытанию, продолжительности их замачивания, скорости сдвига и др.

Для лессовых грунтов, обладающих при замачивании просадочными свойствами, определенный интерес представляет величина обжимающего вертикального давления, увязанная с начальным давлением или порогом просадочности.

Для определения C и φ вначале давались уплотняющие нагрузки меньше, чем начальное давление просадочности, для серии образцов отобранных с глубины 2,0 м. Характеристики грунта были следующие: γ_0 = 1,60 гс/см^3: ε = 0,939; W_p= 0,17; W_L =0,30, относительная просадочность при р = 1,2 и 3 кгс/см^2 составила соответственно 0,014; 0037 и 0,052.

Часть водонасыщенных образцов грунта (серия 1) предварительно уплотнялась при давлениях: p = 0,2;0,4;0,6 кгс /см^2 испытания на срез проводились при этих же давлениях.

Для части водонасыщенных образцов грунта (серия 2) образцы предварительно уплотнялись при давлении p = 0,2; 0,4 и 0,6 кгс/см^2 и испытания на срез проводились при этих же давлениях. Для части водонасыщенных образцов грунта (серия 2) образцы предварительно уплотнялись при давлении p = 0,6 кгс/см^2 и затем производился их сдвиг при давлениях p= 0,2; 0,4 и 0,6 кгс/см^2. А третья группа образцов (серия 3) грунта естественной влажности и в водонасыщенном состоянии, уплотнялись и срезались при давлениях p=1,0; 2,0; 3,0 кгс/см^2. А также ряд образцов (серия 4) при тех же значениях влажности предварительно уплотнялись при давлении p = 3,0 кгс/см^2, и срезались при давлении p = 1,0; 2,0;3,0 кгс/см^2 (табл. 1).

Таблица 1

Обобщенные результаты сдвиговых испытаний лессовидного суглинка

Серия опытов	Начальное давление		При влажности грунта			
	при уплотнении p, кгс/см^2	сдвиге p, кгс/см^2	Естественного		Водонасыщенного	
			C, кгс/см^2	φ, град.	C, кгс/см^2	φ, град.
1	0,2; 0,4; 0,6	0,2; 0,4; 0,6	-	-	0,05	16
2	0,6	0,6; 0,4; 0,2	-	-	0,07	16
3	1,0; 2,0; 3,0	1,0; 2,0; 3,0	0,3	21	0,11	20
4	3,0	3,0; 2,0; 1,0	0,5	20	0,13	19

Из таблицы видно образцы грунтов серии 1 и 3 имеют более низкие значения удельного сцепления C и несколько более высокие φ по сравнению с результатами, полученными при испытании по методике с предварительным уплотнением грунта (серий 2 и 4). В известной мере это объясняется тем, что плотность переуплотненных образцов при конечных вертикальных давлениях p=0,6 и 3,0 кгс/см^2 будет больше, чем при давлениях уплотнения p= 0,2 ; 0,4; 1,0 и 2,0 кгс/см^2, при которых осуществляется срез в опытах серии 1 и 3.

При оценке прочности лессовых грунтов в зависимости от продолжительности замачивания наблюдается различное сопротивление их сдвигу. В процессе проявления просадочной деформации прочность грунта резко падает, так как вначале замачивания наиболее интенсивно происходит размягчение цементационных связей. После проявления просадочной деформации, сопровождающейся уплотнением грунта, проявлением дополнительных контактов между частицами и формированием новой структуры, прочность ее несколько возрастает.

Например, параметры прочности водонасыщенного суглинка в момент замачивания составляли: C_1= 0,13 кгс/см^2 и φ_1= 18º; через 24 ч после замачивания составляли: C_2= 0,16 кгс/см^2 и φ_2= 20º, а после 48 ч C_3= 0,20 кгс/см^2 и φ_3= 18º40'.

Указанная особенность изменения показателей прочности лессовых грунтов весьма важна и должна учитываться при оценке несущей спо-

собности и особенно устойчивости склонов и откосов.

Для уточнения высказанного были поставлены специальные опыты. Использовался лессовый суглинок. Опыты на сдвиг выполнялись с осуществлением замачивания под нагрузкой p = 1,0; 2,0 и 3,0 кгс/см^2. Время замачивания варьировалось в диапазоне от 5 мин до 24 ч (табл. 2).

Таблица 2

Влияние продолжительности замачивания на показатели прочности лессового суглинка

Продолжительность замачивания t, час	Показатели прочности грунта	
	C, кгс/см^2	φ, град.
1/12	0,05	17
0,5	0,07	18
1	0,08	18,5
6	0,09	19
12	0,1	19,5
24	0,125	20

Как видно из табл. 2, при замачивании в течение 5 мин, т.е. в начальный момент проявление просадочной деформации были получены минимальные значения параметров прочности C = 0,05 кгс/см^2 и φ_2= 17º. Через 24 ч замачивания: C = 0,125 кгс/см^2 и φ_2= 20º просадочные деформации интенсивно нарастают впервые 5…10 мин после замачивания. В последующем скорость нарастания проявления просадочных деформаций резко изменяется. На параметры прочности оказывает влияние и продолжительность сдвига (быстрый – t = 15, 30 и 60 с, ускоренный сдвиг – t = 5 мин и медленный).

При быстром сдвиге наблюдается понижение значения удельного сцепления и угла внутреннего трения. Это, в известной мере, объясняется тем, что в процессе сдвига происходит нарушение как первичного, так и вторичного сцепления упрочнения. При быстром сдвиге из-за скоротечности процесса опыта (t = 15…16 с) контакта между частицами грунта все время изменяется, а сцепление упрочнения не успевает проявиться. В НИИ оснований также установлено, что при сдвиге наблюдается изменение прочности параметров по сравнению с медленным сдвигом.

Вывод: лессовые грунты, в отличие от обычных глинистых непросадочных грунтов требуют особого подхода при оценке их прочности. На значения параметров прочности лессовых грунтов сказываются методы подготовки образцов грунта к испытаниям, продолжительность их замачивания, скорость сдвига и другие факторы. Поэтому предлагается оценку прочности грунтов необходимо проводить по той методике, которая в наибольшей мере соответствует реальным условиям работы грунтового основания сооружения. Это общая задача и инженера-геолога и инженера-проектировщика.

Использование предложенных рекомендаций по предлагаемым значениям C_w и φ_w, позволяет более точно оценивать несущую способность основания в условиях высокой сейсмичности и динамической воздействия, более надежно проектировать основания и повысить экономическую эффективность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вовк А.А., Черный Г.И.,. Кравец В.Г. Действие взрыва в грунтах. Киев: Наук. думка. 1973.

2. Черныш А.С., Долженков Д.Ю. Повышение несущей способности фундамента мелкого заложения на обводненных глинисто-песчаных основаниях пойменных отложений // В сборнике: Наукоемкие технологии и инновации. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород, 2014. С. 145-158.

3. Джитенов А.К., Куликов Г.В., Ким В.П. Некоторые вопросы устойчивости жестких сооружений на лессовых просадочных грунтах в зоне освоения Каракумского канала им. В.И. Ленина, при интенсивном сейсмическом воздействии. Ашхабад: Изд-во и СОО ТССР, 1980.

Chernysh A.S.

TO THE QUESTION OF ASSESSING THE STABILITY OF SLOPES COMPOSED OF COLLAPSIBLE SOILS UNDER DYNAMIC IMPACTS AND MOISTURE

Soffits engineering structures currently becoming more prevalent. The design of buildings and structures on sites with a slope profile is accompanied by an obligatory calculations slope stability. It is well known that the stability of a slope depends on the physico-mechanical properties of soil. In some cases, particularly in the Belgorod region ground stacked arrays subsiding subaerial loess loam. Seismic effects, dynamic effects, soaking the soil alter the physico-mechanical properties of soils affecting the stress-deformirovannoe the state of the array of soils. These factors ultimately have a significant impact on the stability of slopes.

***Key words**: subsidence loam, slope, coefficient of slope stability, specific cohesion, angle of internal friction, explosion, dynamic effect.*

Немировский Ю.В., д-р физ.- мат. наук, проф.,
Болтаев А.И., аспирант
Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН

ДИАГРАММЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНОВ И ЖЕЛЕЗОБЕТОНОВ*

boltaev_artem@mail.ru

Разработан подход, позволяющий, используя результаты экспериментальных исследований, с единых позиций построить диаграммы деформирования бетонов и железобетонов при температурных и силовых воздействиях. Учитываются такие важные свойства поведения материала под нагрузкой как: существенная разносопротивляемость при растяжении и сжатии, и нелинейный характер зависимости между напряжениями и деформациями. Проведенные расчёты показывают достаточно хорошее соответствие полученных диаграмм экспериментальным данным.

Ключевые слова: *диаграммы деформирования, бетон, железобетон, температурные напряжения, растяжение, сжатие.*

Бетоны различной номенклатуры получают в результате объединения разнообразных технологических приёмов обработки, в основном, каменных пород: дробление, смешивание, введение различного рода добавок, химических вяжущих и т.д. Регулирование состава бетонной смеси, температурного режима твердения и водоцементного отношения позволяет создавать разнообразные материалы с широким спектром свойств. При этом, в конечных изделиях сохраняются главные качества скальных пород [1, 2]: а) разносопротивляемость при растяжении и сжатии; б) нелинейный характер зависимости между напряжениями и деформациями; в) наличие зон трещиноватости при высоких уровнях нагрузок, вызывающие появление необратимых деформаций при разгрузке.

Зависимость деформаций материала от величины прикладываемой нагрузки (диаграмма $\sigma\sim\varepsilon$) является его основной (паспортной) характеристикой, получаемой непосредственно из экспериментов и впоследствии используемой при расчёте конструкций. Отсюда ясно, что главнейшая задача экспериментатора заключается в возможно более точном построении графика $\sigma\sim\varepsilon$. Многочисленные испытания образцов бетонов и железобетонов в условиях растяжения (+) и сжатия (-) имеют хотя и подобные, но существенно несовпадающие диаграммы $\sigma\sim\varepsilon$. Точки максимума этих диаграмм $\varepsilon_*^{\pm}, \sigma_*^{\pm}$ являются точками начала разрушения при растяжении (+) и сжатии (-). В реальных сооружениях материал может деформироваться одновременно и в условиях сжатия и в условиях растяжения (например, при изгибе стержневых конструкций). Поэтому создание математической модели его деформирования должно осуществляться на отрезке:

$$-\varepsilon_*^- \le \varepsilon \le \varepsilon_*^+ \qquad (1)$$

где $\varepsilon_*^{\pm}$ – предельно допустимые продольные деформации бетонов при растяжении (+) и сжатии (-).

Для выполнения уточнённых расчётов деформативности железобетонных элементов требуются разработки моделей, учитывающих нелинейный характер деформирования как бетона, так и арматурной стали. Принимая во внимание существенно разный характер искривления диаграмм деформирования бетона при растяжении и сжатии, их обычно аппроксимируют существенно различными математическими зависимостями в зоне сжатия (2) и зоне растяжения (3).

$$-\varepsilon_*^- \le \varepsilon \le 0 \qquad (2)$$

$$0 \le \varepsilon \le \varepsilon_*^+ \qquad (3)$$

Например, в работах [3,4] для бетонов каждая из ветвей диаграмм деформирования $\sigma\sim\varepsilon$ считается состоящей из двух участков: кубическая парабола от нулевой точки графика до точки, соответствующей началу образования магистральных трещин, и гипербола от указанной точки, до точки наиболее удалённой от начала координат. В работе [5] в каждой из подобластей (2), (3) участки диаграммы деформирования бетона аппроксимируются однотипными квадратичными параболами с разными коэффициентами. Считается, что в этих коэффициентах находит отражение влияние всевозможного спектра свойств используемых скальных пород и технологических режимов изготовления бетона конкретной марки и что их значения могут быть определены при обработке, например, по методу наименьших квадратов большой партии стандартных образцов бетона изготовленных по однотипной технологии. Это требует проведения достаточно сложной, дорогой программы специальных испытаний и редко реализуется в полной мере. Чаще всего испытания ограничиваются подпрограммами при низких уровнях нагружений, для определения начального модуля упругости и при уровнях нагружений близких к предельному состоянию, для определения пределов прочности и предельно допустимых деформаций при растяжении и сжатии.

Следует также иметь в виду, что при реализации методов математического моделирования и построении расчётных схем, методик, алгоритмов и программного обеспечения, позволяющих решать конкретных задачи расчётов реальных конструкций, учёт большого количества разнообразных участков диаграммы деформирования приводит к весьма сложным уравнениям, которые либо допускают решение лишь сравнительно узкого класса задач [2], либо требуют введения дополнительных параметров, для определения которых необходимы специальные эксперименты [1]. Учитывая эти обстоятельства в работе [6] для всех марок бетонов во всей области допустимых деформаций (1) вводится единая аппроксимация диаграммы деформирования в виде кубической параболы. В результате на отрезке деформаций (1) будем иметь зависимость:

$$\sigma = E_1\varepsilon + E_2\varepsilon^2 + E_3\varepsilon^3 \qquad (4)$$

$$\sigma = \frac{\bar{\sigma}}{\bar{\sigma}_0}, E_k = \frac{\bar{E}_k}{\bar{\sigma}_0}, (k = 1,2,3)$$

где $\bar{\sigma}_0$ – обезразмеривающий параметр напряжений (например, предел прочности некоторой марки бетона на сжатие).

При проведении большой экспериментальной программы испытаний коэффициенты E_k в выражении (4) могут быть определены с помощью стандартных процедур метода наименьших квадратов (МНК). На рис.1. сплошной линией показаны кривые деформирования бетона разных марок, полученные с помощью МНК, а точками экспериментальные данные из [7, 8]. Из рисунка видно, что кривые практически точно совпадают с экспериментальными значениями. Следовательно, аппроксимационная зависимость (4) способна достаточно хорошо описывать поведения бетона под нагрузкой на всей области деформирования (1).

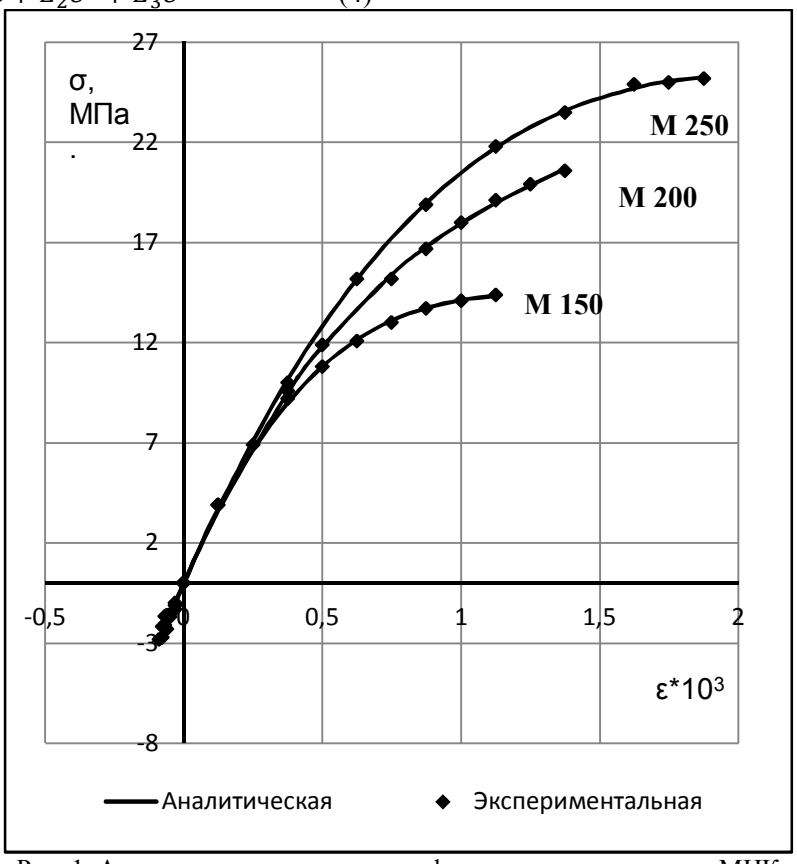


Рис. 1. Аппроксимация диаграмм деформирования на основе МНК

При ограниченных испытаниях можно исходить из следующих соображений: поскольку коэффициент E_1 в (4) соответствует начальному модулю упругости, то его можно определить на основе стандартных испытаний определения модулей упругости соответствующих материалов. Если в результате программы предельных испытаний удалось определить параметры $\sigma_*^{\pm}$ и $\varepsilon_*^{\pm}$, то для определения коэффициентов E_2 и E_3 получим уравнения (5):

$$\begin{cases} E_2(\varepsilon_*^+)^2 + E_3(\varepsilon_*^+)^3 = \sigma_*^+ - E_1\varepsilon_*^+, \\ E_2(\varepsilon_*^-)^2 - E_3(\varepsilon_*^-)^3 = -\sigma_*^- + E_1\varepsilon_*^-. \end{cases} \qquad (5)$$

решение которых имеет вид:

$$\begin{cases} E_2 = \frac{(\varepsilon_*^-)^3(\sigma_*^+ - E_1\varepsilon_*^+) + (\varepsilon_*^+)^3(-\sigma_*^- + E_1\varepsilon_*^-)}{(\varepsilon_*^+)^2(\varepsilon_*^-)^3 + (\varepsilon_*^-)^2(\varepsilon_*^+)^3}, \\ E_3 = -\frac{(\varepsilon_*^+)^2(-\sigma_*^- + E_1\varepsilon_*^-) - (\varepsilon_*^-)^2(\sigma_*^+ - E_1\varepsilon_*^+)}{(\varepsilon_*^+)^2(\varepsilon_*^-)^3 + (\varepsilon_*^-)^2(\varepsilon_*^+)^3}. \end{cases} \qquad (6)$$

Обработка многочисленных экспериментальных данных позволяет установить для бетонов некоторые корреляционные связи между начальным модулем упругости E_0 и величинами $\sigma_*^{\pm}$ и $\varepsilon_*^{\pm}$ [8…11]. Однако, учитывая влияние на величины $\varepsilon_*^{\pm}, E_0$ и $\sigma_*^{\pm}$ свойств и вида компонентов бетонной смеси, структуры бетона, технологических параметров, возраста образцов и других факторов, следует отметить, что данные зависимости, являющиеся в основном функциями прочности бетона, носят частный характер и обеспечивают лишь приближённую их оценку. Так, например, в работе [9] для тяжёлых бетонов приводится линейная связь между ε_*^- и σ_*^-. Однако, графики испытания бетонов на сжатие полученные в [7] не согласуются с данной зависимостью. В другом исследование [11] автор на основе проведённых испытаний приходит к выводу о том, что невозможно составить точную единую формулу для определения деформации бетонов в функции только предела прочности. Тем не менее, данные корреляционные связи позволяют, опираясь на наиболее известную и достоверную для бетонов характеристику σ_*^- , вычислить все коэффициенты E_1, E_2 и E_3 необходимые для построения диаграммы деформирования.

Так, например, для тяжёлого бетона эти зависимости по данным [8…11] примут вид:

$$\varepsilon_*^+ = 5{,}35 * 10^5 (\bar{\sigma}_*^-)^{0{,}5}, \quad \bar{E}_0 = 3{,}34 * 10^5 (\bar{\sigma}_*^+)^{1/3},$$
$$\bar{\sigma}_*^+ = 0{,}3 (\bar{\sigma}_*^-)^{2/3}, \quad \varepsilon_*^- = (0{,}1\bar{\sigma}_*^- + 100) 10^{-5}. \qquad (7)$$

Для проверки возможности получения достоверных диаграмм деформирования построим их, опираясь на соотношения (7) и формулы (6). Определённая корректировка коэффициентов в соотношениях (7) позволяет получить кривые, лежащие весьма близко к диаграммам, полученным экспериментальным путём [7, 8]. Данные кривые изображены на рис.2, точками показаны величины взятые из эксперимента, линиями - по уравнению (4). Максимальное отклонение по вертикаль полеченных кривых от экспериментальных данных составляет $0{,}07\sigma_*^-$.

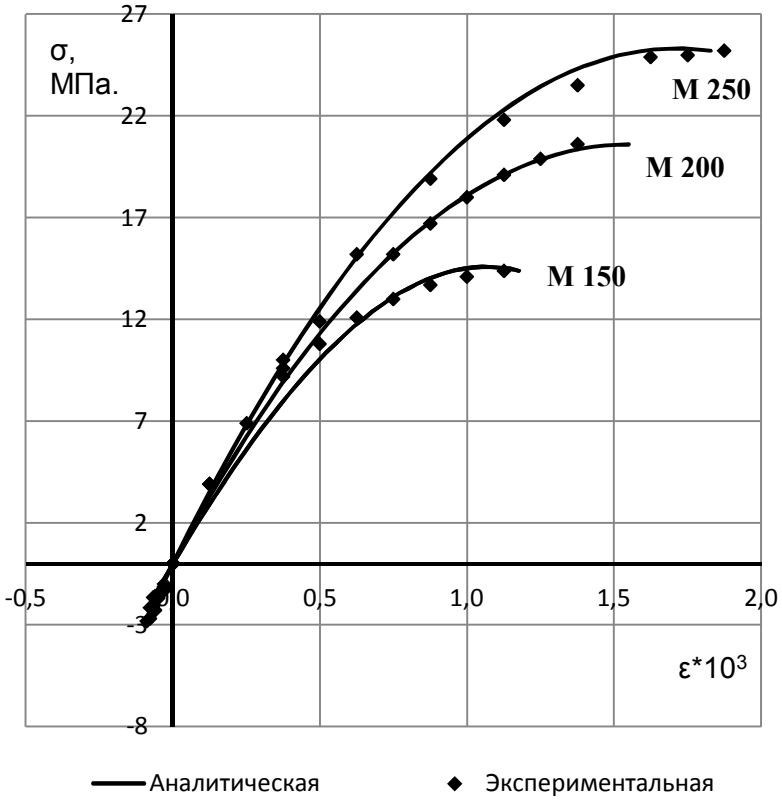


Рис. 2. Аппроксимация диаграмм деформирования на основе зависимостей (6-7)

В таблице 1 приведены значения коэффициентов $\bar{E}_k$, а также значения $\bar{\sigma}_*^{\pm}$ и $\varepsilon_*^{\pm}$ для различных марок бетона, полученные по двум выше описанным способам. В методе 1 для нахождения коэффициентов $\bar{E}_k$ использовался МНК , а в методе 2 $\bar{E}_k$ и $\bar{\sigma}_*^+$, $\varepsilon_*^{\pm}$ определялись с помощью корреляционных соотношений (7) и формул (6). Анализируя коэффициенты E_k , полученные по двум разным методам, можно заметить большое расхождение. Однако это не свидетельствует о плохом уровне аппроксимации, так как графики полученные с помощью данных коэффициентов лежат довольно близко друг к другу см. рис. 1, 2.

Таблица 1

Коэффициенты аппроксимации

Марка бетона \ Характеристики		$\bar{E}_1$ 10^3МПа	$\bar{E}_2$ 10^6МПа	$\bar{E}_3$ 10^9МПа	ε_*^+ 10^{-3}	ε_*^- 10^{-3}	$\bar{\sigma}_*^+$ МПа	$\bar{\sigma}_*^-$ МПа
М150	Метод 1	32,33	24,61	6,40	0,067	-1,125	1,65	-14,4
	Метод 2	24,40	7,30	-2,58	0,071	1,18	1,78	
М200	Метод 1	31,30	17,36	4,02	0,078	-1,375	2,17	-20,6
	Метод 2	27,30	9,50	0,30	0,080	1,55	2,25	
М250	Метод 1	31,76	13,02	1,74	0,088	-1,875	2,81	-25,2
	Метод 2	29,30	8,33	-0,85	0,086	1,82	2,58	

Следует ещё раз отметить, что метод 2 определения коэффициентов E_k является достаточно приближенным в связи со сложностью нахождения достоверных значений E_k и σ_*^+ , $\varepsilon_*^\pm$ по σ_*^-. В свою очередь метод 1 достаточно точно аппроксимирует диаграмму деформирования бетона и может быть с уверенностью использован в описание поведения материала под нагрузкой.

Для железобетона с коэффициентом армирования μ в продольном направление, безразмерное напряжение σ может быть представлено в форме (8).

$$\sigma = \mu\sigma_{\text{а}} + (1-\mu)\sigma_{\text{б}}. \qquad (8)$$

где $\sigma_{\text{а}}$ и $\sigma_{\text{б}}$ – соответственно безразмерные напряжения в арматуре и бетонных прослойках. В общем случае арматура, как и бетон, может обладать свойством раносопротивляемости [12, 13] и в диапазоне деформаций (1) ввиду совместной работы имеет одинаковые деформации ε. Поэтому для $\sigma_{\text{а}}$ можно получить представление в форме:

$$\sigma_{\text{а}} = D_1\varepsilon + D_2\varepsilon^2 + D_3\varepsilon^3. \qquad (9)$$

Для одинаково сопротивляющихся материалов будем иметь $D_2 = 0$. Тогда для железобетона в диапазоне деформаций (1) будем иметь:

$$\sigma = F_1\varepsilon + F_2\varepsilon^2 + F_3\varepsilon^3. \qquad (10)$$

$$F_k = \mu D_k + (1-\mu)E_k, (k = 1,2,3).$$

Наряду с механическими воздействиями бетонные и железобетонные элементы могут подвергаться нагреву или охлаждению температурой некоторого уровня Т (безразмерная). При относительно низком уровне Т все базовые характеристики материалов будут при изменении Т сохранять постоянные значения ($E_1, E_2, E_3, D_1, D_2, D_3, \varepsilon_*^-, \varepsilon_*^+$ - константы), а зависимости между напряжениями и деформациями будут иметь вид для бетона:

$$\sigma_{\text{б}} = E_1(\varepsilon - \alpha_{\text{б}}T) + E_2(\varepsilon - \alpha_{\text{б}}T)^2 + E_3(\varepsilon - \alpha_{\text{б}}T)^3. \qquad (11)$$

$$T = \frac{\bar{\bar{T}}}{T_0}, \alpha_{\text{б}} = \bar{\alpha}_{\text{б}}T_0.$$

и для арматуры:

$$\sigma_{\text{а}} = D_1(\varepsilon - \alpha_{\text{а}}T) + D_2(\varepsilon - \alpha_{\text{а}}T)^2 + D_3(\varepsilon - \alpha_{\text{а}}T)^3. \qquad (12)$$

$$\alpha_{\text{а}} = \bar{\alpha}_{\text{а}}T_0.$$

здесь $\bar{\alpha}_{\text{б}}, \bar{\alpha}_{\text{а}}$ – коэффициенты линейного расширения бетона и арматуры, T_0 - обезразмеривающий параметр. Подставляя (11) и (12) в равенство (8) получим связь между напряжением σ, деформацией ε и температурой T для железобетона:

$$\sigma = P_0 + P_1\varepsilon + P_2\varepsilon^2 + P_3\varepsilon^3. \qquad (13)$$

$$\begin{cases} P_0 = -T(\mu D_1\alpha_{\text{а}} + (1-\mu)E_1\alpha_{\text{б}}) + T^2\left(\mu D_2\alpha_{\text{а}}^2 + (1-\mu)E_2\alpha_{\text{б}}^2\right) + T^3\left(\mu D_3\alpha_{\text{а}}^3 + (1-\mu)E_3\alpha_{\text{б}}^3\right), \\ P_1 = \mu D_1 + (1-\mu)E_1 - 2T(\mu D_2\alpha_{\text{а}} + (1-\mu)E_2\alpha_{\text{б}}) + 3T^2\left(\mu D_3\alpha_{\text{а}}^2 + (1-\mu)E_3\alpha_{\text{б}}^2\right), \\ P_2 = \mu D_2 + (1-\mu)E_2 - 3T(\mu D_3\alpha_{\text{а}} + (1-\mu)E_3\alpha_{\text{б}}), \\ P_3 = \mu D_3 + (1-\mu)E_3. \end{cases} \qquad (14)$$

При повышении величины температурных воздействий начиная с определённого уровня (уровня термочувствительности) в бетоне происходят существенные структурные изменения вследствие разницы температурного деформирования цементного камня и наполнителей, нарастания процессов дегидратации, увеличение трещиноватости на границах фазовых материалов. Всё это требует разработки специальных программ испытаний для установления закономерностей термомеханического деформирования за пределами термочувствительности [14, 15].

Поскольку нам не удалось найти в литературе данных испытания материалов за пределом термочувствительности, то здесь мы ограничим-

ся соотношениями (11-14), относящимися к диапазону температур не выходящих за уровень термочувствительности.

Выводы. В данной работе разработан подход позволяющий, используя результаты экспериментальных исследований, с единых позиций построить диаграммы деформирования бетонов и железобетонов при температурных и силовых воздействиях. Проведенные расчёты показывают достаточно хорошее соответствие полученных диаграмм экспериментальным данным.

**Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 14-01-00102.*

БИБИЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Драгон А., Мруз З. Континуальная модель пластического поведения скальных пород и бетона // Механика деформируемых твёрдых тел: Направления развития. Мир, 1983. С. 163-168.

2. Гениев Г.А., Киссюк В.Н., Тюпин Г.А. Теория пластичности бетона и железобетона. М.: Стройиздат, 1974. 316 с.

3. Бенин А.В., Тананайко, О.Д. Нелинейное деформирование и трещинообразование массивной железобетонной конструкции / Роль механики в создании эффективных материалов конструкций и машин XXI века: Труды Всероссийской научно-технической конференции. Омск: СибАДИ, 2006. С. 88-92.

4. Бенин А.В., Елизаров С.В., Тананайко О.Д. Численное сопоставление различных моделей для описания нелинейного поведения бетона при плоском напряжённом состоянии // Математическое моделирование в механике сплошных сред. Методы граничных и конечных элементов: труды XIX Международная конференция. СПб.: Дом Учёных, 2002. С. 76-81.

5. Мищенко А.В., Немировский Ю.В. Нелинейное деформирование бетонных элементов при продольно-поперечном изгибе // Известия вузов. Строительство. 2013. №4. С. 3-12.

6. Немировский Ю.В. Метод расчёта композитных стержневых систем из разномодульных материалов // Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики: Материалы V Всероссийской научной конференции. Томск: Изд-во ТГУ, 2006. С. 288-290.

7. Исследование мостовых и тоннельных конструкций. Сборник статей / Под ред. действ. чл. Акад. строительства и архитектуры СССР проф. Г.К. Евграфова. М.: Трансжелдориздат, 1960. 192 с.

8. Ящук В.Е., Курган П.Г. О связи напряжения-деформации растянутого бетона // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1981. №12. С. 12-17.

9. Михайлов В. В., Емельянов М. П., Дудоладов Л. С., Митасов В.М. Некоторые предложения по описанию диаграммы деформаций бетона при загружении // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1984. №2. С. 23-27.

10. Безгодов И. М. О соотношениях прочностных и деформативных характеристик бетона при сжатии, растяжении и растяжении при изгибе // Бетон и железобетон. 2012. №2. С. 2-5.

11. Цискрели Г.Д. Сопротивление растяжению неармированных и армированных бетонов. М.: Гос. изд. лит. по строительству и архитектуре, 1954. 152 с.

12. Расчёт конструкций, работающих в упруго - пластической стадии. Сборник статей // Под ред. А.В. Геммерлинга. М.: Госстройиздат, 1961. 335 с.

13. Пространственные конструкции в Красноярском крае. Сборник статей // Под ред. Н. П. Абовского. Красноярск, 1985. 191 с.

14. Олимпиев В.Г., Зенков Н.П. Исследование прочностных, деформативных свойств тяжёлого силикат бетона при воздействие высоких температур // Огнестойкость строительных конструкций, вып. 3. М.: ВНИИПО, 1975.

15. Милованов А.Ф. Расчёт жаростойкости железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1975. 232 с.

Nemirovsky Yu. V., Boltaev A.I.

STRAIN DIAGRAMS OF CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE

The approach allows using the results of experimental studies, with one voice to build a stress-strain diagram of concrete and reinforced concrete under the temperature and power effects. Taking into account such important properties of the material behavior under load as a significantly different resistance in tension and compression and non-linear nature of the relationship between stress and strain. Conducted calculations show fairly good agreement with experimental data obtained diagrams.

***Key words**: strain diagram, concrete, reinforced concrete, thermal stress, tension, compression.*

Фомина Е.В., канд. техн. наук, доц.,
Войтович Е.В., канд. техн. наук,
Фомин А.Е., магистрант,
Лебедев М.С., канд. техн. наук,
Кожухова Н.И., канд. техн. наук
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОГО КАЧЕСТВА ШЛАКА ОЭМК ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ ЕГО В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТАХ*

fomina.katerina@mail.ru

Проведена радиационно-гигиеническая оценка шлака, согласно которой радиотоксичность шлака обусловлена содержанием в нем техногенных радионуклидов тория-232 и радия-226 (уран-238). Установлено нарушение радиоактивного равновесия в рядах урана и тория в процессе плавки стали, отражающееся в значительном количестве дочерних продуктов их распада, что свидетельствует о возможном непостоянстве радиоактивного фона и необходимости своевременного радиоактивного контроля. В комплексе радиационный мониторинг по гамма-фону излучения и эффективной удельной активности радионуклидов показывает, что все значения не превышают нормативных, и шлак может использоваться без ограничений по радиационному фактору для создания композиционных вяжущих и строительных материалов различного назначения.

Ключевые слова: *сталеплавильный шлак, техногенный отход, композиционное вяжущее, строительные материалы, радиоактивность.*

Ежегодно в сталеплавильном производстве Оскольского электрометаллургического комбината ОАО «ОЭМК» образуется около 400 тыс. тонн шлаковых отходов, что непременно способствует увеличению антропогенной нагрузки на природную среду. К настоящему времени накоплен определенный опыт использования сталеплавильных шлаков в строительной индустрии [1]. В связи с намеченной переориентацией промышленности строительных материалов на бетоны с пониженным содержанием цемента [2], сталеплавильный шлак является эффективным компонентом композиционных вяжущих [3, 4] при производстве цементного клинкера [5…7]. Содержание белитовой фазы в составе шлака позволяет применять его в качестве высокореакционного компонента сырьевой смеси в условиях гидротермального синтеза [8, 9].

Сталеплавильные шлаки являются продуктом плавления флюсующих пород (обычно известняков или извести), облегчающих плавку металлов и извлекающих из них вредные примеси, что отражается на формировании радиационного состава шлаков. Шлаки относят к техногенным образованиям 4-го класса опасности с низкой степенью их вредного воздействия на окружающую среду. Однако нестабильность формирующейся структуры шлаков, зависящая от колебания химического состава применяемой железной руды и условий плавки, не исключает изменение в составе шлака количества химических элементов, изотопы которых радиоактивны, в связи с чем возможен некоторый разброс данных от средних фоновых значений по радиоактивности. Радиоактивностью называется способность к самопроизвольному распаду ядер атомов некоторых элементов (радионуклидов).

Радиационная активность шлаков зависит от содержания в них элементов тяжелых металлов, изотопы которых при некоторых условиях эксплуатации строительных изделий могут мигрировать в окружающую среду и отрицательно воздействовать на физиологические функции человека. В настоящее время известно свыше 40 естественно радиоактивных элементов, которые являются изотопами тяжелых металлов [10]. Внешнее гамма-облучение биологических индивидов определяется в основном радионуклидами ураново-радиевого и ториевого рядов, а также калия-40. В связи с этим радиоактивность сталеплавильного шлака обусловлена, в первую очередь, содержанием в нем радионуклидов семейства радия-226 (урана-238), тория-232, а также калия-40.

Химический состав шлака (масс. %): SiO_2 – 30,2; Al_2O_3 – 5,57; Fe_2O_3 + FeO – 13,60; CaO – 39,38; MgO – 8,10; P_2O_5 − 0,1; Cr_2O_3 − 0,7; K_2O − 0,19; Na_2O − 0,26; SO_2 − 0,8; TiO_2 – 0,30; ппп – 0,8.

Определение концентрационных показателей фазового состава шлака осуществлялся по данным рентгенофазового анализа при помощи метода Ритвельда (табл. 1).

Исходя из химического и минералогического анализа, в шлаке содержатся тяжелые металлы в соединениях оксида железа FeO, а также высших оксидов железа Fe_2O_3 и железосодержащие минералы вюстита и магнетита. В качестве примесей содержатся оксиды Ti, P, Cr, K, S,

которые могут являться радиоактивными составляющими сталеплавильного шлака [11].

На основании приведенного химического состава были рассчитаны основные критерии качества шлака относительно его применения в строительном комплексе (табл. 2) согласно которым, шлак является высокоосновным первого сорта.

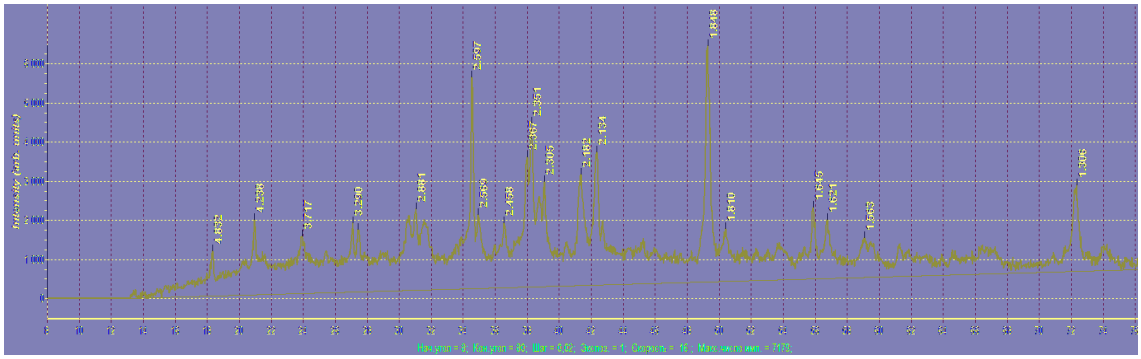


Рис. 1. Рентгенограмма шлака

Таблица 1

Фазовый состав шлака

Наименование	Содержание компонентов, вес. %
$Ca_2SiH_2O_5$	20,42
γ -C_2S	17,65
Окерманит ($2CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$)	10,13
Мервинит ($3CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$)	8,26
α-кварц	2,4
Кальцит	4,88
Вюстит (FeO)	25,98
Магнетит ($FeO \cdot Fe_2O_3$)	10,26

Таблица 2

Критерии качества шлака ОЭМК

Критерий	Расчетная формула	Расчетные показатели
Модуль основности	$Mo = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3}$	1,327
Модуль активности	$Mo = \frac{Al_2O_3}{SiO_2}$	0,18
Коэффициент по ГОСТ 31108-2003	$K = \frac{CaO + Al_2O_3 + MgO}{SiO_2}$	1,76
Коэффициент качества по ГОСТ 3476-74	$K = \frac{CaO + Al_2O_3 + MgO}{SiO_2 + TiO_2}$	1,74

Радиационно-гигиеническую оценку шлака проводили радиометрическим, гамма-спектрометрическим (по альфа-, бета-, гамма-излучениям исследуемого материала) методам анализа на сертифицированной гамма-спектрометрической аппаратуре. Основными радиационно-гигиеническими показателями для оценки качества сырья по радиационному фактору при данном методе являются: удельная активность радионуклидов рядов радия-226 (урана-238), тория-232 и калия-40, эффективная удельная активность объекта исследований, объемная активность радона и торона, плотность потока радона, мощность экспозиционной дозы гамма-излучения.

Радиационный мониторинг включал оценку содержания радиотоксичных техногенных радионуклидов. Относительная погрешность определения Be^{7}, K^{40}, Ra^{226}, Th^{232}, Cs^{137} в воздушно-сухих пробах составляла 10…15 %, экспозиция – 3600 с, масса пробы 1500 г.

Таблица 3

Результаты гамма-спектрометрического анализа шлака

МЭД, мкЗв/ч	Удельная радиоактивность, Бк/кг						$A_{эфф.}$, Бк/кг
	Ti^{208}	Bi^{212}	Pb^{212}	Ra^{226}	Th^{232}	K^{40}	
0,08	9.0±3.6	44±13	60±25	21.3±3.6	23.6±4.3	9±4	53±10

По результатам исследования значения гамма-фона и мощность экспозиционной дозы гамма–излучения шлака составляет 0,08 мкЗв/ч, что входит в пределы нормативных значений

для биологических индивидов. Содержание радионуклидов ряда урана-238 и тория-232, которые являются источником радиоактивного газа радона и дочерних продуктов его распада, излучающих альфа-частицы, относящиеся к плотно ионизирующей радиации с высоким коэффициентом радиационного риска, представляющих особую опасность и вносят до 80 % радиоизлучения в общую дозу облучения. В значимых количествах содержатся дочерние продукты распада Pb^{212}, Bi^{212}, Ti^{208}, которые не влияют на радиационную оценку шлака, но свидетельствуют о нарушениях радиоактивного равновесия в рядах урана и тория в процессе плавки стали и попадании токсичных радионуклеидов (радия-226 и продукта его распада родон), как в состав шлака, так и, вероятно, в окружающую среду. Данный факт свидетельствует о возможном непостоянстве радиоактивного фона шлаков и необходимости своевременного радиоактивного контроля.

Оценку влияния токсичных радионуклидов с учетом их биологического воздействия на организм человека проводили по их суммарной удельной активности, выражаемой в виде эффективной удельной активности радионуклидов (Аэфф). Показатель удельной эффективной активности естественных радионуклидов является основным при выработке критериев радиационной безопасности и рассчитывается по формуле:

$$Аэфф = ARa + 1{,}31ATh + 0{,}085AK,$$

где ARa, ATh, AK – удельные эффективные активности Ra, Th, K, соответственно, Бк/кг.

Эффективная удельная активность естественных радионуклидов шлака с учетом неопределенностей измерений составляет 53 Бк/кг. Наибольший вклад (58 %) в Аэфф вносит торий-232, 40% – вносит радий-226 (уран-238), вклад калия-40 – 2 % (рис. 2).

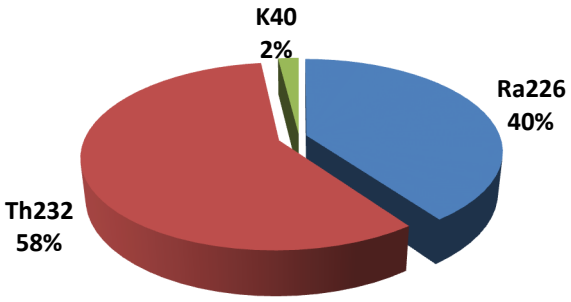


Рис. 2. Вклад радионуклидов в Аэфф шлака (% отн.)

Таким образом, установлено, что в сталеплавильном шлаке ОАО «ОЭМК» присутствует потенциально радиоактивные элементы тяжелых металлов в виде FeO и Fe_2O_3, минералы вюстита и магнетита. В качестве примесей содержатся оксиды Ti, P, Cr, K, S. Значения гамма-фона и мощность экспозиционной дозы гамма-излучения шлака составляет 0,08 мкЗв/ч. Аэфф шлака составляет 53 Бк/кг, наибольший вклад (58 %) в Аэфф вносит торий-232 и радий-226 (уран-238) (40 %). Установлены нарушения радиоактивного равновесия в рядах урана и тория в процессе плавки стали, отражающиеся в значительном содержании в шлаке дочерних продуктов распада Pb^{212}, Bi^{212}, Ti^{208}, однако в комплексе это существенно не сказывается на радиоактивности шлака. Согласно НРБ-99/2009 и ГОСТ 30108-94 шлак относится к 1 классу материалов и может использоваться без ограничений по радиационному фактору для всех видов строительства.

* *Работа выполнена в рамках государственного задания №14.2406.2014/к; гранта РФФИ № 14-33-50291; программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Шахова Л.Д. Техногенные продукты в производстве сухих строительных смесей. Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. 168 с.

2. 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.

3. Шаповалов Н.А., Загороднюк Л.Х., Тикунова И.В., Щекина А.Ю. Рациональные пути использования сталеплавильных шлаков // Фундаментальные исследования. 2013. № 1–2. С. 439–443.

4. Лесовик В.С., Агеева М.С., Иванов А.В. Гранулированные шлаки в производстве композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 29−32.

5. Шилова И.А. Энергосбережение и повышение качества цементного клинкера с использованием шлако-мело-известковой смеси // Успехи в химии и химической технологии. 2008. № 7 (87). Т. 22. С. 63–68.

6. Классен В.К., Шилова И.А., Текучева Е.В. Особенности процессов клинкерообразования и гидратации цемента при использовании в качестве сырьевых компонентов сталеплавильных шлаков и частично декарбонизированного мела // Техника и технология силикатов. 2007. Т. 14. № 2. С. 2–10.

7. Шилова И.А. Энергосбережение и повышение качества цементного клинкера с использованием шлако-мело-известкового компонента: Автореф. дис. канд. техн. наук. Белгород, 2007. 18 с.

8. Кудеярова Н.П., Гостищева М.А. Гидратационная активность минералов сталеплавильных шлаков в автоклавных условиях // Строительные материалы. 2007. № 8. С. 34–35.

9. Фомина Е.В. Особенности твердения композиционных вяжущих в технологии автоклавных ячеистых материалов: Автореф. дис. канд. техн. наук. Белгород, 2007. 16 с.

10. Пугин К.Г., Вайсман Я.И., Волков Г.Н., Мальцев А.В. Оценка негативного воздействия на окружающую среду строительных материалов, содержащих отходы черной металлургии // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 2 [Электронный ресурс]. URL: www.science-education.ru/102-5990 (дата обращения: 06.08.2015).

11. Скребцов А.М. Радиоактивные изотопы в сталеплавильных процессах. М.: Изд. Металлургия, 1972. 304 с.

Fomina E.V., Voitovich E.V., Fomin A.E., Lebedev M.S., Kozhukhova N.I.

ASSESSMENT OF RADIATION QUALITY SLAG OEMK FOR USE OF ITS COMPOSITES IN CONSTRUCTION

Radiation and sanitary estimation of slag show the radiotoxicity is connected to content in of thorium-232 and radium-226 (uranium-238) radionuclides. Disturbance of radioactive balance in the ranks of uranium and thorium when steel melt is determined, that reflexed on significant quantity of its degradation daughter product and indicates to possible variability of radioactive background and necessity of radioactive control in time. In totality, radiation monitoring on gamma-ray radiation background and effective specific activity of radionuclides shows, all parameters are less then norm ones and slag can be used without limitation according to radiation factor for production of composite binders and construction materials of different purpose.

Key words: *steelmaking slag, industrial waste, composite binder, construction material, radioactivity.*

Перькова М.В., канд. арх., проф.,
Борзых Е.В., студент
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ОЦЕНКА ВЗАИМОСВЯЗИ СОЦИАЛЬНЫХ И ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ В ПЛАНИРОВКЕ Г. СТРОИТЕЛЬ*

perkova.margo@mail.ru

В статье рассмотрена динамика жилой застройки г. Строитель, взаимосвязь социальных и пространственно-планировочных факторов в градостроительном развитии территории. Рассматриваются ландшафтные условия в границах городской черты, характеризуемые пересеченностью рельефа в виде холмов, оврагов, долин малых рек. Проведен анализ обеспеченности планировочных элементов городской структуры – микрорайонов объектами социальной инфраструктуры и рекреационными территориями, а также связности микрорайонов с общественно-деловым историческим центром города. Даны рекомендации по реорганизации основных элементов планировочной структуры города с целью повышения ее социальной эффективности.

Ключевые слова: *градостроительное развитие, социальная инфраструктура, ландшафтные условия, микрорайон, малый город.*

Строитель расположен в западной части Белгородской области, в 20 км севернее областного центра г. Белгорода, вблизи автострады Москва-Харьков, граничит с Прохоровским, Ивнянским, Ракитянским, Борисовским и Белгородским районами. Город располагается в пределах юго-западных отрогов среднерусской возвышенности, в верховьях р. Ворскла, бассейна р. Днепр. Абсолютные отметки поверхности изменяются здесь от 244,5 м в северной части района до 145 м на юге, в пойме р. Ворскла. Долина реки пересекает район с северо-востока на юго-запад. Справа в р. Ворскла впадает небольшая речка Ворсколец. Помимо речных долин территория района расчленена густой сетью оврагов и балок. Число жителей на 1.01.2011 г. составило 23 100 человек [7]. Таким образом, Строитель является малым городом Белгородской области, входящим в Белгородскую агломерацию [9].

Пространственный каркас города Строитель представлен вылетной магистралью в меридиональном направлении (М-2 «Крым»), широтными магистралями общегородского значения, долинами реки Ворскла и достаточно обширной овражно-балочной сетью. Основная масса многоквартирной и многоэтажной застройки располагается в центре городского поселения. В северо-восточной части города развивается коттеджная застройка. Она по сложному рисунку границ отвечает конфигурации плоских вершин холмов. В западной части расположена промышленная зона, где располагается завод «ЖБИ-3», «ОАО ЗМК, Белгородский НПЗ, и др. градообразующие предприятия.

Рассмотрим динамику развития жилой застройки г. Строитель. После Великой Отечественной войны, в 1947…1951 гг., проводятся геологические, гидрогеологические и инженерно-геологические исследования под строительство малонапорных плотин и водохранилищ для целей орошения с составлением специальных карт различного масштаба. Кроме того, проводятся поисковые работы полезных ископаемых. При бурении одной из таких скважин в 1953 г. у с. Яковлево была вскрыта мощная залежь богатых железных руд Яковлевского месторождения [3]. В связи с этим в 1958 г. начали закладывать поселение. Местом рождения города стало кукурузное поле близ села Яковлево.

Город Строитель застраивался в определённом порядке, выявленном в ходе исследования. Результаты отражены в карте города по хронологии застройки (рис. 1). Первыми улицами города стали ул. Октябрьская и ул. Мира (ныне существующие) с частными и двухэтажными многоквартирными жилыми домами. В конце 60-х годов с появлением завода «ЖБИ-3» началось развитие северо-западной части города, появились пятиэтажные панельные дома, школа, детский сад. Следующей появляется ул. Ленина – главная артерия населённого пункта. Именно на ней были построены первые административные здания, сформировалась площадь, ставшая главным общественным пространством.

Вторым этапом развития города стало появление его северо-восточной части. Параллельно ул. Ленина развивается ул. 5 Августа, которая в настоящее время представляет собой широкий проспект, вдоль которого на всём протяжении располагаются пешеходные связи с другими частями города. К концу 80-х в населенном пункте проживало более 15 000 человек. Началось строительство первых девятиэтажных домов (по ул. 5 Августа), открылась школа № 2 [6].

Третий этап в развитии города охарактеризован застройкой северной его части. Начинается строительство первого микрорайона ИЖС «Журавлик». Формируются общественно-

деловые зоны с торговыми центрами и обслуживающими учреждениями. Чётко сформировались черты центра города, его главной площади с административными зданиями, сквером, соединяющим две главные улицы. Появляется спортивная инфраструктура (стадион «Победа», ФОК «Олимпийский»). В перспективе на ближайшие 5 лет планируется строительства Ледового дворца.

Рис. 1. Карта города по хронологии застройки. Схема авторов

1 застройка 1960-х годов
2 застройка 1970-х годов
3 застройка 1980-х годов
4 застройка 1990-х годов
5 застройка с 2000 по 2005гг.
6 застройка с 2005 по н. в.
планируемая застройка

В настоящее время ведётся строительство новых микрорайонов частного сектора в северо-восточной части г. Строитель: ИЖС «Сретенский», «Заводской», «Быковский», «Крапивенский», «Крапивенский -2», «Крапивенский -3». Для обеспечения нормального радиуса обслуживания в микрорайонах проектом планировки предусмотрено строительство общественного центра с предприятиями и учреждениями постоянного пользования (детский сад, школа, предприятия общественного питания, аптеки, спортивные учреждения и т.д.). Планируется создание многофункциональной системы зелёных насаждений [5].

Таким образом, можно сделать вывод, что город стремительно развивается с 1970-х годов. Большую часть территории застроили в самом начале становления городского поселения, в основном частными и малоэтажными многоквартирными домами. В 90-х годах преобладало многоэтажное строительство. Параллельно начинают застраиваться участки ИЖС. В последние годы действует программа замены ветхого и аварийного жилья, в связи с чем в центральной части города малоэтажные многоквартирные дома сносят, а на их месте строят новые многоэтажные дома.

Жилая застройка города конца XX - начала XIX века отличается увеличением архитектурно-планировочного многообразия, появлением новых микрорайонов. В 2007 году введено 27,1 тыс. кв. метров жилья, в том числе 14 тыс. кв. метров многоэтажного и 13,1 тыс. кв. метров индивидуального [11]. Сохранена высокая доля жилых домов, построенных в 60-е и 70-е годы XX столетия.

В связи с развитием сельского хозяйства, в Строителе преобладает застройка индивидуальными жилыми домами. Это видно из карты поэтажной застройки (рис. 2).

Таким образом, в основу планировочного решения городского поселения положена идея современного благоустроенного населённого пункта с плотной многоквартирной и многоэтажной застройкой в центре и частными домами по периферии. Жилая зона занимает основную часть территории городского поселения и представлена в основном территориями существующей одно-двух этажной индивидуальной застройкой.

Характеристика микрорайонов по социальной инфраструктуре.

Одним из главных принципов градостроительного проектирования является обеспечение высокого уровня социальной инфраструктуры. Микрорайон – первая ступень организации учреждений всех видов общественного обслуживания. Только достаточное количество объектов социально-экономической инфраструктуры может обеспечить качество среды жизнедеятельности [1]. Для оценки качества среды селитебной территории города Строитель приводилась разбивка территории на микрорайоны (рис. 3) и составлялась таблица качественной оценки обеспеченности микрорайонов социальной инфраструктурой и их доступности до центра города (табл. 1).

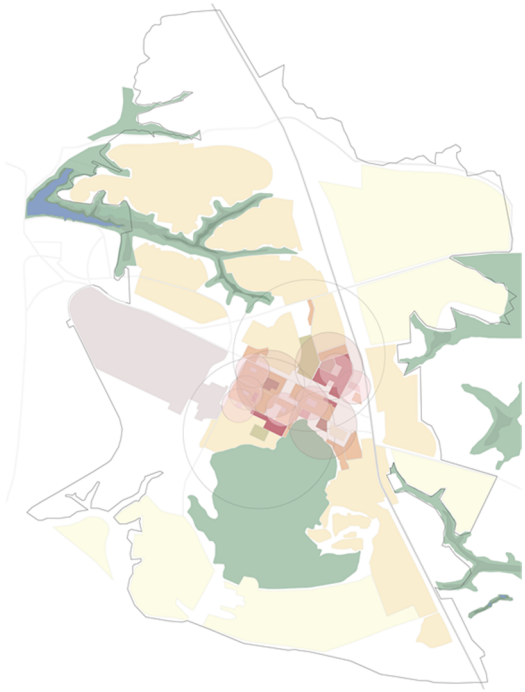


Рис. 2. Схема поэтажной застройки. Схема авторов

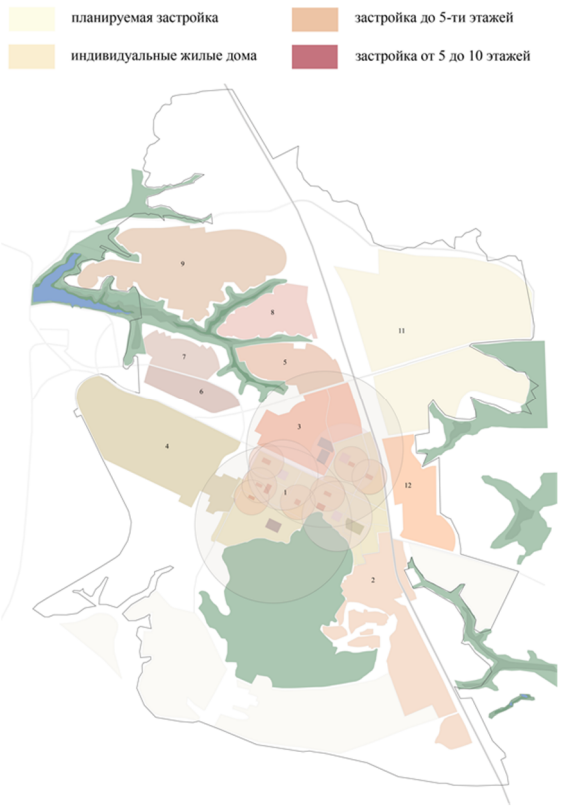


Рис. 3. Разбивка территории г. Строитель на микрорайоны. Схема авторов

Таким образом, можно сделать вывод, что территория города неравномерна по своим социально – экономическим характеристикам и показывает дифференциацию пространства г. Строитель по факторам социальной значимости кварталов (микрорайонов).

Для 10 изученных планировочных фрагментов, образующих селитебную территорию города, установлены взаимосвязи следующих факторов:

– насыщенность социальной инфраструктурой;

– баланс жилых, общественных и рекреационных территорий;

– доступность кварталов до центра;

– исторические условия формирования застройки [1];

Согласно положению микрорайонов (планировочных фрагментов) относительно пространственного каркаса города оценивается либо рекреационное благополучие микрорайо-нов (приближенность к природному каркасу), либо социально-бытовое благополучие микрорайонов (приближенность к магистралям и центру, экономия времени на перемещения), либо их сочетание.

Результаты свидетельствуют о том, что следует повышать связь наиболее удаленных формирующихся микрорайонов города с общественно-деловым центром. Центральный планировочный район характеризуется наличием исторического центра города. Сформированы общественные пространства, связанные между собой пешеходными и транспортными связями, имеет высокую плотность застройки. Большой ценностью района является благоустроенные современные публичные пространства. Значительную часть городской территории занимают зеленые насаждения, что благоприятно влияет на качество среды жизнедеятельности. Однако уверенно растущий город на всем протяжении своего существования на сегодняшний день нуждается в активном развитии социально-экономической инфраструктуры новых формирующихся микрорайонов города. В их составе доминирует индивидуальное жилищное строительства и порой практически полностью отсутствует социально-экономическая инфраструктура и рекреационные территории [2]. Детские учреждения и школы расположены только в центральной части населённого пункта, что является неудовлетворительным для обеспечения всей территории города учреждениями повседневного пользования. Учреждения и предприятия периодического пользования также находятся в центре Строителя и не охватывают своим радиусом доступности половину микрорайонов, что позволяет сделать вывод о низком качестве среды формирующихся микрорайонов. Строитель тяготеет к типу моногорода, поэтому особенно важно развивать общественно-деловые центры в новых микрорайонах, которые смогут обеспечить постиндустриальному типу нынешнего общества гарантию стабильного роста и процветания данного малого города [8].

Таблица 1

Характеристика микрорайонов по социальной инфраструктуре и доступности центра города

Номер микрорайона (по рис. 2)	Характеристика микрорайона
1	Городской центр в границах ул. 5 Августа, ул. Промышленная, ул. Октябрьская, пер. Центральный, ул. Центральная. Имеет самый высокий социально- культурный потенциал. Это объясняется его расположением в историческом и общественном центре города. Здесь сохранилась историческая сетка улиц с застройкой многоквартирных домов до пяти этажей. В последние годы ведётся строительство домов повышенной этажности – до 10 этажей. Центральный район города имеет высокую степень культурно бытового обслуживания. Учреждения и предприятия повседневного пользования находятся в радиусе шаговой доступности. Так в центре района имеются 3 общеобразовательные школы, 7 детских садов и яслей, ФОК, бассейн и 2 спортивных стадиона, предприятия общественного питания: 8 кафе, пиццерия и ресторан. Лечебные учреждения представлены центральной районной больницей и детской поликлиникой. Центр города достаточно озеленён: 2 парка («Маршалково» и «Парк роз»), несколько скверов. Хорошо организованы общественные пространства: главная площадь города с примыкающими зданиями администрации и Дома культуры связывает пешеходными связями начало и конец города, заканчивается у зоны административного обслуживания (Районный суд, прокуратура, торговым центрам, кинотеатру, районной библиотеке). Район имеет высокую плотность застройки. Большой ценностью района является публичные пространства.
2	ИЖС «Центральный» располагается вблизи городского центра, имеет хорошую транспортную доступность. Застройка преимущественно индивидуальными жилыми домами. На территории микрорайона имеется спортивный комплекс, стадион, продуктовые магазины. Начались работы по восстановлению пруда и озеленения территории. В радиусе 700 метров находятся детский сад, школа, супермаркет.
3	ИЖС «Заводской» Располагается вдоль магистрали общегородского значения. Имеет застройку индивидуальными жилыми домами. Полностью отсутствует культурно-бытовое обслуживание в границах микрорайона. Школа и детский сад находятся на расстоянии 1500 м.
4	ИЖС «Быковский» Микрорайон граничит с ИЖС «Заводской» и ИЖС «Крапивенский». Имеет все коммуникации, на сегодняшний день осуществляется строительство индивидуальных жилых домов. Полностью отсутствует социальная инфраструктура.
5	ИЖС «Крапивенский» Располагается в непосредственной близости с городской магистралью, имеет хорошую транспортную доступность. В микрорайоне формируется социальная инфраструктура. Действует продовольственный магазин. Ближайшая школа и детский сад расположены на расстоянии 1400 метров от границы микрорайона.
6	ИЖС «Крапивенский-2». Один из наиболее удалённых микрорайонов от центра города. Располагается в северной части городского поселения, граничит с ИЖС «Крапивенский» и хутором Крапивенские дворы. Всю территорию занимает застройка усадебного типа. Инфраструктура отсутствует, так как микрорайон только начал застраиваться.
7	ИЖС «Крапивенский-3». Формирующийся микрорайон. Находится от в северной части города. С двух сторон опоясан густой посадкой деревьев, граничит с ИЖС «Крапивенский-2». Строительство началось недавно и пока представляет собой только фундаменты будущих частных домов. Отсутствует транспортная и социальная инфраструктура.
8	ИЖС «Журавлик». Имеет линейную конфигурацию вдоль автодороги регионального значения М-2 «Крым», граничит с парком «Маршалково». На территории микрорайона находятся продуктовые магазины и автобусная остановка, иная социальная инфраструктура отсутствует. Ближайшие школа и детский сад в центральном районе города. Защитная зеленая полоса вдоль магистрали улучшает санитарно-гигиенические характеристики района.
9	ИЖС «Сретенский». Находится на противоположной стороне от центра города относительно магистрали меридионального направления (М-2 «Крым»). Инфраструктура отсутствует, из коммуникаций имеется только линии электропередач. Строительство частного сектора продолжается. Отсутствуют дороги с твёрдым покрытием.
10	ИЖС «Глушинский» Микрорайон граничит с ИЖС «Сретенский» и имеет линейную конфигурацию вдоль магистрали регионального значения (М-2 «Крым»). Городское население не проживает. Полностью отсутствует благоустройство территории и социальная инфраструктура.

**Работа выполнена в рамках Гранта РФФИ 14-41-08040.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Большаков А.Г., Лоншаков Д.А., Бондарева В.Ю., Щербакова Т.П. Оценка взаимосвязи социальных и пространственных факторов в планировке города Белгорода // Вестник ИрГТУ. 2015 №1. С. 88-103

2. Большаков А.Г., Лоншаков Д.А. Повышение экологического благополучия района в Белгороде путем преобразования ООПТ в окружении застройки в парк с природоохранными функциями // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. №5. С 47-53.

3. Генеральный план городского поселения «Города Строитель» Белгородской области. Том 1- Белгород 2009.

4. Генеральный план городского поселения «Города Строитель» Белгородской области. Том 2- Белгород 2009.

5. Каланчина Н.В. Краткая хронология города Строитель. Строитель: Муниципальное бюджетное учреждение культуры «Центральная библиотека Яковлевского района», 2013. 12 с.

6. Киселев С.Н., Перькова М.В., Перцев В.В. Особенности формирования комплексной инфраструктуры как фактор повышения качества жизни населения на территории Белгородской област // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. №1. С. 11-15.

7. Молчанов Н.В. Строитель. Земля Яковлевская. Белгород: Издательский дом «Шаповалов», 1997. 304 с.

8. Перькова М.В. Малые города как фактор устойчивого развития территорий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. №4. С. 63-66.

9.Перькова М.В., Трибунцева К.М., Киселев С.Н. Исторический аспект формирования функционально-планировочной структуры малых городов Белгородской области//:эл. сб. докл. региональной научно-практ. конф./ Белгор. гос. технол. ун-т. (Белгород, 9-10 апреля 2015 г.). Белгород: Изд-во БГТУ, 2015.

10. Подвигин Н.М. Так рождаются города. Белгород.: Крестьянское дело, 2002. 272с.

11. Строитель – любимый город. 50лет Яковлевскому району [Электронный ресурс]. URL: http://www.yak.arvixe.ru/ (10.05.2015)

12. Строитель. Численность население города [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Строитель_(город) (14.05.2015)

Perkova M.V., Borzih E.V.

EVALUATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN SOCIAL AND SPATIAL FACTORS IN THE LAYOUT OF THE CITY STROITEL

The article considers the dynamics of residential construction city Stroitel, the relationship between social and spatial factors in urban development areas. We consider the landscape conditions within the boundaries of the city limits, characterized by the intersection of the relief represented by hills, ravines, valleys of small rivers. The analysis of the security elements of the urban structure planning - neighborhoods social infrastructure facilities and recreational areas, as well as the connected neighborhoods with social and business historical center. Recommendations for the reorganization of the main elements of planning structure of the city to improve its social performance.

Key words: *urban development, social infrastructure, landscape conditions, neighborhood, small town.*

Ильинская Г.Г., канд. техн. наук, ст. препод.,
Сопин Д.М., канд. техн. наук,
Богусевич В.А., канд. техн. наук,
Лесовик Г.А., канд. техн. наук, ст. препод.,
Черкесов М.Ф., магистрант
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

СУХИЕ ОТДЕЛОЧНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ ДЛЯ УСТРОЙСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

Galinyshka.87@mail.ru

В статье рассматривается возможность использования композиционных вяжущих для получения отделочных растворов внутреннего и наружного слоев многокомпонентной теплоизоляционной системы на основе кремнеземистого компонента и пластифицирующей добавки.

Ключевые слова: *сухие строительные смеси, композиционные вяжущие, теплоизоляция, отделка.*

В настоящее время принятый ряд нормативно-технических документов, направлен на решение задачи энергосбережения и снижения эксплуатационных затрат в строительстве. Требования, установленные в этих документах к значению термического сопротивления, наиболее часто используемых строительных материалов (железобетон, кирпич, дерево) не возможно обеспечить в однослойной конструкции. Соответствие может быть достигнуто лишь в многослойной конструкции, где в качестве утеплителя применяется эффективный теплоизоляционный материал [1…5]. Повышение цен на энергоносители также становятся одной из важнейших задач по снижению теплопотерь, и, соответственно, затрат на отопление в процессе эксплуатации.

По оценкам различных источников, основные теплопотери происходят через стены (от 35 % до 45 %).

Существующие в России системы утепления зданий можно разделить на 2 группы:

Традиционные системы утепления:

- теплоизоляция «изнутри» (имеет широкое распространение при реконструкции и утеплении зданий, фасад которых по историко-архитектурным значениям нельзя подвергать конструкционным изменениям);
- полостное утепление, или «колодезная кладка» (самый распространённый вид утепления, также применяется при производстве материалов панельного домостроения).

Современные системы утепления.

Несомненными лидерами новаций, в строительном сегменте экономики, являются страны Западной Европы. Именно там систематизировали и вывели на массовый строительный рынок фасадные системы утепления, которые в последние годы в России приобретают всё большую популярность. Системы подразделяются на 2 основных типа:

- вентилируемый фасад (характеризуется практически круглогодичным циклом работ);
- системы наружной теплоизоляции «мокрого типа» (разделяются по типу теплоизолирующего материала на системы с минераловатным утеплителем и на системы с пенополистирольным утеплителем с минераловатными противопожарными рассечками).

Следовательно, применение современных систем теплоизоляции фасадов позволяет снижать затраты на отопление здания до 60 %.

Для создания надежной теплозащиты строящихся зданий необходимо создание теплоизоляционной системы (рис. 1) из следующих составляющих: внутреннего слоя предлагаемой отделочной смеси, утеплителя, системы крепления (дюбелей и армирующей фасадной сетки), наружного слоя предлагаемой отделочной смеси, декоративной отделки [6].

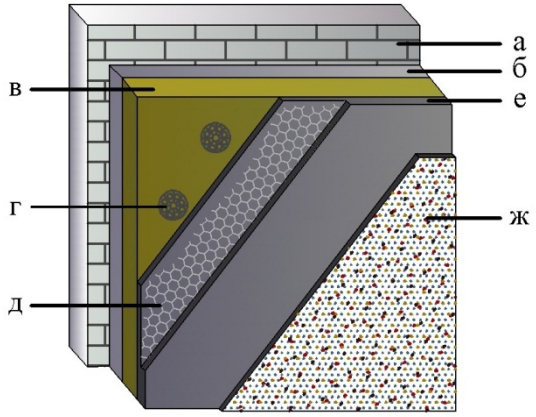


Рис. 1. Основные составляющие теплоизоляционной системы строящихся зданий: а – основание; б – внутренний слой предлагаемой отделочной смеси; в – утеплитель; г – дюбеля; д – армирующая фасадная сетка; е – наружный слой предлагаемой отделочной смеси; ж – декоративная отделка

Для реставрируемых и ремонтируемых зданий и сооружений рекомендуется использовать теплоизоляционную систему с учетом старой наружной отделки (рис. 2).

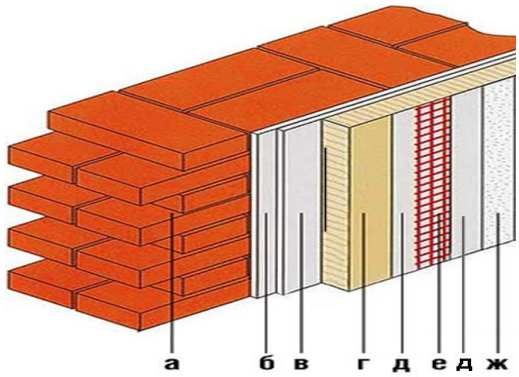


Рис. 2. Основные составляющие теплоизоляционной системы для ремонтных и восстановительных работ: а – основание (бетон, легкий бетон, кирпичная или каменная кладка, дерево, металл); б – старая наружная отделка (штукатурка и т. п.); в – внутренний слой предлагаемой отделочной смеси; г – утеплитель (плиты из минерального волокна); д – наружный слой предлагаемой отделочной смеси; е – сетка из стекловолокна; ж – декоративная отделка

Для качественного устройства теплозащитных покрытий необходимы надежные строительные растворы, обеспечивающие необходимые эксплуатационные свойства и высокую долговечность. В настоящее время разработаны и применяются материалы для указанных целей, однако эти материалы имеют ряд недостатков, в связи, с чем необходима разработка эффективных защитных растворных покрытий с высокими защитными свойствами.

Нами предлагаются сухие строительные смеси для отделочных работ. Для надежной изоляции и долговечности теплоизоляционного покрытия необходимо создавать двойной слой. Внутренний слой, накладываемый на поверхность стены, должен создавать ровное основание для устройства теплоизоляционного покрытия, его целесообразно выполнять из сухих строительных смесей для отделочных работ, приготовленных на основе композиционных вяжущих.

Наружный защитный слой, накладываемый на теплоизоляционное покрытие, должен обладать требуемыми технологическими свойствами при нанесении покрытия, иметь высокую адгезию к основанию и достаточную прочность и долговечность, что обеспечиться предлагаемыми сухими строительными смесями для отделочных работ, приготовленными на основе композиционных вяжущих.

В связи с вышеизложенным предстоит разработать композиционные вяжущие для устройства защитных слоев, а затем на их основе разработать составы сухих отделочных строительных смесей для внутреннего и наружного слоев.

Достоинство и преимущество композиционных вяжущих (КВ) в их высокой дисперсности и в весьма высокой прочности (до 100 МПа). Их применение перспективно для создания строительных растворов с высокими прочностными показателями, кроме того, при этом может быть сэкономлено до 35…50 % клинкерной части цемента, что является экономически и экологически актуальным [7…22].

В состав композиционных вяжущих веществ входят минеральные и органические добавки. В качестве минеральной добавки мы исследовали кварцевые пески Шебекинского и Курского месторождений. Известно, что важную роль наряду с клинкерной составляющей и минеральным компонентом играют органические добавки.

В работе ставилось целью получить два вида композиционных вяжущих для устройства внутреннего и наружного отделочных слоев многослойной теплоизоляционной системы. Особенностями внутреннего слоя является тот факт, что слой должен обеспечить надежное сцепление с основанием, ликвидировать все недостатки, трещины и создать ровную поверхность для укладки теплоизоляционного слоя. Толщина этого слоя должна быть минимальной и составлять от 3…15 мм. Кроме того, внутренний слой должен отвечать всем нормативным требованиям по паропроницаемости, по водопоглощению, по прочностным показателям и морозостойкости. Для создания такого слоя необходимо разработать эффективное композиционное вяжущее.

Особенностями наружного отделочного слоя является то, что он наносится на утеплитель, вследствие этого должен иметь высокую адгезию к нему, кроме того, этот слой является защитным. Он должен покрывать достаточно тонким слоем утеплитель и обладать достаточно высокой сопротивляемостью к ударным нагрузкам и, кроме того, обеспечивать ровную поверхность для выполнения декоративной отделки.

Для обеспечения вышеизложенных требований необходимо разработать состав композиционных вяжущих для устройства предложенной нами системы. При разработке таких вяжущих будем исходить из соображений, что внутренний слой должен обладать хорошей адгезией к основанию и обеспечивать ровную поверхность, высокие прочностные показатели здесь не требуются, поэтому для создания композиционного вяжущего внутреннего слоя (КВв) принимаем соотношение цемента и наполнителя 1:3. Учитывая специфику работы наружного слоя,

разрабатываем композиционное вяжущее наружного слоя (КВн) с более высокими прочностными показателями принимаем соотношение цемента и наполнителя 1:1 [6, 16].

Композиционные вяжущие вещества получали путем совместного помола в лабораторной шаровой мельнице до удельной поверхности Sуд = 500 м²/кг из портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н производства ЗАО «Белгородский цемент», песков Шебекинского и Курского месторождений и суперпластифицирующих добавок Melflux1641F и Полипласт СП-1 с оптимальными дозировками.

При определении влияния композиционных вяжущих на свойства цементного теста были определены сроки схватывания, нормальная густота и активность вяжущих КВв и КВн в соответствии с требованиями ГОСТ (табл. 1).

Таблица 1

Физико-механические свойства полученных КВв и КВн

Вид вяжущих	НГ, %	Сроки схватывания, мин		Активность вяжущего, МПа	
		начало	конец	$R_{изг.}$	$R_{сж.}$
ЦЕМ I 42,5 Н	24,72	90	195	5,2	49,4
КВв	20,81	185	310	7,6	56,9
КВн	21,36	145	220	9,4	71,7

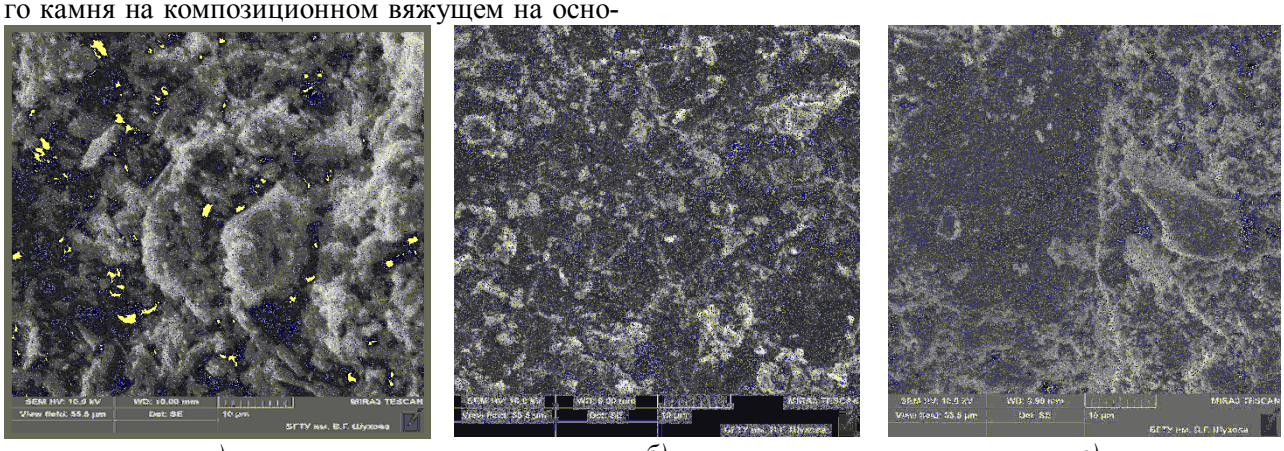
Изучение нормальной густоты цементного теста композиционных вяжущих показало, что у КВв показатель НГ снизился на 16 %, а у КВн на 14 % в сравнении с цементом.

Установлено, что использование суперпластификатора Melflux1641F позволяет получать примерно одинаковые пластифицирующие эффекты для КВв и КВн с сокращением расхода воды от 13 % до 15 % в зависимости от композиционных вяжущих.

Анализ физико-механических показателей свидетельствует, что прочность КВв составляет 56,9 МПа, что на 15 % выше прочности ЦЕМ I 42,5 Н, а прочность КВн увеличивается на 45 % и составляет 71,7 МПа, что свидетельствует о целесообразности их использования при выполнении многослойной теплоизоляционной системы.

Отмечается, что микроструктура цементного камня на композиционном вяжущем на основе КВн (рис. 3, в) для наружного слоя имеет более плотную равномерную структуру, лучшую пространственную упаковку частиц в композите, так как в этом композиционном вяжущем находится большая доля клинкерной составляющей в отличие от КВв. Выше изложенное прогнозирует получение повышенных показателей прочности затвердевшего композита (табл. 1) на основе КВн.

Уменьшение клинкерной составляющей в КВв (рис. 3, б) приводит к тому, что основная масса кристаллогидратов формируется из отдельных агрегатов. Контакт между такими агрегатами слабее, довольно часто они окружены поровым пространством. Характер этой структуры согласуется с данными физико-механических испытаний этого цементного камня.



а) *б)* *в)*

Рис. 3. Морфология новообразований цементного камня:
а – ЦЕМ I 42,5 Н; *б* – на основе КВв; *в* – на основе КВн

Нами были разработаны составы строительных растворов, представленные в (табл. 2). В качестве вяжущего применяли портландцемент и разработанные ранее композиционные вяжущие для внутренних и наружных слоев отделочных смесей (КВв и КВн), а в качестве заполнителей применяли кварцевые пески Шебекинского и Курского месторождения. Соотно-

шение между вяжущим и мелким заполнителем принималось 1:3 и В/Ц = 0,6.

Таблица 2

Составы и свойства строительных растворов на основе композиционных вяжущих в зависимости от вида заполнителя

Состав смеси		Плотность, кг/м^3	Прочность сцепления с основанием, МПа	Водоудерживающая способность, %	Коэффициент паропроницаемости мг/м·ч·Па	Предел прочности, МПа	
Вяжущее	Мелкий заполнитель					$R_{изг.}$	$R_{сж.}$
ЦЕМ I 42,5 Н	Шебекинский песок	1650	0,23	95,0	0,027	2,3	15,6
ЦЕМ I 42,5 Н	Курский песок	1580	0,21	93,1	0,021	2,1	13,2
КВв	Шебекинский песок	1795	0,27	95,2	0,035	2,9	19,4
КВв	Курский песок	1708	0,19	93,1	0,034	2,4	17,0
КВн	Шебекинский песок	1810	0,39	96,1	0,029	3,6	25,3
КВн	Курский песок	1778	0,21	93,7	0,027	2,9	20,6

Из полученных результатов (табл. 2) видно, что прочность и плотность строительных растворов приготовленных на различных композиционных вяжущих (КВв и КВн) с использованием различных заполнителей отличаются по сравнению с растворами на обычным цементе. Рассматривая влияние различных песков на полученные растворные композиции следует отметить, что Шебекинский песок во всех случаях способствует формированию более плотной структуры композита, что обеспечивает повышенные показатели предела прочности при сжатии и при изгибе. При использовании Шебекинского песка формируется более плотная, однородная растворная смесь, которая при последующей гидратации клинкерной составляющей не будет иметь дефектных зон вследствие наличия крупных частиц мелкого заполнителя.

Таким образом, разработанные составы композиционных вяжущих для отделочных растворов внутреннего и наружного слоев многокомпонентной теплоизоляционной системы на основе кремнеземистого компонента и пластифицирующей добавки, соответствуют техническим требованиям, предъявляемым к вяжущим для использования в строительных растворах и позволяют получать физико-механические и эксплуатационные свойства, удовлетворяющие выполнению строительных работ.

Приведенные выше результаты свидетельствуют, что полученные композиционные вяжущие технически эффективны. Кроме того, получение композиционных вяжущих с содержанием клинкерной составляющей 50% и 70% от общего объема вяжущего свидетельствует о существенной экономической и экологической эффективности технического решения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баженов Ю.М. Пути развития строительного материаловедения: Новые бетоны // Технологии бетонов. 2012. № 3-4 (68-69). С. 39-42.

2. Лесовик В.С. Архитектурная геоника // Жилищное строительство. 2013. №1. С. 9-12.

3. Беленцов Ю.А., Лесовик В.С., Ильинская Г.Г. Повышение надежности конструкций управлением параметрами композиционного материала // Строительные материалы. 2011. № 3. С. 90-92.

4. Беляев Е.В., Суслова М.Г. О развитии Российского рынка сухих строительных смесей // Строительные материалы, оборудование, техника XXI века. 2002. №11. С. 22–25.

5. Пучка О.В., Минько Н.И., Лесовик В.С. Высокоэффективные теплоизоляционные конструкционные материалы нового поколения // Научные и инженерные проблемы строительно-технологической утилизации техногенных отходов Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2014. С. 166-173.

6. Ильинская Г.Г. Сухие отделочные строительные смеси на композиционных вяжущих: дис. ... канд.а техн. наук: 05.23.05 / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород, 2012.

7. Агеева М.С., Лесовик Г.А., Шаповалов С.М., Михайлова О.Н., Тахиров С.З., Помошников Д.Д., Федюк Р.С. Влияние времени помола на свойства композиционного вяжущего // Вест-

ник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 4. С. 28-32.

8. Сулейманова Л.А., Кара К.А., Кондрашев К.Р., Гонта А.В., Ковалев С.Э. Анализ кинетики помола кварцсодержащих добавок для производства композиционных вяжущих // Научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Юрия Михайловича "Эффективные строительные композиты" Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород, 2015. С. 615-624.

9. Загороднюк Л.Х., Лесовик В.С., Гайнутдинов Р.М. Специфика твердения строительных растворов на основе сухих смесей // Научные и инженерные проблемы строительно-технологической утилизации техногенных отходов Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород, 2014. С. 93-98.

10. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Беликов Д.А., Щекина А.Ю., Куприна А.А. Эффективные сухие смеси для ремонтных и восстановительных работ // Строительные материалы. 2014. № 7. С. 82-85.

11. Толстой А.Д., Лесовик В.С., Ковалева И.А. Органоминеральные высокопрочные декоративные композиции // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. № 5. С. 67-69.

12. Чернышева Н.В., Муртазаев С.А.Ю., Аслаханова А.Х. Сухие строительные смеси на основе КГВ // Сухие строительные смеси. 2012. № 1. С. 12-13.

13. Агеева М.С., Лесовик Г.А., Калашников Н.В., Митрохин А.А. Закладочные смеси // Научные труды SWorld. 2014. Т. 9. № 2. С. 14-19.

14. 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.

15. Алфимова Н.И., Вишневская Я.Ю., Трунов П.В. Композиционные вяжущие и изделия с использованием техногенного сырья. Saarbruken. Изд-во LAP LAMBERT. 2013. 129 с.

16. Лесовик В.С., Савин А.В., Алфимова Н.И. Степень гидратации композиционных вяжущих как фактор коррозии арматуры в бетоне // Известия вузов. Строительство. 2013. №1. С. 28–33.

17. Лесовик В.С., Савин А.В., Алфимова Н.И., Гинзбург А.В. Оценка защитных свойств бетонов на композиционных вяжущих по отношению к стальной арматуре // Строительные материалы. 2013. №7. С. 56–58.

18. Алфимова Н.И., Вишневская Я.Ю., Трунов П.В. Оптимизация условий твердения композиционных вяжущих : монография. Германия: Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. 2012. 97 с. ISBN 978-3-8484-1919-7.

19. Елистраткин М.Ю., Минаков С.В. К вопросу выбора компонентов композиционных вяжущих. // В сборнике: Современные строительные материалы, технологии и конструкции. Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО «ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова». Изд-во Грозненский ГНТУ им. академика М.Д. Миллионщикова», г. Грозный. 2015. С. 365-370.

20. Вешнякова Л.А., Айзенштадт А.М., Елистраткин М.Ю. Поверхностная активность высокодисперсных кремнеземсодержащих компонентов композиционного вяжущего // В сборнике: Наукоемкие технологии и инновации Юбилейная Междунар. науч.-практ. конф., посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова (XXI научные чтения). 2014. С. 69-72.

21. Лесовик В.С., Куприна А.А., Елистраткин М.Ю., Гинзбург А.В. Композиционные вяжущие для эффективных строительных растворов: [Электронный ресурс] // Научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук, Баженова Юрия Михайловича. Белгород. 2015.

22. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Ильинская Г.Г. Теплоизоляционные многослойные системы для ограждающих конструкций на основе композиционных вяжущих // Архитектоника инженера В.Г. Шухова: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 160-летию со дня рождения В.Г. Шухова. М.: МАРХИ, 2013. С. 204-206.

Ilinskayia G.G., Sopin D.M., Bogusevich V.A., Lesovik G.A.,Cherkesov M.F.

DRY BUILDING FINISHING MIXTURES BASED COMPOSITE BINDERS FOR DEVICES THERMAL INSULATION SYSTEMS

T*he article discusses the use of composite knitting finishing solutions for both indoor and outdoor thermal insulation layers of a multi-component system based on silica component and plasticizer.*

***Key words**: dry construction mixtures, composite binders, thermal insulation.*

Строкова В.В., д-р техн. наук, проф.,
Баскаков П.С., аспирант,
Мальцева К.П., студент
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

УТОЧНЕНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА КРИТИЧЕСКОЙ ОБЪЕМНОЙ КОНЦЕТРАЦИИ ПИГМЕНТОВ В СОСТАВЕ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ*

edge1199@gmail.com

В работе исследованы физико-механические характеристики наполнителей и пигментов лакокрасочных материалов (ЛКМ) используемых при производстве материалов для внутренней отделки; уточнена методика расчета критической объемной концентрации пигментов в составе лакокрасочных материалов; разработан оптимальный состав многокомпонентной пигментной пасты с пониженным расходом пигмента, позволяющий достичь сплошного покрытия с высокой кроющей способностью.

Ключевые слова: *пигментная паста, ЛКМ, КОКП, ОКП, минеральные пигменты и наполнители.*

Введение. Рациональный подбор составов пигментных паст обусловлен, прежде всего, достижением максимальной кроющей способности при наименьшей толщине слоя, обеспечение необходимых специальных свойств (противокоррозионных, термостойких, огнезащитных и прочих) и экономической эффективностью.

В настоящее время высококачественные неорганические пигменты по стоимости сопоставимы с пленкообразователями, а в ряде случаев и превосходят их. Однако для получения необходимых декоративных и защитных свойств покрытий предпочитают использовать малые количества хотя и дорогостоящих, но высококачественных пигментов, дополняя их также высококачественными наполнителями. Если используется смесь пигментов, то экономически нецелесообразно добиваться высокой интенсивности для более дешевых пигментов, тогда как для дорогостоящих пигментов выгодна максимальная интенсивность.

Количественное соотношение между минеральными компонентами и пленкообразователем в покрытии определяется КОКП – критической объемной концентрацией пигмента.

КОКП играет важную роль в ЛКМ. В большинстве случаев при достижении КОКП наблюдается резкое изменение свойств покрытия. Чаще всего по мере увеличения содержания пигмента в покрытии большинство его свойств изменяется постепенно вплоть до достижения КОКП. Резкое изменение хода зависимостей большинства свойств покрытия от объемной концентрации пигмента (ОКП) в области КОКП объясняется тем, что при КОКП имеет место максимально плотная упаковка частиц пигмента, частицы пигмента контактируют друг с другом через адсорбционные оболочки полимером, а пространство между частицами заполнено пленкообразователем.

С ростом полидисперсности пигментной смеси КОКП может, как увеличиваться, так и уменьшаться, что вносит дополнительный характер неопределенности в определение численного показателя КОКП.

В тоже время при очень малых расстояниях между частицами (высокая ОКП) сблизившиеся частицы оказывают воздействие на световой поток как одна крупная частица, т. е. имеет место снижение эффективной частичной концентрации пигмента в пленке. Эффективная интенсивность пигмента также проходит через максимум вблизи КОКП.

Практические методы определения КОКП рядом авторов [1…3] сводятся либо к косвенному определению маслоемкости, свойств сформированного покрытия, либо объема осадка. При своей быстроте и простоте такие методы отличаются высокой неточностью в виду непостоянного дисперсного состава краски и многокомпонентного полифракционного состава пигментной пасты.

В данной работе уточнена методика расчета критической объемной концентрации пигментов и, с ее помощью, разработан оптимальный состав многокомпонентной пигментной пасты, применяемой в лакокрасочных материалах для внутренней отделки помещений с высоким показателем ОКП.

Методика. Для разработки составов пигментных паст и определения их КОКП были выбраны пигменты и наполнители, широко используемые на лакокрасочных предприятиях Белгородской области при разработке водно-дисперсионных ЛКМ для внутренней отделки: тальк, кальцит – в качестве наполнителей и рутил – в качестве пигмента белого цвета.

Для определения плотности упаковки частиц пигмента и наполнителей использовалась лабораторная центрифуга ОПН–8 закрытого ти-

па. В тарированную пробирку для центрифугирования помещали 5 г пигмента и добавляли воду до отметки. Содержимое тщательно перемешивали и фугировали до полного разделения смеси (30 мин.) Растворитель аккуратно сливали, и вновь наливали дистиллированную воду до метки, замеряя ее объем. По разности объемов пустой пробирки и объема воды над осадком вычисляли объем осадка в уплотненном состоянии. Кажущаяся плотность определяли как отношение массы навески к вычисленному объему. Плотность упаковки принимали равной отношению кажущейся плотности к истинной. Истинную плотность определяли пикнометрическим методом, установленным в ISO 787–10, наиболее приближенным к ГОСТ 21119.5–75. Полученные данные приведены в табл. 1.

Гранулометрический анализ проводили методом динамического светорассеивания с помощью лазерного дифракционного анализатора размера частиц Analysette 22 NanoTec Plus. В случае талька метод лазерной дифракции, определяющий средний диаметр сферы эквивалентного объема, не учитывает толщину частицы, в виду ее значительно меньшей величины по сравнению с другими линейными размерами. Для ее определения использовались данные электронной микроскопии (рис. 1), средний размер частиц находился как среднее арифметическое между тремя линейными размерами.

Микроструктурные особенности пигментов и наполнителей, а также пигментных паст на их основе (рис. 1) исследованы с использованием сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения TESCAN MIRA 3 LMU.

Основная часть.Для определения теоретического значения КОКП для монодисперсных сферических частиц в ряде источников [1…3] используется соотношение 1:

$$КОКП = \sigma\cdot[d/(d + \delta)]^3 \qquad (1)$$

где d – диаметр сферической частицы; δ – толщина адсорбционной оболочки; σ – доля объема занятого при максимально плотной гексагональной упаковке, которая составляет для сферических частиц 0,74.

В реальных условиях монодисперсная упаковка сферических частиц никогда не достигается и соотношение 1 не может быть использовано в практических целях. Так, в случае сухих порошков более 80 % объема пигмента составляет воздух, заполняющий пространство между частицами. Когда порошок пигмента смачивается растворителем, объем пространства между частицами сокращается благодаря смазке их поверхности и увеличению вследствие этого их подвижности относительно друг друга. Мелкие частицы занимают промежутки между крупными. Процесс диспергирования также способствует более плотной упаковке и упорядочению расположения частиц в пространстве. Среда, в которой диспергируется пигмент, частично адсорбируется (имеет место избирательная адсорбция ее компонентов), частично проникает в микропоры и полости частиц пигмента или его агрегатов и занимает промежутки между частицами. Поверхность частиц пигмента, распределенного в растворителе, покрыта адсорбционным слоем той или иной толщины, поэтому даже при максимально плотной упаковке частицы пигмента непосредственно не контактируют между собой.

При разработке составов краски с высоким ОКП, например, для внутренней отделки помещений, необходимо корректировать плотность упаковки полидисперсной смеси, состоящей, как правило, из некоторых относительно дешевых наполнителей и основного красящего пигмента. Также вызывает интерес расчет соотношения данных компонентов с целью максимального сближения частиц пигмента и наполнителя, что поможет усилить воздействие на световой поток, подобно одной крупной частицы пигмента. Все это поможет усилить эффективную интенсивность пигмента, улучшить укрывистость и непосредственно снизить расход дорогостоящих компонентов ЛКМ – пигментов и связующих.

При использовании многокомпонентной полидисперсной системы пигментов значение σ в соотношении (1) не соответствует используемому значению 0,74. В связи с этим нами предлагается уточнение соотношения (1) для известной плотности упаковки смеси пигментов и наполнителей некоторого зернистого состава:

$$КОКП=\sigma_{смеси}\cdot[d_{смеси}/(d_{смеси} + \delta)]^3 \qquad (2)$$

Для расчета плотности упаковки зерен в пигментной пасте заложен принцип бимодальных упаковок А.Н. Хархардина [4] взятый для каждого класса распределения зерен пигментов и наполнителей в смеси:

$$\sigma_{\text{n}} = \sigma_{\text{n-1}} + \frac{1-\sigma_{\text{n-1}}}{\left(\frac{\sigma_{\text{n-1}}}{\eta_{\text{n}}}\right)^k}\psi^m_{i,j} \qquad (3)$$

где σ_n – плотность упаковки смеси n компонентов; k – коэффициент раздвижки зерен, состоящий из $n–1$ фракций; $\psi^m_{i,j}$ – степень заполнения свободного объема в крупной фракции частицами мелкой классом m, для смеси из двух видов пигментов выбиралось в зависимости от d_n/d_1, согласно [5, табл. 6.1].

Для определения объемного вводимой фракции использовалось соотношение:

$$\varphi_{\text{n}} = (1-\sigma_{\text{n-1}})\frac{\eta_{\text{n}}}{\sigma_{\text{n-1}}}\left(\frac{\sigma_{\text{n-1}}}{\eta_{\text{n}}}\right)^{k}\cdot\sum_{i=1}^{n-1}\varphi_i \qquad (4)$$

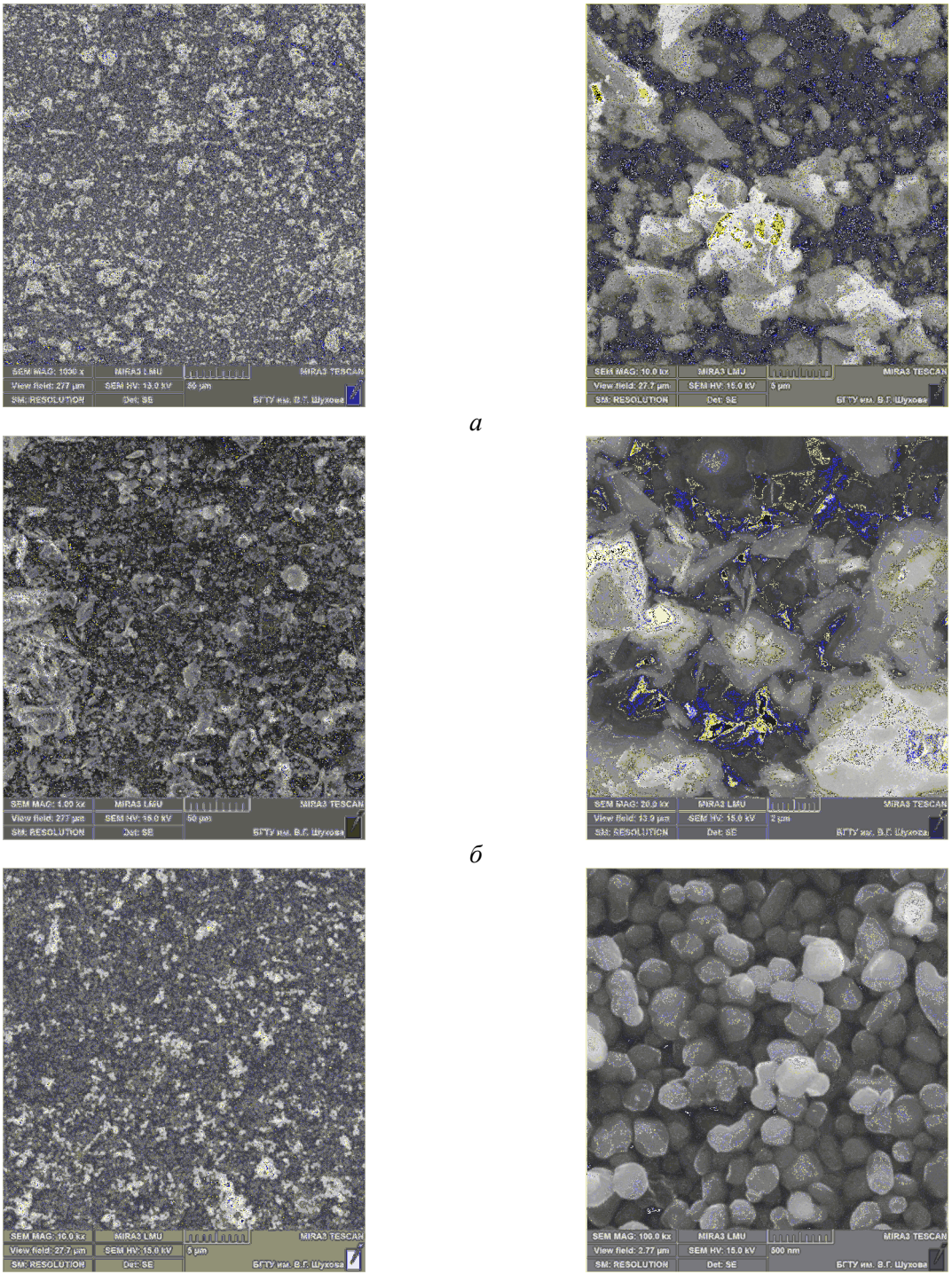
Согласно уточненной методике производится расчёт состава пигментной пасты на основе талька, кальцита и рутила.

Коэффициент раздвижки зерен *k* выбирался исходя из микроструктурных особенностей пигментов и наполнителей (рис. 1) и следующих принципов:

– повышенный расход кальцита, в виду его дешевизны (k = 0);

– пониженный расход рутила, в виду высокой дисперсности, округлой формы частиц, которую проще распределить по поверхности, и высокой стоимости (k = 4);

– уплотнение производить в направлении «кальцит – тальк – рутил», в порядке убывания размера частиц.



а

б

в

Рис. 1. Микроструктура используемых пигментов:
а – кальцит, *б* – тальк, *в* – рутил

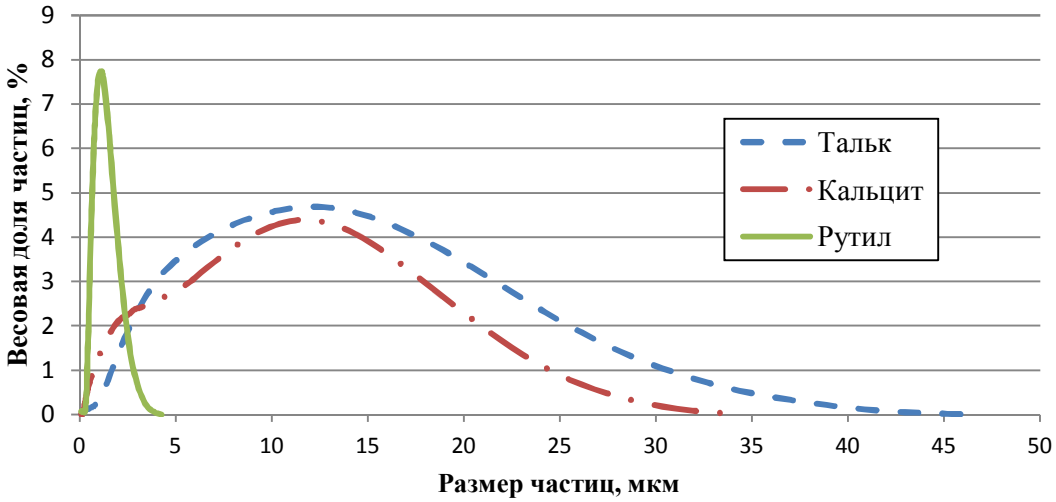


Рис. 2. Гранулометрический состав талька, кальцита и рутила

Для определения плотности упаковки частиц в смеси важную роль играет средний размер частиц. В результате исследования были получены данные распределения гранулометрического состава (рис. 2), на основе которого определен средний диаметр частиц (табл. 1).

Таблица 1

Физико-механические свойства пигментов и наполнителей

№ п/п	Свойство	Рутил	Тальк	Кальцит
1	Истинная плотность, ρ, г/см^3	4	2,45	2,5
2	Кажущаяся плотность, γ, г/см^3	2,5	7,2	1,35
3	Плотность упаковки, η = γ/ρ	0,625	0,262	0,5
4	Средний размер, d, мкм	1,17	6,72	7,56

Принимая за 100 объемных единиц (об.ед.) объем обогащаемой фракции кальцита, содержание талька в нем будет равно:

$$\varphi_{\text{Тальк}} = (1-\eta_{\text{Кальцит}})\frac{\eta_{\text{Тальк}}}{\eta_{\text{Кальцит}}}\left(\frac{\eta_{\text{Кальцит}}}{\eta_{\text{Тальк}}}\right)^{0}\cdot 100 = (1-0{,}5)\cdot 0{,}262/0{,}5\cdot 1\cdot 100 = 26{,}2 \text{ об.ед.} \quad (5)$$

Для $d_{\text{Тальк}} / d_{\text{Кальцит}} = 0{,}85$ класс системы m < 1 и $\psi^{<1}_{m,к} = (1-\eta_{\text{Тальк}})^3\cdot\eta_{\text{Тальк}}^3$. Плотность упаковки при этом равняется:

$$\sigma_2 = \eta_{\text{Кальцит}} + \frac{1-\eta_{\text{Кальцит}}}{\left(\frac{\eta_{\text{Кальцит}}}{\eta_{\text{Тальк}}}\right)^{0}}(1-\eta_{\text{Тальк}})^3\eta_{\text{Тальк}}^3 = 0{,}5 + (1-0{,}5)/1\cdot(1-0{,}262)^3\cdot 0{,}262^3 = 0{,}504 \quad (6)$$

Принимая за 126,2 об.ед. объем полученной смеси кальцита (100 об.ед.) и талька (26,2 об.ед.), количество вводимого рутила будет равно:

$$\varphi_{\text{Рутил}} = (1-\sigma_2)\frac{\eta_{\text{Рутил}}}{\sigma_2}\left(\frac{\sigma_2}{\eta_{\text{Рутил}}}\right)^{4}\cdot 126{,}2 = (1-0{,}504)\frac{0{,}625}{0{,}504}\left(\frac{0{,}504}{0{,}625}\right)^{4}\cdot 126{,}2 = 32{,}77 \text{ об.ед.} \quad (7)$$

Отношение размеров частиц вводимого рутила к смеси двух компонентов (тальк, кальцит) можно определить как:

$$\frac{d_{Рутил}}{d_{Смеси2}} = \frac{d_{Рутил}}{\dfrac{\varphi_{Кальцит}\cdot d_{Кальцит} + \varphi_{Тальк}\cdot d_{Тальк}}{\varphi_{Кальцит} + \varphi_{Тальк}}} = \frac{1{,}17}{\dfrac{100\cdot 7{,}56 + 26{,}2\cdot 6{,}72}{100 + 26{,}2}} = 0{,}158 \quad (8)$$

Для $d_{\text{Рутил}} / d_{\text{Смеси2}} = 0{,}158$ класс системы m = 6 и $\psi^{6}_{р,с2} = (1-\eta)\cdot\eta$ Плотность упаковки при этом равняется:

$$\sigma_3 = \sigma_2 + \frac{1-\sigma_2}{\left(\frac{\sigma_2}{\eta_{\text{Рутил}}}\right)^{4}}\psi^{m}_{i,j} = 0{,}504 + \frac{1-0{,}504}{\left(\frac{0{,}504}{0{,}625}\right)^{4}}(1-0{,}625)\cdot 0{,}625 = 0{,}78 \quad (9)$$

Средний размер частиц всей пигментной смеси будет равен:

$$d_{Смеси2} = \frac{\varphi_{Кальцит} \cdot d_{Кальцит} + \varphi_{Тальк} \cdot d_{Тальк} + \varphi_{Тальк} \cdot d_{Тальк}}{\varphi_{Кальцит} + \varphi_{Тальк} + \varphi_{Рутил}} =$$

$$= \frac{100 \cdot 7{,}56 + 26{,}2 \cdot 6{,}72 + 32{,}77 \cdot 1{,}17}{100 + 26{,}2 + 32{,}77} = 0{,}158 \qquad (10)$$

Массовые доли можно найти как произведение объемных долей компонентов на их плотности (табл. 2).

Таблица 2

Состав пигментной смеси

№ п/п	Ед. изм	Рутил	Тальк	Кальцит	Сумма
1	Об.ед.	32,77	26,2	100	158,97
2	Масс.ед	131,08	69,43	270	470,51
3	%масс.	27,86	14,76	57,38	100

Для получения на основе разработанной пигментной пасты лакокрасочного материала в данной работе была использована акриловая дисперсия с размером частиц 0,1 мкм. Согласно технологии производства, пленкообразующий раствор вводится на последней стадии при малых скоростях сдвига смесителя с целью не допустить разрушения мицелл. В связи с этим можно сказать, что толщина слоя адсорбированного полимера на поверхности δ численно приближается к размеру мицеллы. Вследствие вышесказанного КОКП пигментной пасты разработанного состава равна:

$$КОКП = 0{,}78 \cdot [6{,}1/(6{,}1 + 0{,}1)]^3 = 0{,}77 \qquad (11)$$

Выводы. В ходе разработки оптимального состава пигментной пасты с пониженным расходом пигмента и повышенной плотностью упаковки, и, как следствие, максимальной кроющей способностью, была выявлена возможность уточнения существующих зависимостей КОКП от среднего размера частиц в пигментной пасте. Расчетный КОКП подтверждается литературными данными и промышленными рецептурами водных ЛКМ для внутренних работ, составляющий обычно 0,8…0,7. Уточненная методика расчета может использоваться для разработки рецептур ЛКМ и составов пигментных паст на лакокрасочных предприятиях, на основе паспортных и литературных данных о пигментах и наполнителях и не требует проведения дополнительных НИР. Дальнейшего уточнения требуют только технологические свойства красок и эмалей, такие как реологические характеристики, пеногашение, биостойкость и прочие.

**Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках реализации Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова; с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Индейкин Е.А., Лейбзон Л.Н., Толмачев И.А. Пигментирование лакокрасочных материалов. Л.: Изд. Химия, 1986. 160 с.

2. Ермилов П.И., Индейкин Е.А., Толмачев И.А. Пигменты и пигментированные лакокрасочные материалы. Л.: Изд. Химия, 1987. 200 с.

3. Нечаев А.Ф., Стрельцова Т.П., Мухачева В.Д., Ломаченко С.М. Некоторые аспекты агрегативной устойчивости пигментных суспензий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. №2. С. 122–124.

4. Хархардин А.Н. Математические модели вложения и разбиения образований на элементы дискретности вещества // Известия вузов. Строительство. 2014. №4. С. 23–29.

5. Хархардин А.Н. Структурная топология дисперсных материалов. Белгород: Изд. БГТУ, 2011. 288 с.

Strokova V.V., Baskakov P.S., Maltseva K.P.

REFINEMENT OF METHOD OF CALCULATING THE CRITICAL PIGMENT VOLUME CONCENTRATION (C.P.V.C.) IN THE COMPOSITION OF PAINTS AND VARNISHES

We studied the physical and mechanical properties of extenders and pigments of paints (coatings) used in the production of materials for interior decoration; refined method of calculating the critical pigment volume concentration in the composition of paints and varnishes; was developed an optimal composition of multicomponent pigment paste with a reduced consumption of pigment, allowing to achieve full coverage with high hiding power.

Key words: *pigment paste, paint, coat, P.V.C., C.P.V.C., mineral pigments and fillers (extenders).*

Ядыкина В.В., д-р техн. наук, проф.,
Гридчин А.М., д-р техн. наук, проф.,
Траутваин А.И., канд. техн. наук, доц.,
Чистяков Ю.П., студент
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА НА ПРИМЕРЕ EVOTHERM, АЗОЛ 1007 И АДГЕЗОЛ 3-ТД

trautvain@bk.ru

В данной статье приведены результаты исследований физико-механических свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона, модифицированного добавками Evotherm, Азол 1007 и Адгезол 3-тд. Испытания образцов, заформованных в лабораторных условиях, проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 31015-2002.

Ключевые слова: *щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА), добавки для теплого асфальтобетона, битум, физико-механические характеристики.*

Работа выполнена в рамках конкурса 2015 года проектов ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого совместно РФФИ и Правительством Белгородской области согласно договора № НК 14-41-08027/14.

На сегодняшний день обеспечение ресурсосбережения является одной из важных задач повышения эффективности строительства и ремонта автомобильных дорог с асфальтобетонным покрытием.

Известно [1], что только при приготовлении асфальтобетонных смесей расходуется 40 – 50 % энергии от общего объема энергозатрат на строительство асфальтобетонного покрытия. В связи с этим, актуальным является применение «теплых» смесей, позволяющих снизить температуру приготовления и укладки асфальтобетонной смеси на 40…50 °С за счет использования новых технологий или химических энергосберегающих добавок [2].

Как показывает опыт работы [3], затраты на приобретение соответствующих добавок компенсируются за счет снижения затрат на производство смесей, связанных с уменьшением температуры нагрева каменных материалов, облегчением процессов перевозки, укладки и уплотнения смесей, в уменьшении вредных выбросов, которые влияют не только на окружающую среду, но и на здоровье рабочих. При идеальных условиях (сухие материалы и снижение температуры на 50°С) экономия может доходить до 30 %. В фактических цифрах она будет составлять в среднем порядка 50 руб. на тонну смеси, в зависимости от вида применяемого топлива.

Следующим преимуществом применения теплых асфальтобетонных смесей становится увеличение производительности АБЗ [3]. При сравнении этого показателя в классическом варианте с тем, в котором температура приготавливаемой смеси на 30 °С ниже, прирост производительности АБЗ составляет ориентировочно 9 %.

Еще одним немаловажным качеством становится экологичность технологии. При нагреве битум выделяет летучие органические соединения, которые влияют на окружающую среду и условия работы. При уменьшении температуры приготавливаемой смеси снижается выброс вредных веществ, и соответственно, меньше становятся затраты на экологию.

Для обеспечения расчетных скоростей и безопасности автомобильного движения, особенно на современных скоростных автомагистралях, необходимо иметь высокие эксплуатационные качества верхних слоев дорожных покрытий, при устройстве которых заслуживают особого внимания горячие щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси. Они обеспечивают высокие транспортно-эксплуатационные показатели, особенно на дорогах с тяжелым автомобильным движением [4].

Щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА) – это материал, разработанный специально для устройства верхних слоев покрытия на дорогах с высокой интенсивностью движения транспорта [5]. Жесткая скелетная структура из щебня обуславливает прекрасную сопротивляемость слоя пластическим сдвиговым деформациям, а наличие большого количества битумного вяжущего, который заполняет пространство между каменным материалом, делает щебеночно-мастичный асфальтобетон более долговечным материалом [6].

Оригинальная спецификация данного вида асфальтобетона позволяет производить его укладку тонкими слоями. Поэтому по сравнению с традиционными верхними слоями дорожных покрытий, ЩМА становится рентабельным, хотя и содержит в своем составе более дорогие и

качественные материалы [7]. При проведении исследований, направленных на измерение влияния энергосберегающих добавок на свойства ЩМА, были использованы следующие материалы:

– отсев дробления гранита Павловского карьера;

– минеральный порошок для асфальтобетонных и органоминеральных смесей ООО «Доломит»;

– щебень гранитный фракции 5…10 мм ЗАО «Кировоградгранит»;

– битум марки БНД 60/90 московского НПЗ ОАО "Газпромнефть-МНПЗ";

– стабилизирующая добавка Viatop-66;

– энергосберегающие добавки Evotherm, Азол 1007, Адгезол 3-тд.

При введении добавки Evotherm ее количество составляло 0,4 % от массы битума, присадки Азол-1007 и Адгезол-3 тд – 1,2 %. Целесообразность применения данных концентраций обоснована в работе [8]. Важно отметить, что все образцы асфальтобетона были приготовлены и заформованы при пониженной температуре:

– температура приготовления асфальтобетонной смеси была снижена на 30 % и составила 120…130 °С, в отличии от нормативных значений, равных 155…170 °С;

– температура формования лабораторных образцов была снижена на 40 % и составила 100…110 °С, в то время как по требованиям ГОСТ 31015-2002 [9] температура укладки должна находится в диапазоне 140…150 °С.

Результаты испытаний щебеночно-мастичного асфальтобетона с применением исходного и модифицированного битума энергосберегающими добавками представлены в таблице 1. Изменения физико-механических характеристик демонстрируют графики на рис. 1…3.

Как видно из таблицы 1, ЩМА на исходном и модифицируемом битуме полностью удовлетворяет нормативным требованиям ГОСТ 31015-2002 [9] по всем показателям. Высокие физико-механические показатели демонстрирует ЩМА на битуме без добавок, приготовленном по традиционной технологии. Одним из важных свойств ЩМА является стекание органического вяжущего в смеси, по результатам которого производят подбор состава композитов. Анализ представленных данных показал, что введение исследуемых добавок не оказало отрицательного воздействия на величину данного показателя, несмотря на то, что все добавки способствуют снижению вязкости исходного битума. Кроме того, при использовании модификатора Азол 1007 в составе смеси показатель её стекания не превысил 0,13 % в то время как значение контрольной смеси составляет 0,14 %.

Таблица 1

Физико-механические показатели ЩМА-10 на исходном и модифицируемом битуме

Наименование показателя	Требования ГОСТ 31015-2002	На исходном битуме	С добавкой Азол-1007	С добавкой Адгезол-3тд	С добавкой Evotherm
Средняя плотность, г/см^3		2,36	2,34	2,36	2,35
Пористость минерального остова, % по объему	от 15 до 19	17	16	15	15
Остаточная пористость, % по объему	от 1,5 до 4,5	3,9	2,1	1,6	1,5
Водонасыщение, % по объему	1,0-4,0	3,2	3,4	3,2	2,8
Предел прочности при сжатии, МПа, при температурах:					
20 ºС	2,2	4,2	3,8	3,4	3,0
50 ºС	0,65	1,5	0,8	0,68	0,67
Показатель стекания вяжущего, % по массе	Не более 0,2	0,14	0,13	0,14	0,15
Сдвигоустойчевость:					
коэф. внутр. трения	0,93	0,94	0,97	0,95	0,94
сцеп. при сдвиге при 50 ºС, МПа, не менее	0,18	0,47	0,27	0,26	0,27
Трещиностойкость: предел прочности на растяжение, при расколе, при температуре 0 ºС, МПа	2,5 - 6,0	3,8	3,6	3,4	3,0
Водостойкость при длительном водонасыщении, не менее	0,85	0,87	0,88	0,87	0,88
Сцепление битума с минеральной частью асфальтобетонной смеси	удовл.	удовл.	удовл.	удовл.	удовл.

ЩМА-10 на битуме, модифицированном Evotherm, по сравнению с традиционным ЩМА, демонстрирует минимальную остаточную пористость и водонасыщение, значение которых составили 1,5 и 2,8 % соответственно.

Однако как видно из диаграммы, представленной на рисунке 1, показатели предела прочности при сжатии образцов снизились довольно значительно до значений равных 2,98 и 0,67 МПа соответственно. Так при 20 °С изменения составили 29 %, при 50 °С – 55 %, из чего следует, что показатель прочности при высокой температуре проходит по нижней границе требований ГОСТ 31015-2002 [9]. В свою очередь, это отразилось и на сцеплении при сдвиге ЩМА, определяемое так же при 50 °С, значение которого составило 0,27 МПа. В то время, как для асфальтобетона на исходном органическом вяжущем величина показателя достигает 0,47 МПа. Возможно, это связано с тем, что температура приготовления и укладки была снижена.

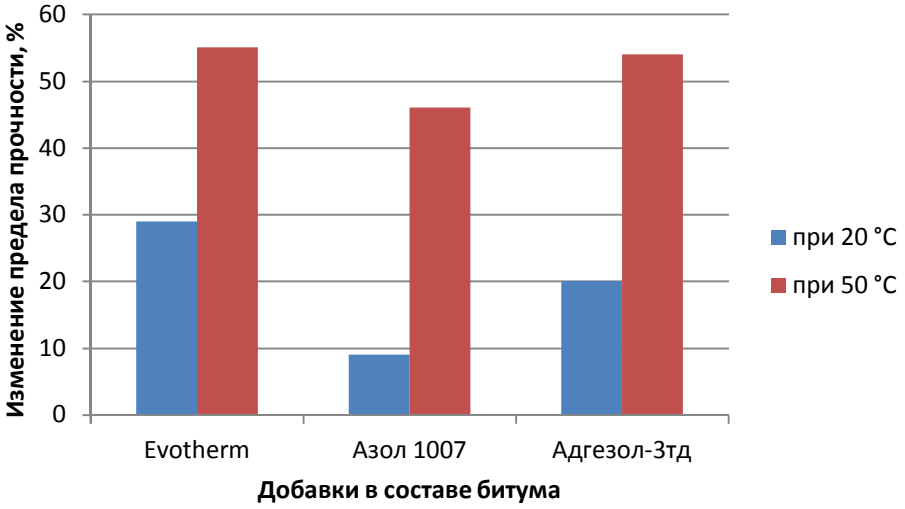


Рис. 1. Изменение пределов прочности при сжатии образцов ЩМА-10 на модифицируемом битуме по сравнению с композитом на исходном органическом вяжущем

Трещиностойкость композита на импортной добавке так же значительно уменьшилась, по сравнению с ЩМА на не модифицированном битуме. Ее использование привело к падению данного показателя на 23 %, значение которого составило 2,94 МПа, а показатель стекания ЩМАС, коэффициент внутреннего трения и водостойкость образцов исследуемого асфальтобетона не изменились.

Введение Азол 1007 в состав асфальтобетона так же уменьшает остаточную пористость ЩМА относительно исходного состава смеси на 46 %. Значения предела прочности при 50 °С ЩМА с использованием добавки Азол 1007 составляет 0,8 МПа, а показатель ЩМА без добавки – 1,5 МПа, из чего можно заключить, что ее применение, в составе исходного битума, приводит к снижению данного показателя на 47 %. Значения предела прочности при 20 °С с введением добавки Азол 1007 в состав битума изменились незначительно – на 9 %.

Следует отметить, что добавка Evotherm в составе битума приводит к более высокому падению предела прочности ЩМА-10 при 0 °С, в пределах 20 %, а присадка Азол 1007 – 9 %. Из вышеизложенного можно сделать вывод, что добавка Азол 1007 обеспечит высокую эксплуатационную надежность покрытия.

Показатель сцепления при сдвиге при 50°С с введением добавки Азол 1007, как и в случае применения импортной присадки Evotherm, составил 0,27 МПа. При этом сцепление при сдвиге композита на вяжущем, модифицированном Азол 1007, уменьшилось на 43 %, по сравнению с показателем ЩМА на исходном битуме.

Остальные физико-механические показатели ЩМА, в том числе трещиностойкость и водонасыщение с введением Азол 1007 изменяются незначительно – в пределах 10 %.

Анализ результатов физико-механических характеристик ЩМА на битуме, модифицированном добавкой Адгезол 3-тд, показал, что при ее введении остаточная пористость изменяется на 57 %, пределы прочности при сжатии образцов асфальтобетона снижаются: при 20 °С – на 20 %, при 50 °С – на 53 % до значений равных 3,4 и 0,68 МПа соответственно. Показатель трещиностойкости в присутствии присадки уменьшился на 11 % и составил 3,4 МПа. Сцепление при сдвиге, по сравнению с ЩМА на традиционном вяжущем снизилось на 45 %.

Изменение таких показателей как стекание ЩМАС, коэффициент внутреннего трения, водонасыщение и водостойкость образцов в присутствии добавки Адгезол 3-тд изменились незначительно – в пределах 10 %.

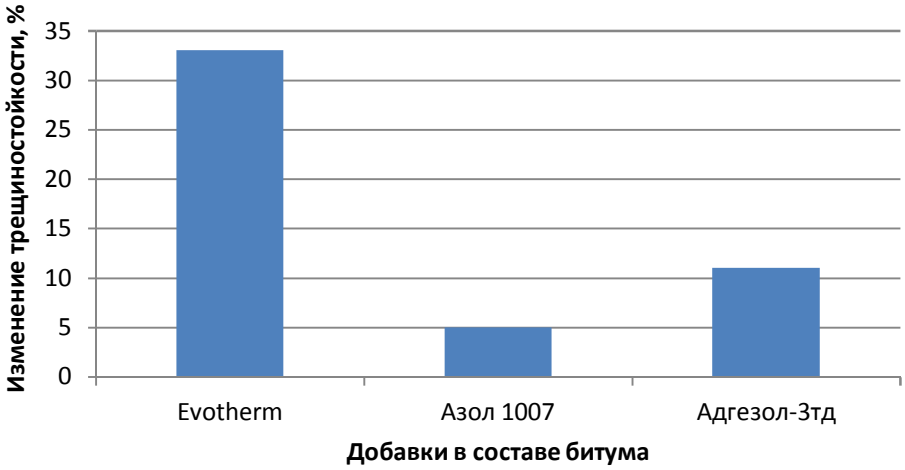


Рис. 2. Изменение трещиностойкости образцов ЩМА-10 на модифицируемом битуме по сравнению с композитом на исходном органическом вяжущем

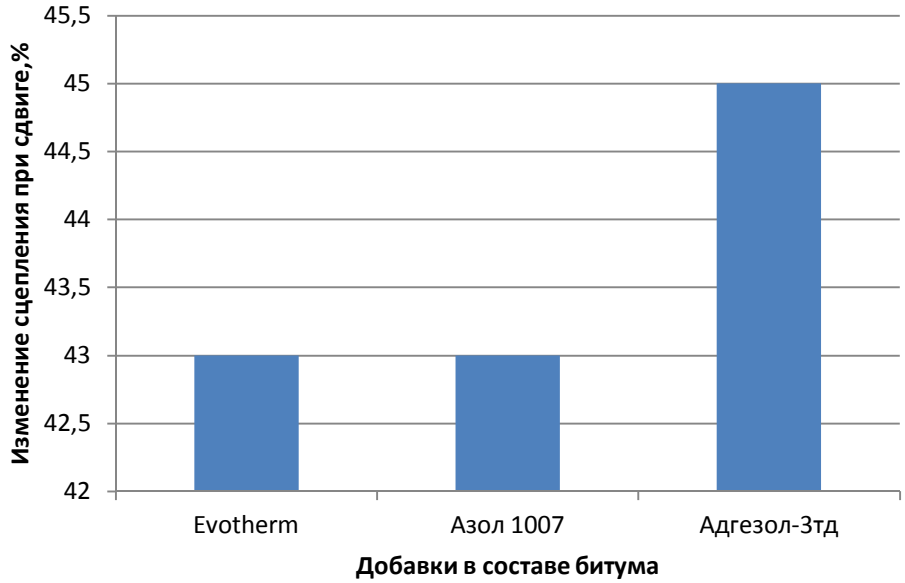


Рис. 3. Изменение сцепления при сдвиге образцов ЩМА-10 на модифицируемом битуме по сравнению с композитом на исходном органическом вяжущем

Таким образом, представленные результаты дают основание для использования добавок, позволяющих снизить температуру приготовления и укладки асфальтобетонной смеси, в составе ЩМА при устройстве верхних слоев покрытия автомобильных дорог.

Выводы. 1. Анализ полученных данных показал, что введение добавок Evotherm, Азол 1007 и Адгезол 3-тд в состав исходного битума приводит к снижению пределов прочности при сжатии при различных температурах. Причем максимальная интенсивность падения наблюдается при испытаниях образцов при 50°С.

2. Трещиностойкость ЩМА на битуме, модифицированном добавками, так же уменьшается. В присутствии добавки Evotherm изменение составило 33 %, с введением добавок Адгезол 3-тд и Азол 1007 - 11 и 5 % соответственно.

3. Анализируя сдвигоустойчивость асфальтобетонных образцов, следует отметить, что введение исследуемых присадок приводит к падению сцепления при сдвиге, что может отразиться на эксплуатационной надежности покрытия в летний период. Так добавка Адгезол-3тд снижает показатель на 45 %, а присадки Азол 1007 и Evotherm на 43 %.

4. Такие свойста как пористость минерального остова, показатель стекания, коэффициент внутреннего трения, водостойкость при длительном водонасыщении на фоне ЩМА с использованием исходного битума изменяются незначительно.

5. Максимальное снижение остаточной пористости и водонасыщения образцов композита на фоне традиционного ЩМА наблюдается при использовании добавки Evotherm. Применение отечественных аналогов Адгезол 3-тд и Азол 1007 привело к существенному уменьшению остаточной пористости образцов на 57 и 47 % соответственно и незначительному увеличению водонасыщения.

Таким образом, введение исследуемых добавок в состав ЩМА допускает снижение температуры приготовления и укладки асфальтобетонной смеси на 30…50 %, соответствуя при этом нормативным требованиям ГОСТ 31015-2002 [9]. Наилучшие показатели демонстрирует добавка Азол 1007, что гарантирует приготовление более качественной смеси на ее основе, чем при использовании импортной присадки Evotherm или отечественного аналога Адгезол-3тд.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Доценко А.И., Руденский А.В. Разработка и внедрение комплекса ресурсосберегающих технологий строительства дорожно-транспортных сооружений повышенной долговечности // Дороги и мосты. 2011. №1. С. 38-45.

2. Радовский Б.С. Технология нового теплого асфальтобетона в США // Дорожная техника. 2008. С. 24-28.

3. Проказов Н.А. Возвращение теплого асфальтобетона // Автомобильные дороги. 2014. №5. С. 100-103.

4. Лукаш Е.А., Кузнецов Д.А., Бабанин М.В. Эффективные асфальтобетонные смеси с использованием модифицированных наполнителей // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. №6. С. 57-60.

5. Броницкий Е.И. Использование щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси при капитальном ремонте участков автомобильной дороги Москва – Санкт – Петербург (км 29 – км 62, км 72 км – 85) // Науч.-техн. информ. сб.: «Новости в дор. деле». 2003. Вып. 1. С. 22-32.

6. Кирюхин Г.Н. Строительство дорожных и аэродромных покрытий из щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей // Автомоб. дороги и мосты: Обзорн. Информ. М.: Информавтодор, Вып. 2. 2003. 96 с.

7. Ядыкина В.В., Гридчин А.М., Траутваин А.И., Юрьев П.С. Влияние стабилизирующих добавок из отходов целлюлозно-бумажной промышленности на свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. №6. С. 7-11.

8. Траутваин А.И., Ядыкиной В.В., Земляковой Д.В., Чистяков Ю.П. / Влияние добавок Evotherm, Азол 1007 и Адгезол 3-тд на свойства битума // Дороги и мосты. 2015. №2. С. 230-233.

9. ГОСТ 31015-2002. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно- мастичные. Технические условия. Введ. 17.10.2002. М.: СоюздорНИИ. 28 с.

Yadykina V.V., Gridchin A.M., Trautvain A.I., Chistyakov Y.P.

EFFECT OF ENERGY SAVING ADDITIONS EVOTHERM, AZOL 1007 AND ADGEZOL 3-TD ON PROPERTIES OF STONE MASTIC ASPHALT CONCRETE

This article presents the results of studies of physical and mechanical properties of the stone mastic asphalt concrete modified with additives EVOTHERM, AZOL 1007 and ADGEZOL 3-TD. Tests of samples molded into the laboratory, conducted in accordance with the requirements of state educational standard 31015-2002.

***Key words**: stone mastic asphalt (SMA), additives for warm asphalt concrete, bitumen, physical and mechanical properties.*

Сулейманова Л.А., д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ЭНЕРГИЯ ВНУТРЕННИХ СВЯЗЕЙ В МАТЕРИАЛЕ – ОСНОВА ЕГО ПРОЧНОСТИ, ДЕФОРМАТИВНОСТИ И СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ РАЗЛИЧНЫМ ФАКТОРАМ

ludmilasuleimanova@yandex.ru

Проведенные исследования расширяют представления об энергии внутренних связей в материале как основе его прочности, деформативности, целостности и сопротивляемости различным факторам (совместному воздействию внешних нагрузок и (или) окружающей среды), о пределах технических возможностей, прочности и физической сущности процесса разрушения бетона, что позволит проектировать надежные и экономичные железобетонные конструкции различного назначения.

***Ключевые слова**: прочность, бетон, интегральная характеристика бетона.*

Прочность – это основной показатель качества бетона, определяющий надежность и экономичность бетонных и железобетонных изделий, конструкций и сооружений.

Наши исследования [1…4] показывают, что прочность является интегральной характеристикой бетона, оценивающая материал в комплексе, начиная с образования твердого тела и заканчивая сопротивлением разрушению. Существующее определение прочности бетона как способности сопротивляться разрушению или необратимому деформированию от воздействия внешних сил или внутренних напряжений и окружающей среды является неточным и не отражает самой сущности явления. Прочность бетона – это не способность материала сопротивляться разрушению, а эту способность он приобретает благодаря наличию прочности. В действительности, прочность – это основная характеристика бетона, определяемая величиной устойчивых внутренних связей между составляющими компонентами и его структурой, обеспечивающих целостность материала, тождественность самому себе и способность сопротивляться разрушению или необратимому деформированию от воздействия различных факторов (внешних нагрузок и (или) окружающей среды). А по сути дела фактическая прочность бетона – это интегральная величина энергии внутренних связей в материале с конкретной структурой. В связи с этим прочность бетона можно измерять не только в МПа, но и в Дж/см^3, что, на наш взгляд, более правильно, поскольку точнее отражается суть явления. При идеальной структуре бетон должен достичь теоретической прочности, которая значительно выше реальной. В соответствии с нашими исследованиями энергию связи между атомами химических элементов в бетоне можно оценивать модулем упругости, который, по сути дела, представляет собой напряжение, возникающее в единичном сечении материала при относительном смещении атомов или молекул от их оптимального положения, равном единице, если бы при этом закон Гука не нарушался и образец не разрушался. Поэтому, модуль упругости можно использовать для расчета теоретической прочности бетона. По данным разных исследователей теоретическая прочность разных материалов составляет от 5 до 20 % от их модулей упругости, в среднем принята величина 10 %. С учетом этого порядок величины теоретической прочности бетона, например, класса В60 в среднем составляет 4000 МПа (Дж/см^3), а реальной – 77 МПа (Дж/см^3) при коэффициенте вариации прочности 13,5 %. Разница весьма значительная и связана с большой дефектностью и неоднородностью структуры бетона на микро- и макроуровнях, которую можно оценивать по соотношению теоретической прочности к реальной. Чем больше это соотношение, тем несовершеннее структура материала.

Величина прочности оценивается ее пределом. Предел прочности бетона определяется той нагрузкой и конкретным режимом ее приложения, при которых объем микроразрушений в материале достигает критического значения, после чего начинается спонтанное разделение образцов на отдельные части, каждая из которых обладает определенной прочностью. Критический объем микроразрушений в бетоне оценивается величиной работы, которая необходима для разрушения материала единичного объема «$A_р$» [2]. Исходя из определения, предел прочности бетона зависит от режима приложения нагрузки. А это значит, что в зависимости от режимов, при которых испытываются образцы, один и тот же бетон может иметь разные значения предела прочности. Чтобы исключить неопределенность и установить единый для всех предел прочности, используемый для практических целей (при проектировании конструкций,

для сравнительной оценки различных бетонов и т.д.), режим испытания бетонных образцов регламентирован ГОСТ 10180, в соответствии с которым определяется стандартный предел прочности бетона при скорости приложения нагрузки 0,4…0,6 МПа/с. С повышением скорости нагружения предел прочности увеличивается, а с понижением – уменьшается и достигает предела длительной прочности бетона. Предел технических возможностей бетона можно оценивать также величиной той удельной работы «A_p», которую необходимо затратить для достижения в материале критического объема микроразрушений, после чего начинается спонтанное разделение образцов на отдельные части, каждая из которых обладает определенной прочностью. Значение «A_p» можно рассчитать по формуле:

$$A_{\text{p}} = \int_0^{\varepsilon} Rd\,\varepsilon.$$

Анализ экспериментальных данных многих ученых показывает, что с изменением режима испытания образцов меняются прочность и величина разрушающей деформации бетона, но таким образом, что с приемлемой для практики погрешностью «A_p» является постоянной величиной для конкретного вида, состава бетона и вида нагрузки при условии отсутствия упрочнения его во времени и не зависит от режима испытания образцов. Это значит, что при каких бы режимах нагружения не испытывались образцы из конкретного бетона, они разрушаются только при достижении предельного значения «A_p». Другой вид неупрочняющегося бетона конкретного состава при прочих равных условиях будет иметь свой предел технических возможностей, которые будут увеличиваться с его упрочнением [1, 2].

Если исходить из того, что прочность – это интегральная величина энергии внутренних связей в твердом теле, то значит прочность – это объективная, общая количественная мера существования различных форм вещества. Состояние вещества определяется количеством энергии, которая связывает составляющие компоненты в единое целое, и прочностью этой связи. Если, например, величина энергии связи основных минералов цементного камня $3CaO{\cdot}SiO_2$, $2CaO{\cdot}SiO_2$, $3CaO{\cdot}Al_2O_3$, $4CaO{\cdot}Al_2O_3{\cdot}Fe_2O_3$ и $3CaO{\cdot}Al_2O_3{\cdot}6H_2O$ равна соответственно 5239,2; 4139,3; 6246,6; 9715,5 и 12062,4 кДж/моль, то это твердое состояние вещества. Если энергия связи между молекулами составляет 40…80 кДж/моль, то это жидкое состояние вещества. Для газообразного состояния энергия связи между молекулами равна всего 8…16 кДж/моль. Прочность связи между элементарными частицами в твердом теле на три порядка выше по сравнению с величиной связи между молекулами вещества в газообразном состоянии. Следовательно, если между атомами химических элементов или исходными сырьевыми компонентами не достигнут соответствующий уровень прочности связи, то образование твердых тел невозможно. Поэтому прочность является критерием образования твердого вещества. Есть прочность – значит все элементарные частицы, составляющие материал, связаны прочными химическими и физико-механическими связями в единое целое, в твердое тело со всеми его свойствами. Нет прочности – значит, нет связей между элементарными частицами, нет и твердого тела.

С приобретением целостности и прочности бетон приобретает и способность сопротивляться различным разрушающим факторам, потому что последние стремятся разрушить связи между элементарными частицами, а внутренняя энергия притяжения между ними, определяющая его прочность, препятствует этому. При этом бетон и цементный камень рассматриваются как крайне дефектные пространственные системы, состоящие из огромного количества разнородных по природе, свойствам и размерам блоков соединений химических элементов, связанных внутри и между собой неравными химическими и физико-механическими связями. Но главная роль принадлежит химическим связям, поскольку бетон представляет собой водостойкий и упрочняющийся во времени материал, что возможно только при превалировании химических связей. В соответствии с положениями науки о сопротивлении материалов, если к любому твердому телу прикладывается одноосная вертикальная сжимающая нагрузка, то в горизонтальном направлении в материале никаких напряжений не возникает, то есть вообще не принимается во внимание тот факт, что структура материала реагирует на внешние воздействия и сопротивляется им. В противоположность этому О.Я. Берг, Ю.В. Зайцев и другие ученые на основе своих исследований утверждают, что в рассматриваемом случае в бетоне возникают в горизонтальном направлении растягивающие напряжения, которые и являются причиной его разрушения. На наш взгляд, растягивающих напряжений, перпендикулярных действию вертикальной одноосной сжимающей нагрузки,

в материале возникать не может, потому что в этом направлении никаких растягивающих сил к образцу не прикладывается. Наши исследования показывают, что в действительности все обстоит несколько иначе, если рассматривать, как сложная физическая структура материала сопротивляется нагрузке, каковы основы и закономерности этого сопротивления. Если на систему не действует нагрузка, то она находится в равновесном состоянии. Как только под воздействием внешних сил структурные элементы системы смещаются со своего энергетически выгодного положения, то в ней возникает внутреннее объемное напряженное состояние стяжения или расширения при действии соответственно растягивающих или сжимающих нагрузок, то есть мгновенно в структуре материала возникает адекватная реакция сопротивления внешней нагрузке. Таким образом, структура твердого тела типа бетона всегда активно сопротивляется внешним воздействиям. В ней, независимо от того, действует ли одно-, двух- или трехосная нагрузка, всегда возникает напряженное состояние объемного стяжения или расширения как результат взаимодействия между собой элементов структуры [2, 3]. С повышением уровня нагрузки в структуре бетона в дефектных и ослабленных местах концентрируются большие напряжения. Они достигают таких значений, при которых происходит разрыв связей между элементарными частицами, нарушение сплошности структуры материала и появление микротрещин. Место возникновения первой микротрещины и распределение микротрещин в объеме материала определяются вероятностными законами. Там, где возникают микротрещины, напряжения снижаются и перераспределяются на другие, менее нагруженные структурные элементы, что стимулирует появление микротрещин на соседних участках и так далее, то есть с появлением и развитием микротрещин напряженное состояние в структуре бетона динамично меняется. С повышением нагрузки и времени ее действия увеличиваются количество и размеры микротрещин, некоторые из них сливаются друг с другом, в результате происходит разделение объединенными микротрещинами целостного объема образцов на слабо связанные между собой микрообъемы, что ослабляет в целом их сопротивление нагрузке. Это подтверждают и наши опыты, в которых кубы размером 10×10×10 см, изготовленные из раствора состава 1:1 = Ц:П (по массе, В/Ц = 0,4), в свежеотформованном состоянии разрезались струной на две и три части. После твердения в условиях лаборатории в течение 20 сут они испытывались в таком нецелостном состоянии, то есть с искусственными вертикальными трещинами по высоте кубов, на сжатие по стандартной методике параллельно с контрольными (сплошными кубами). Результаты испытаний показали, что прочность кубов, разделенных искусственными трещинами на две и три части, оказалась ниже прочности контрольных кубов соответственно на 18…30 и 26…50 %. Это значит, что если бетонные образцы будут разобщены сплошными вертикальными трещинами на две или три части, то они в таком состоянии способны еще сопротивляться внешней нагрузке, хотя в целом их предел прочности снижается на 18…50 % в зависимости от момента разрезания образцов на части. Как показывают исследования, в бетоне с неоднородной структурой на микро- и макроуровнях напряжения в сечении, перпендикулярном направлению действия внешней сжимающей, например одноосной нагрузки, по известным причинам распределяются весьма неравномерно – на одних участках они больше, на соседних – меньше. Причем эта разница может быть значительной, особенно при существенном различии между физико-механическими свойствами материалов на соседних участках (например, гранитный заполнитель – цементный камень, кристаллическая и гелевая составляющие цементного камня и т.д.). В соответствии с положениями сопротивления материалов именно при такой схеме действия нагрузки возможно разрушение от сдвига. Следовательно, в нагруженной неоднородной структуре бетона создаются все предпосылки для возникновения сдвигающих напряжений в очень большом количестве микрообъемов и развития в этих местах (зоне контакта) микротрещин и по сдвиговому механизму на всех уровнях структуры, что подтверждается опытом [5, 6]. При воздействии на бетон одноосной сжимающей нагрузки наряду с расширением наблюдается сильное его сжатие вследствие того, что сжимающие напряжения во много раз превышают расширяющие, а это приводит к уменьшению объема образцов. Этому способствует также то, что бетон представляет собой капиллярно-пористое тело, а поэтому происходит уплотнение материала по причине сплющивания пор и капилляров, смыкания трещин и несплошностей, ползучести бетона и т.д. По этим причинам с увеличением сжимающей нагрузки наблюдается уменьшение

объема, например, цементного камня, вплоть до разрушения образцов [7]. Бетон ведет себя аналогичным образом до определенного уровня нагрузки, когда материал достигает наибольшей плотности и наименьшего объема, после чего наблюдается его разуплотнение и увеличение объема [8]. Можно полагать, что при действии одноосной растягивающей нагрузки будет наблюдаться иная картина. При дальнейшем увеличении нагрузки микроразрушения развиваются по ранее описанным законам, взаимодействуют между собой в объеме бетона и образуют единый объемный разрушительный процесс, протекающий с определенной скоростью, в результате которого формируются те элементы структуры, на которые в итоге разделяется материал. Как только объем микроразрушений достигает критической величины, бетон распадается на отдельные части.

При действии на бетон постоянной длительной нагрузки в процессе его неупругого деформирования увеличиваются размеры и объем возникших микротрещин. Если действующая нагрузка не превышает предела длительной прочности бетона, то объем микроразрушений в материале не достигает критического значения, и разрушительный процесс постепенно затухает. Если же нагрузка превышает предел длительной прочности бетона, то в процессе длительного деформирования объем микроразрушений в материале через определенный промежуток времени достигает критического значения, и он разрушается. Чем выше уровень нагрузки, тем меньше требуется времени до достижения момента разрушения бетона. Та внешняя нагрузка, при которой объем микроразрушений в бетоне через весьма длительный, требуемый промежуток времени достигает критического значения, называется пределом длительной прочности бетона. Предел длительной прочности бетона зависит от многих факторов, в том числе от его деформативности. Так, для полимербетона, обладающего повышенной длительной деформативностью, предел длительного сопротивления равен (0,5…0,6) $R_{крат}$ (в зависимости от вида вяжущего), а цементного бетона с меньшей деформативностью – (0,75…0,85) $R_{крат}$ [1, 2].

Начиная с Гриффитса и по настоящее время разрушительный процесс оценивается суммарной критической длиной микротрещин, при достижении которой бетон распадается на части [6]. Однако каждая трещина в момент ее образования имеет длину, ширину и глубину. Эти ее параметры в равной степени влияют на разрушение материала. Поэтому нельзя объемный разрушительный процесс оценивать только длиной микротрещин, так как даже при одноосной внешней сжимающей нагрузке на бетон в нем возникает внутреннее объемное напряженное состояние расширения, которое вызывает развитие микротрещин в трех направлениях – в направлении длины, толщины и глубины, а в целом и объема. Поэтому более надежно и обоснованно процесс разрушения бетона оценивать объемом микротрещин или микроразрушений, который можно охарактеризовать удельной работой, необходимой для разрушения материала «$A_р$».

Для реального бетона процесс его разрушения объемный и временной, то есть не мгновенный, а развивающийся во времени с определенной скоростью. При этом, как подтверждают опыты, с повышением однородности, прочности и снижением дефектности структуры бетона повышаются нижний и верхний пределы микротрещинообразования, а, следовательно, уменьшается продолжительность разрушительного процесса. С теоретической точки зрения для бетона с идеальной структурой и однородностью разрушительный процесс должен быть также объемным, но мгновенным, то есть разрушение образцов должно происходить при достижении теоретической прочности мгновенно по всему объему.

Как известно, на прочность и характер разрушения бетона оказывают влияние форма и размеры испытываемых образцов. Меньшие по размерам образцы показывают большую прочность, а призмы – меньшую по сравнению с кубиковой. При этом призменная прочность наиболее достоверно отражает прочность бетона в конструкциях, потому что исключается опорное трение образца о плиты пресса, да и сама призма – это, по сути дела, тоже конструкция, более близкая по форме к стойкам или колоннам. А поэтому призменная прочность и используется при расчете бетонных и железобетонных изделий. Но при исследовании прочности бетона как материала правильнее, на наш взгляд, применять стандартные кубы, так как при испытании призм определяется не только прочность бетона без влияния опорного трения, но и конструкции с определенными формами и размерами. Разрушение же конструкций часто происходит по одной плоскости. В итоге, на результаты определения прочности и характер разрушения материала оказывают существенное влияние форма и размеры призм, что нежелательно. Кроме того, на характер разрушения образцов влияют также прочность и однородность бетона, режим

приложения нагрузки и другие факторы. В наших опытах при испытании стандартных бетонных образцов с прочностью порядка 150 МПа по стандартной методике они всегда при разрушении распадались на значительное количество частей небольших размеров. С учетом вышеизложенного нельзя согласиться с выводами о том, что разрушение бетонных образцов обязательно заканчивается образованием одной магистральной трещины. Такой вариант возможен при определенных условиях, но больше проявляется при разрушении конструкций. Иной характер разрушения наблюдается при испытании стандартных кубов как без, так и с опорным трением, особенно из высокопрочных бетонов. Поэтому правильнее говорить об образовании при разрушении бетонных кубов нескольких значительных трещин, разделяющих образцы на части, или лучше о поверхности разрушения. Поскольку разрушение всегда происходит по наиболее слабым местам, то поверхность разрушения вычерчивает эти места и по ним разделяет материал на элементы структуры с меньшей дефектностью и большей прочностью.

Как указано выше, целостность бетона, его тождественность самому себе, способность сопротивляться разрушению от воздействия различных разрушающих факторов обеспечивается его прочностью. Если он обладает достаточно высокой интегральной величиной энергии внутренних связей, устойчивых в данных условиях, малодефектной плотной структурой, то он будет успешно сопротивляться, противостоять любым без исключения воздействиям, что и подтверждают исследования ученых [5, 9…11].

Экспериментально установлено, что в сравнимых условиях между В/Ц, морозостойкостью, коррозионной стойкостью и прочностью бетона существует идентичная зависимость – с уменьшением В/Ц прочность и стойкость бетона в условиях действия мороза, агрессивных сред и других факторов возрастают. А поэтому прочность бетона является критерием оценки состояния бетона и железобетонных конструкций, работающих в различных условиях: при попеременном увлажнении и высушивании, замораживании и оттаивании, воздействии разных агрессивных сред. Это единственно надежный и прямой критерий, по которому можно судить о степени разрушения структуры материала и его остаточных потенциальных возможностях.

Бетон эксплуатируется в различных условиях, которые оказывают на него весьма большое влияние. В нормальных условиях прочность бетона возрастает, а в агрессивных – снижается. Нормальная среда – это условия, благоприятные для упрочнения материала. В этом случае говорят о прочности бетона. Агрессивная среда – это условия, разрушающие бетон. В этом случае говорят о морозостойкости или коррозионной стойкости бетона, хотя оценивается его состояние по изменению прочности. Такой подход, на наш взгляд, противоречив и неправомерен. Во всех случаях речь идет о прочности бетона, но работающего в различных условиях: в нормальной, хлорной, щелочной, углекислой, магнезиальной средах и т.д. Тогда правильнее говорить о прочности бетона в нормальных условиях, о его прочности в условиях воздействия морской воды, мороза или агрессивной среды. Критерием оценки состояния бетона при комплексном воздействии на него внутренних и внешних факторов может служить определенная нормируемая прочность, обеспечивающая класс бетона при соответствующем коэффициенте вариации прочности, который должен неукоснительно выдерживаться во всех случаях без исключения. Какие бы факторы одновременно не действовали на бетон (нагрузка разного вида и режима, агрессивная среда, мороз, радиация и т.д.), прочность бетона в конструкциях не должна быть ниже нормируемой к концу проектного срока эксплуатации, что всегда можно надежно обеспечить. Тогда срок нормальной эксплуатации зданий и сооружений увеличится до нескольких сотен лет.

Таким образом, фактическая прочность бетона – это интегральная величина энергии внутренних связей в материале с реальной структурой, является критерием образования и оценки состояния бетона, основой его способности сопротивляться любым разрушающим факторам, определяет закономерности разрушения и технические возможности материала, в частности его долговечность. Проведенные исследования расширяют представления об энергии внутренних связей в материале как основе его прочности, деформативности, целостности и сопротивляемости различным факторам (совместному воздействию внешних нагрузок и (или) окружающей среды), о пределах технических возможностей, прочности и о физической сущности процесса разрушения бетона, что позволит проектировать надежные и экономичные железобетонные конструкции различного назначения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гладков Д.И. Физико-химические основы прочности бетона и роль технологии в ее обеспечении. Белгород: Изд-во БГТУ, 2004. 293 с.

2. Gladkov D.I., Suleimanova L.A., Nesterov A.P. Strength as an integral characteristic of concrete // Proceedings of the International Conference on Cement Combinations for Durable Concrete 2005 International Congress - Global Construction: Ultimate Concrete Opportunities. Сер. "Cement Combinations for Durable Concrete - Proceedings of the International Conference" sponsors: Institution of Civil Engineers, American Concrete Institute, Japan Society of Civil Engineers, University of Dundee, UK; editors: Dhir R.K., Harrison T.A., Newlands M.D., University of Dundee, Concrete Technology Unit. Dundee, Scotland, 2005. С. 701-707.

3. Сулейманова Л.А. Энергия связи – основа конструктивных и эксплуатационных характеристик бетонов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 9. С. 91-99.

4. 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.

5. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: АСВ, 2002. 500 с.

6. Зайцев Ю.В. Моделирование деформаций и прочности бетона методами механики разрушений. М.: Стройиздат, 1982. 196 с.

7. Макридин Н.И. и др. Структура и параметры трещиностойкости цементных композитов. Пенза, ПГАСА, 2000. 142 с.

8. Гвоздев А.А. и др. Прочность, структурные изменения и деформация бетона. – М.: Стройиздат, 1978. 299 с.

9. Шейкин А.Е., Добшиц Л.М. Цементные бетоны высокой морозостойкости. Л.: Стройиздат, 1989. 128 с.

10. Москвин В.М. и др. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. М.: Стройиздат, 1980. 536 с.

11. Мощанский Н.А. Плотность и стойкость бетонов. М.: Гостройиздат, 1951. 175 с.

Suleymanova L.A.

THE ENERGY OF INTERNAL CONNECTIONS IN THE MATERIAL AS A BASIS ITS STRENGTH, DEFORMABILITY AND RESISTANCE TO VARIOUS FACTORS

Carried out researches expand understanding of the energy of internal connections in the material as the basis of its strength, deformability, integrity and resistance to various factors (the combined effects of external loads and (or) the environment) the limits of the technical possibilities, the strength and the physical nature of the process of destruction of the concrete, that will allow to design a reliable and economical concrete structures for various purposes.

Key words: *strength, concrete, integral characteristic of concrete.*

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Агарков А.М., аспирант,
Шарапов Р.Р., д-р техн. наук, проф.,
Бойчук И.П., канд. техн. наук, доц.,
Прокопенко В. С., аспирант
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАТОРА

alexagarkof@mail.ru

Проведен анализ и расчет гидравлического сопротивления концентратора сепарационного воздуха. Приведена формула полного гидравлического сопротивления при различных геометрических размерах концентратора и различных углах наклона отражающих лопаток. Представлены график изменения гидравлического сопротивления в зависимости от скорости входного потока, диаграмма вклада в гидравлическое сопротивление различных слагаемых, график изменения гидравлического сопротивления концентратора в зависимости от диаметра частиц.

Ключевые слова: *концентратор, гидравлическое сопротивление, скорость потока, диаметр частиц.*

Введение. Все многообразие пылеочистного оборудования имеет две важнейшие характеристики: эффективность улавливания пыли и гидравлическое сопротивление. Для увеличения эффективности работы и уменьшения гидравлического сопротивления учеными усовершенствуются конструкции данного оборудования [2, 3]. Одним из таких оборудований является концентратор, предназначенный для улавливания пыли и разделения ее по фракциям.

Важной характеристикой концентратора является его гидравлическое сопротивление, т.е. значение энергозатрат на очистку 1 м^3 газа. Для уменьшения гидравлического сопротивления в концентраторе модернизируют его конструкцию, которая влияет на движение потока загрязненного воздуха. Полное сопротивление складывается из потерь напора на входе в подводящий патрубок, на направляющем устройстве на выходе, на преодоление трения газового потока о стенки корпуса и на поворот потока [4, 6].

Основная часть. На входе, представляющем собой диффузор с переходом круга на прямоугольник, гидравлическое сопротивление определяется, согласно [5], следующим выражением:

$$\Delta p_{вх} = \varsigma \frac{\rho v_0^2}{2} = \left(\varsigma_{тр} + \varsigma_{расш}\right)\frac{\rho v_0^2}{2}. \qquad (1)$$

Коэффициент трения вычисляется по формуле [1]:

$$\varsigma_{тр} = \frac{\lambda}{8\sin\frac{\alpha}{2}}\left(1 - \frac{1}{n_{n1}^2}\right), \qquad (2)$$

эквивалентный угол расширения определяется соотношением (рис. 1):

$$tg\frac{\alpha}{2} = \frac{2\sqrt{a_1 b_1/\pi} - D_0}{2l_D}, \qquad (3)$$

$\lambda = f\left(Re, \overline{\Delta}\right)$ вычисляется по таблицам и диаграмм [1], $n_{n1} = S_1 / S_0$ – степень расширения диффузора.

Коэффициент сопротивления расширению определяется выражением:

$$\varsigma_{расш} = 3{,}2 k_D tg^{1{,}25}\frac{\alpha}{2}\left(1 - \frac{1}{n_{n1}}\right), \qquad (4)$$

где k_D определяется в зависимости от диффузора.

Для выхода, который является конфузором, гидравлическое сопротивление равно:

$$\Delta p_{вых} = \varsigma \frac{\rho v_0^2}{2} = \left(\varsigma_{тр} + \varsigma_{м}\right)\frac{\rho v_0^2}{2}. \qquad (5)$$

Коэффициент сопротивления трения представляется формулой (2). Коэффициент местного сопротивления:

$$\varsigma_м = \left(-0{,}0125 n_0^4 + 0{,}0224 n_0^3 - 0{,}00723 n_0^2 + 0{,}00444 n_0 - 0{,}00745\right)\left(\alpha_p^3 - 2\pi\alpha_p^2 - 10\alpha_p\right), \qquad (6)$$

где $\alpha_p = 0{,}01745 \cdot \alpha$, $n_0 = S_0 / S_1$ – степень сужения.

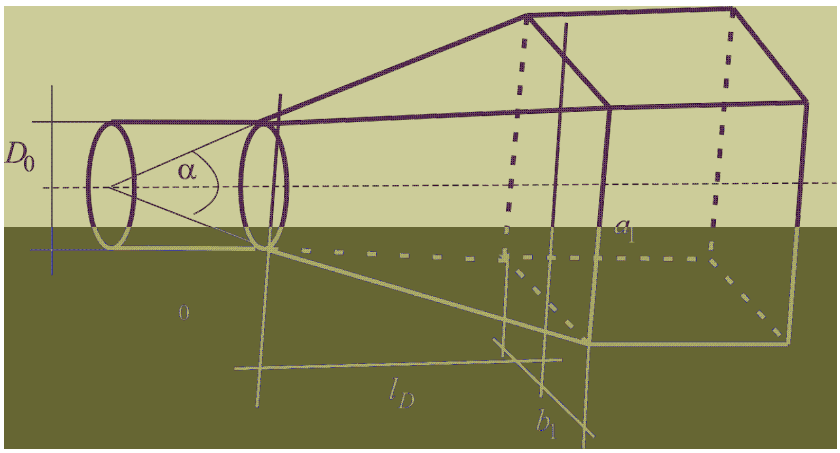


Рис. 1. Схема входного диффузора

В пределах $10^\circ < \alpha < 40^\circ$ общий коэффициент сопротивления остается почти постоянным и равным $\varsigma = \varsigma_{тр} + \varsigma_{м} \approx 0{,}05$.

Гидравлическое сопротивление плоского поворота потока на 180° равно:

$$\Delta p_{п} = \varsigma_{п} \frac{\rho v_0^2}{2}, \tag{7}$$

где $\varsigma_{m\min} = 4{,}0 - 4{,}2$.

При обтекании решетки лопаток гидравлическое сопротивление будет равно:

$$\Delta p_{л} = \varsigma_{л} \frac{\rho v_0^2}{2} = \sigma_1 \sigma_2, \tag{8}$$

где $\sigma_{1\max} = 1{,}33$ при угле атаки $\theta_\infty = 40^\circ$, а $\sigma_{2\max} = 4{,}7$ при угле атаки $\theta_\infty = 60^\circ$.

При движении воздуха с твердыми примесями потери давления можно посчитать следующим образом. Записав уравнение Бернулли для сечения S_1 и S_2 (рис. 2), получим:

$$p + \frac{\rho u^2}{2} = p_2 + \frac{\rho \vartheta^2}{2} + \Delta p, \tag{9}$$

откуда

$$\Delta p = p - p_2 + \frac{\rho\left(u^2 - \vartheta^2\right)}{2}. \tag{10}$$

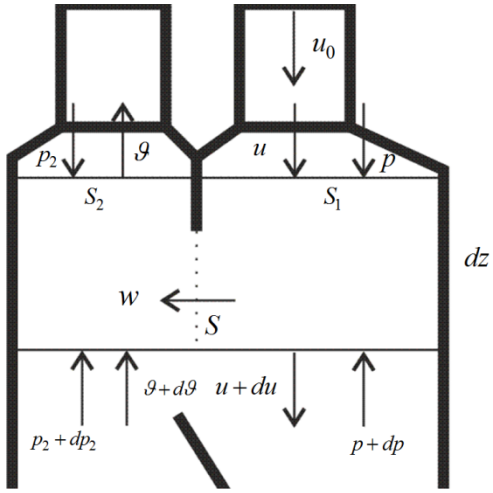


Рис. 2. Расчетная схема

Напишем уравнение сохранения количества движения в проекции на ось z с учетом сил трения о стенку камеры:

$$pS_1 - p_2 S_2 - \tau_0 PH - \sum f_z = \rho \vartheta^2 S_2 - \rho u^2 S_1, \tag{11}$$

где P – периметр камеры, $\tau_0 = \frac{\lambda}{4}\frac{\rho V^2}{2}$ [5]. Отсюда:

$$p - p_2 = p_2\left(1 - \frac{S_2}{S_1}\right) + \tau_0 \frac{PH}{S_1} + \frac{\sum f_z}{S_1} + \rho\left(\vartheta^2 \frac{S_2}{S_1} - u^2\right). \tag{12}$$

Подставляя (12) в (11), получим:

$$\Delta p = p_2\left(1 - \frac{S_2}{S_1}\right) + \tau_0 \frac{PH}{S_1} + \frac{\sum f_z}{S_1} + \rho\left(\vartheta^2 \frac{S_2}{S_1} - u^2\right) + \frac{\rho\left(u^2 - \vartheta^2\right)}{2} \tag{13}$$

Найдем давление p_2:

$$p_2 = -\rho \vartheta^2 + \int_0^H \rho C_x \beta \frac{S_p}{V_p} \frac{(v - \vartheta)|v - \vartheta|}{2} dz. \tag{14}$$

Подставив в (13), получим:

$$\Delta p = \left(\frac{\lambda(u + \vartheta)^2}{4} PH + \vartheta^2\left(4S_2 - 3S_1\right) - S_1 u^2\right)\frac{S_1 \rho}{2} + \frac{\sum f_z}{S_1} + \left(1 - \frac{S_2}{S_1}\right)\int_0^H \rho C_x \beta \frac{S_p}{V_p} \frac{(v - \vartheta)|v - \vartheta|}{2} dz \tag{15}$$

Полное гидравлическое сопротивление будет равно:

$$h = \Delta p_{вх} + \Delta p_{вых} + \Delta p_{п} + \Delta p_{л} + \Delta p. \tag{16}$$

Формула (16) дает возможность определить полное гидравлическое сопротивление концентратора при различных геометрических размерах концентратора и различных углах наклона отражающих лопаток. В таблице 1 показаны расчеты по гидравлическому сопротивлению концентратора при различных скоростях на входе при следующих данных: $d=100$ мкм, $\rho=1,2$ кг/м^3, $S_0=7,24\cdot10^{-3}$ м^2, $S_1=3,75\cdot10^{-2}$ м^2, $S_2=2,25\cdot10^{-2}$ м^2, $P=1000$ мм, $H=600$ мм, $\lambda=0,075$, $\alpha=45^\circ$, $C_x=1,8$, $\beta=1$ кг/м^3.

Таблица 1

Расчеты по гидравлическому сопротивлению концентратора

v_0, м/с	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00
h, Па	44,05	140,68	301,78	527,34	817,38

График изменения гидравлического сопротивления в зависимости от скорости входного потока имеет квадратичный вид и показан на рис. 3.

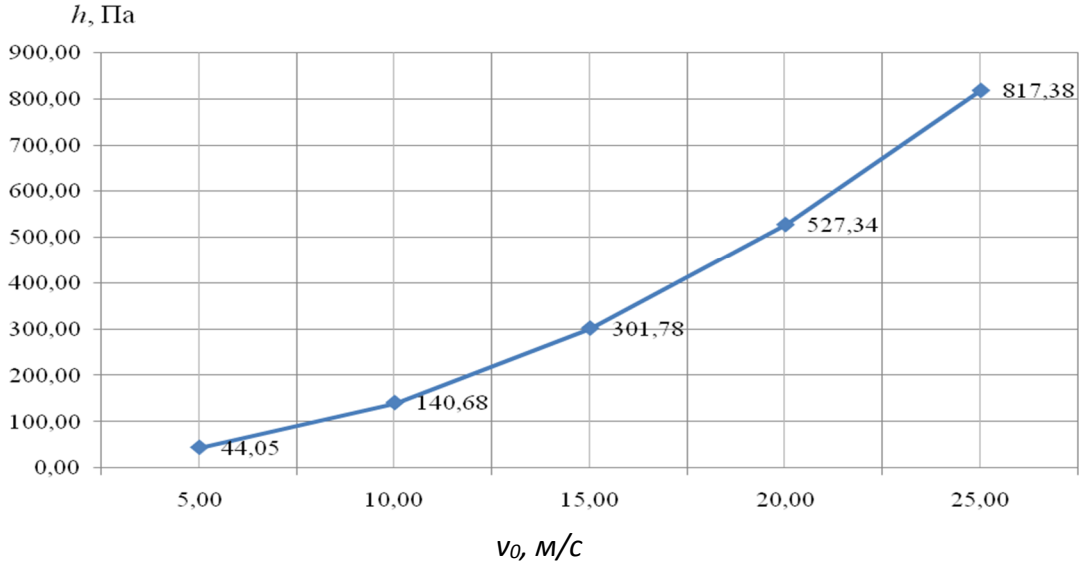


Рис. 3. Изменение гидравлического сопротивления в зависимости от скорости входного потока

Вклад в гидравлическое сопротивление слагаемых формулы (16) при скорости входящего потока 25 м/с показан на рис. 4.

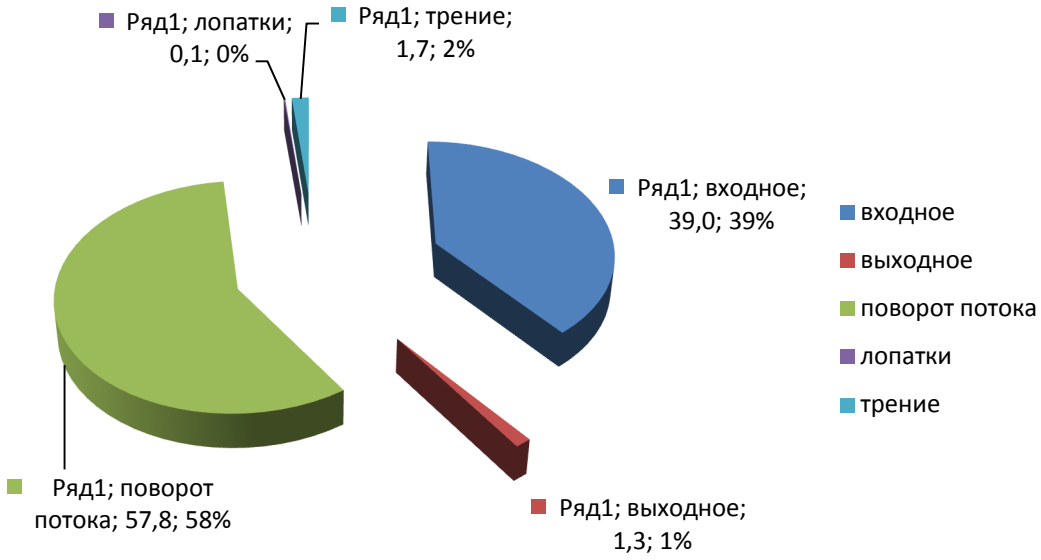


Рис. 4. Диаграмма вклада (в %) в гидравлическое сопротивление различных слагаемых

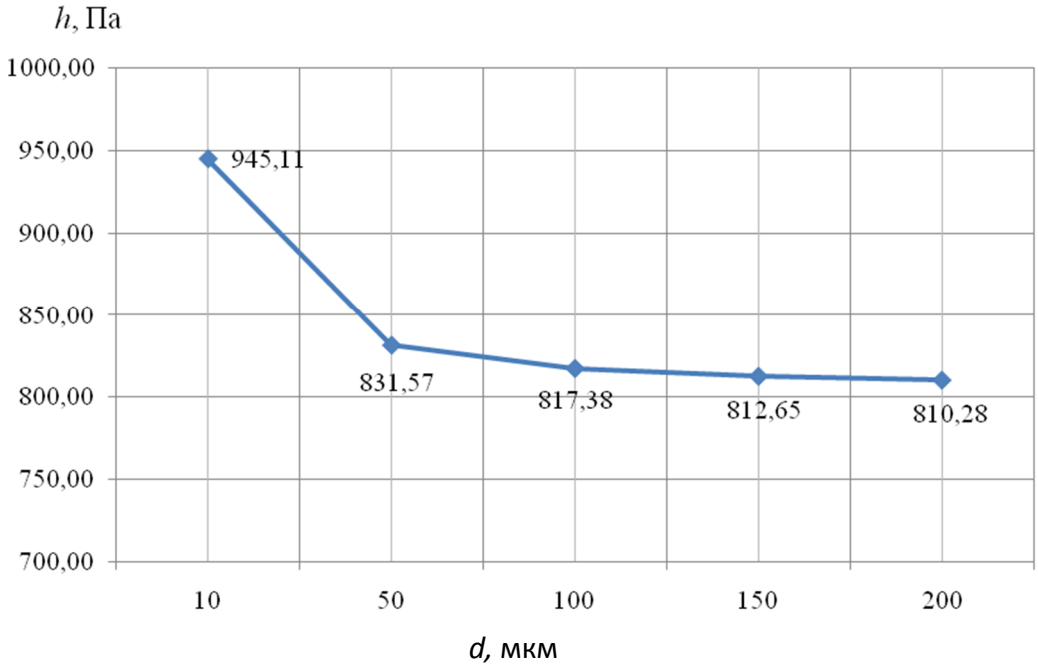


Рис. 5. Изменение гидравлического сопротивления концентратора в зависимости от диаметра частиц

Выводы. Наибольший вклад в гидравлическое сопротивление концентратора дает входное сопротивление и сопротивление на поворот потока. Потери на трение и сопротивление межфазового взаимодействия не превышают 2 %.

Найдены соотношения для определения гидравлического сопротивления концентратора с учетом входных – выходных эффектов, поворотом потока воздуха, влиянием отражающих лопаток, трения и межфазового взаимодействия. Показано, что наибольшее влияние на гидравлическое сопротивление имеют скорость входящего потока и размер частиц. С увеличением скорости растет гидравлическое сопротивление. Обратный эффект с увеличением размера частицы – чем больше частица, тем меньше гидравлическое сопротивление концентратора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: Машиностроение, 1992. 672 с.

2. Овсянников Ю.Г., Агарков А.М. Экспериментальные исследования аэродинамических характеристик системы аспирации с принудительной рециркуляцией // Инновационные материалы, технологии и оборудование для строительства современных транспортных сооружений: сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. Т. II. С. 166–169.

3. Орехова Т.Н., Уваров В.А. Теория и расчет пневмосмесителей непрерывного действия: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. 114 с.

4. Прокопенко В.С., Шарапов Р.Р., Агарков А.М., Шарапов Р.Р. Оптимизация работы оборудования для получения тонкодисперсных порошков // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. №1. С. 80–83.

5. Талиев В.Н. Аэродинамика вентиляции. М: Стройиздат, 1979. 295 с.

6. Харламов Е.В., Шарапов Р.Р., Шаптала В.Г., Шаптала В.В. Моделирование процесса разделения в магнитно-аэродинамическом сепараторе // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. №4. С. 91–95.

Agarkov A.M., Sharapov R.R., Boychuk I.P., Prokopenko V.S.

HYDRAULIC RESISTANCE OF HUB

Analyzed and calculated of hydraulic resistance the air separation hub. The formula of full hydraulic resistance for different geometrical sizes hub and different angles of reflecting blades given. Presented graph of change of hydraulic resistance depending on the speed of the input stream, contribution to the hydraulic diagram of the resistance of various summands, graph of change of hydraulic resistance the hub depending on the particle diameter.

***Key words**: hub, hydraulic resistance, the flow rate, the particle diameter.*

Семикопенко И.А., канд. техн. наук, проф.,
Воронов В.П., канд. физ.-мат. наук, проф.,
Горбань Т.Л., аспирант
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ УГЛАМИ СХОДА ЧАСТИЦ МАТЕРИАЛА С РАДИАЛЬНОЙ И КРИВОЛИНЕЙНОЙ ЛОПАСТЕЙ И КООРДИНАТАМИ ЗАГРУЗОЧНЫХ ПАТРУБКОВ В ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ПРОТИВОТОЧНОЙ МЕЛЬНИЦЕ

olimp69@narod.ru

В данной статье дано математическое описание движения частицы материала вдоль поверхности криволинейной и прямолинейной лопасти ротора. Представлена расчетная схема для определения длины криволинейной лопасти. Получено аналитическое выражение, позволяющее определить разность углов схода частицы материала с поверхности криволинейной и прямолинейной лопастей ротора, что дает возможность разделения потоков материала по крупности перед соударением в камере помола.

***Ключевые слова**: лопасть, угол схода, частица, камера помола*

Центробежные противоточные мельницы являются одним из типов помольного оборудования, реализующего принцип противоточного движения дисперсных потоков, за счет механического разгона частиц материала [1].

Если через R_p обозначить длину радиальной лопасти, тогда можно записать следующее соотношение:

$$R_p = \upsilon_r t, \qquad (1)$$

где υ_r – скорость движения частицы материала; t – время движения частицы.

Согласно результату работы [2], величина скорости движения частицы материала по радиально расположенной лопасти определяется соотношением:

$$\upsilon_r = \frac{\omega\rho}{2f}, \qquad (2)$$

где ρ – расстояние от оси вращения ротора до места загрузки частицы материала на радиально расположенную лопасть; f – коэффициент трения частицы материала по поверхности радиальной лопасти;

За время движения частицы материала по радиальной лопасти последняя совершит поворот на угол, равный

$$\varphi = \omega t, \qquad (3)$$

здесь ω – частота вращения радиально расположенной лопасти.

На основании (1) и (2) получаем следующее соотношение:

$$\frac{R_p}{t} = \frac{\omega\rho}{2f}. \qquad (4)$$

В качестве радиальной точки загрузки выбираем следующую величину:

$$\rho = \frac{R_p}{4}. \qquad (5)$$

Подстановка (5) в (4) с учетом (3) позволяет получить:

$$\frac{R_p\omega}{\varphi} = \frac{\omega R_p}{8f}. \qquad (6)$$

Из (6) вытекает следующее соотношение между величиной угла поворота ротора и коэффициентом трения частицы о лопасть:

$$\varphi = 8f. \qquad (7)$$

Таким образом, при точке загрузки частицы материала, задаваемой соотношением (5), величина угла поворота радиальной лопасти, при котором происходит сход частицы материала, определяется соотношением (7).

Рассмотрим процесс схода частицы материала при ее движении по криволинейной лопасти.

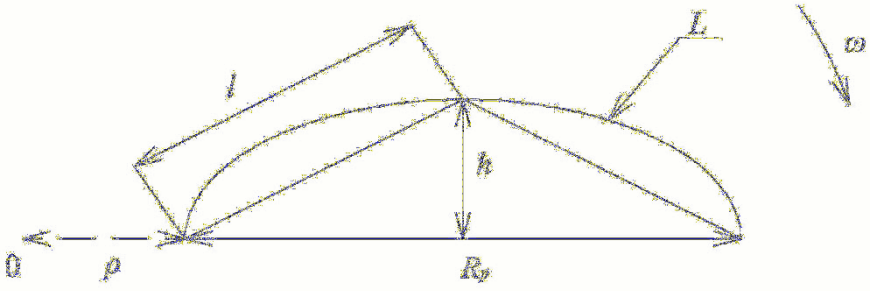


Рис. 1. Расчетная схема для определения длины криволинейной лопасти

Согласно расчетной схемы, представленной на рис. 1, длину дуги L криволинейной лопасти можно определить, используя формулу Гюйгенса [3]:

$$L = 2l + \frac{1}{3}(2l - R_p), \quad (8)$$

где

$$l = \sqrt{\frac{R_p^2}{4} + h}. \quad (9)$$

здесь h – максимальное отклонение криволинейной дуги от радиального направления.

Путь, пройденный частицей материала по криволинейной поверхности лопасти, определим на основании следующего соотношения:

$$L = \upsilon_r t. \quad (10)$$

Подстановка (8), (2) с учетом (3), (5), (9)в (10) позволяет получить следующее соотношение:

$$2\sqrt{\frac{R_p^2}{4} + h^2} + \frac{1}{3}\left(2\sqrt{\frac{R_p^2}{4} + h^2} - R_p\right) = \frac{R_p}{8f}\varphi. \quad (11)$$

После несложных математических преобразований соотношения (11) можно получить следующий результат:

$$\varphi = 8f\left[2\sqrt{\frac{1}{4} + \left(\frac{h}{R_p}\right)^2} + \frac{1}{3}\left(2\sqrt{\frac{1}{4} + \left(\frac{h}{R_p}\right)^2} - 1\right)\right]. \quad (12)$$

В случае, если $h << R$, тогда отношение

$$\frac{h}{R_p} << 1 \quad (13)$$

является малой величиной. При выполнении условия (13) соотношение (12) можно упростить, используя следующее преобразование:

$$\sqrt{\frac{1}{4} + \left(\frac{h}{R_p}\right)^2} = \frac{1}{2}\sqrt{1 + \left(\frac{2h}{R_p}\right)^2} \cong \frac{1}{2}\left(1 + \frac{1}{2}\left(\frac{2h}{R_p}\right)^2\right). \quad (14)$$

Подстановка (14) в (12) позволяет получить:

$$\varphi \cong 8f\left(1 + \frac{8}{3}\left(\frac{h}{R_p}\right)^2\right). \quad (15)$$

Таким образом, на основании выражений (7) и (15) сход частицы материала с криволинейной лопасти будет происходить при большой величине угла поворота. Данная разность определяется величиной:

$$\Delta\varphi = \frac{64}{3} f\left(\frac{h}{R_p}\right)^2. \quad (16)$$

На основании полученных соотношений (5), (7) и (12) можно определить углы схода частицы материала с криволинейной и радиально расположенной лопасти, жестко закрепленных на поверхности вращающегося ротора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Товаров В.В., Оскаленко Г.Н. Исследование вылета частиц из лопастных роторов центробежных измельчающих машин // Труды Гипроцемент. М.: Госстройиздат, 1962. Вып. 84. С. 38-45.

2. Воронов В.П., Семикопенко И.А., Пензев П.П. Теоретические исследования скорости движения частиц материала вдоль поверхности ударного элемента мельницы дезинтеграторного типа // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2008. № 11-12. С. 93-96.

3. Выгодский М.Я. Справочник по элементарной математике. М.: АСТ Астрель, 2006. 509 с.

Semikopenko I.A., Voronov V.P., Gorban T.L.

DEFINITION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE CONVERGE ANGLES OF MATERIAL PARTICLES WITH RADIAL AND CURVED BLADES AND COORDINATES OF LOADING PIPE IN COUNTERFLOW CENTRIFUGAL MILL

Given the mathematical description of the motion of grinding material along the curved and straight blades of the rotor. Shown the calculation scheme for determining the radius of curvature of the rotor blades for the providing counter-frontal collisions of material's particles. As a result of theoretical research obtained an analytical expression that define the converge angles of material particles with a curved blade and a radially disposed, fixed on the surface of the rotating rotor.

Key words: *converge angle, curved blade, curvature radius, rotor.*

Вострикова М.А., канд. техн. наук, доц.
Краснодарский государственный университет культуры и искусств

БАЗОВАЯ МОДЕЛЬ СХЕМЫ ПРИБОРА ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ОТ СОЕДИНЕНИЙ СЕРЫ

marishavostrikova@yandex.ru

В статье рассматривается актуальная проблема очистки отработавших газов судовых энергетических установок от соединений серы. Приводится организация процессов смешения газовых потоков с водяным паром и последующей конденсации парогазовой смеси. Описана методика проведения опытов по определению коэффициента инжекции.

Ключевые слова: *морские суда, выбросы, атмосфера, оксид серы, коэффициент инжекции, струйный аппарат.*

Введение. Интенсивное развитие судоходства привело к формированию флота с мощными энергетическими установками, высокими грузоподъемностью и скоростью. Эксплуатация такого флота сопровождается высоким ростом его воздействия на окружающую природную среду [1].

Методика. Одним из эффективных способов очистки продуктов сгорания от выбросов соединений серы с судовых энергетических установок является использование установок поглощения газовых выбросов (УПГВ). Устройство представляет собой двухступенчатое смешивание газа с жидкостью и используется для очистки газовых потоков [2, 3].

Основная часть. Для организации процессов смешения газовых потоков с водяным паром и последующей конденсации парогазовой смеси был выбран струйный аппарат. Для исследований по определению возможности использования процессов смешения в струйном аппарате как предварительной ступени поглощения газовых выбросов была создана модель струйного аппарата (рис. 1) [2].

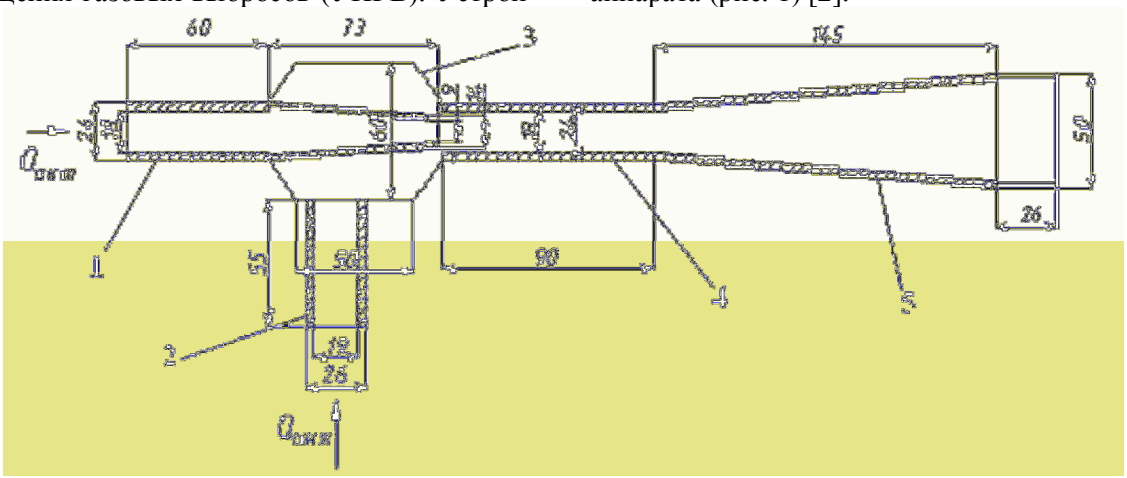


Рис. 1. Модельный струйный аппарат: 1, 2 – патрубки; 3 – приемная камера; 4 – камера смешения; 5 – диффузор

Методика проведения опытов по определению коэффициента инжекции заключается в следующем. Модельный газ (воздух) нагнетается в подводящий трубопровод 1 с помощью воздуходувки и инжектирует воздушный поток через патрубок 2 в приемную камеру 3. Далее через камеру смешения 4 и диффузор 5 смешанный поток выходит из струйного аппарата. Расход активного потока воздуха регулируется напряжением, подаваемым на воздуходувку с помощью ЛАТРа. Дроссельные диафрагмы, установленные на линии активного и инжектируемого потоков и снабженные U-образными жидкостными манометрами, позволяют измерять перепад давлений на диафрагме и рассчитать расходы воздуха и коэффициент инжекции струйного аппарата по разработанной компьютерной программе [3].

Среднеквадратичная погрешность $\delta_{\text{ср.кв.}}$ рассчитанных величин расхода с учетом измерений перепада давления (точность измерения $\pm$ 0,5 мм вод. ст.), температуры потоков ртутными термометрами (точность $\pm$ $0{,}25^0$C), определения плотности потоков по табличным данным и других параметров, составила от 2,3 до 3,8%. Параметры воздуха определяются при соответствующей температуре опыта по [4].

Коэффициент инжекции рассчитывается по формуле:

$$u_{\text{инж}} = \frac{Q_{\text{инж}}}{Q_{\text{акт}}}, \qquad (1)$$

где $Q_{акт}$, $Q_{инж}$ – объемный расход активного и инжектируемого потоков соответственно, $м^3 \cdot с^{-1}$.

Полученные данные представлены в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициент инжекции струйного аппарата

№ п/п	1	2	3	4	5
$Q_o^{акт} 10^3,\ м^3 \cdot с^{-1}$	2,529	3,179	3,583	4,078	4,677
$Q_o^{инж} 10^3, м^3 \cdot с^{-1}$	1,070	1,51	1,853	2,114	2,354
$u_{инж}$	0,423	0,476	0,517	0,518	0,503

Зависимость коэффициента инжекции от расхода активного потока (рис. 2) дает возможность определения промежуточных значений $u_{инж}$ и расходы инжектируемых потоков на экспериментальной лабораторной установке (рис. 3). Среднеквадратичная погрешность рассчитанных значений $u_{инж}$ в зависимости от расхода лежит в пределах 2,5…4,1%.

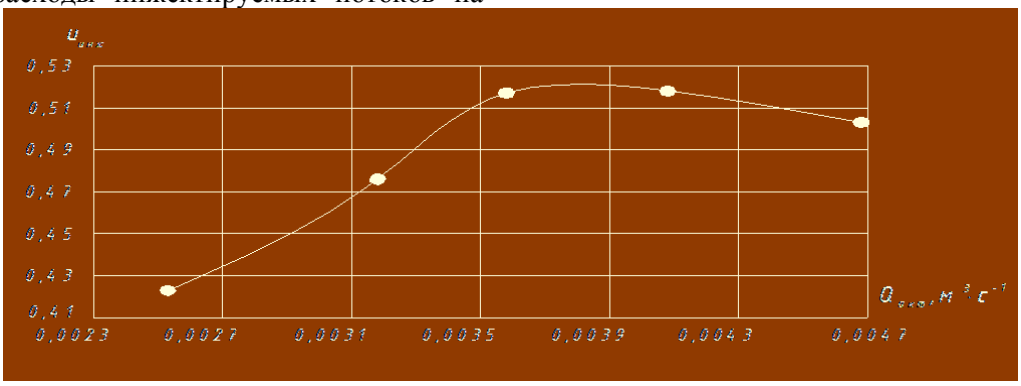


Рис. 2. Зависимость $u_{инж}$ от $Q_{акт}$

Для исследования процессов смешения газов с насыщенным водяным паром в камере смешения струйного аппарата и последующей конденсации образующейся смеси создана лабораторная установка (рис. 3).

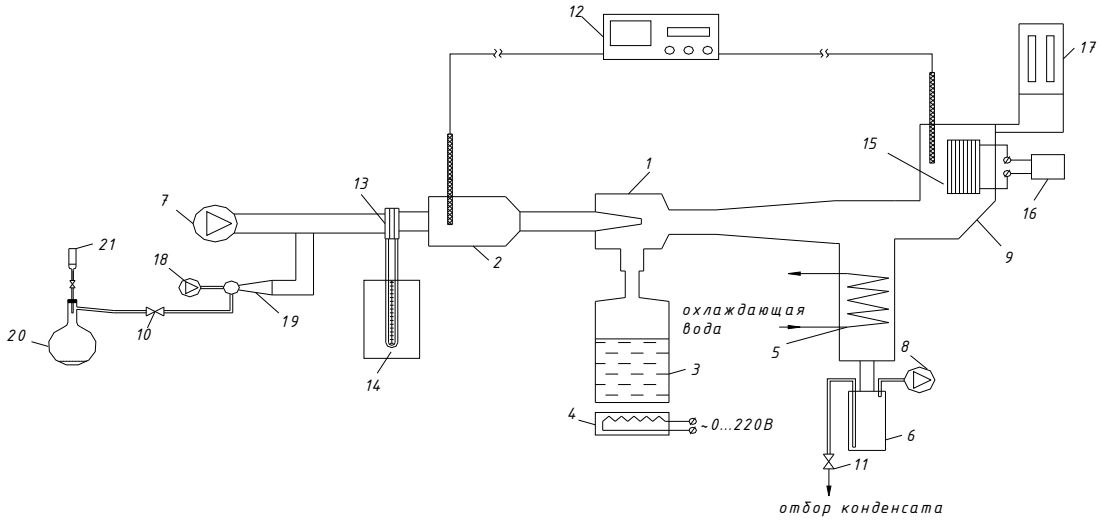


Рис. 3. Схема установки для исследования процессов смешения газов с водяным паром:
1,19 – струйный аппарат; 2, 9 – емкость объемом 0,05 $м^3$; 3, 6 – колба; 4 – электронагреватель; 5 – конденсатор; 6 – колба для отбора проб конденсата; 7,18 – воздуходувка; 8 – вакуум насос; 10,11 – вентили; 12 – газоанализатор IMR – 3000; 13 – расходомер газа; 14 – U-образный манометр; 15 – измерительная ячейка; 16 – измерительный прибор; 17 – психрометр; 20 – колба Вюрца; 21 – делительная воронка

В качестве модельного газа используется смесь воздуха с оксидами серы. Методика проведения опытов заключается в следующем: оксид серы получают путем взаимодействия сульфита натрия (Na_2SO_3), навеску которого помещают в колбу Вюрца 20, и концентрированной серной кислоты, залитой в делительную цилиндрическую воронку 21. Кислоту из воронки дозируют по каплям. При взаимодействии Na_2SO_3 с концентрированной H_2SO_4 выделяется SO_2 по реакции:

$$Na_2SO_3 + H_2SO_4 \rightarrow Na_2SO_4 + H_2O + SO_2 \uparrow \quad (1)$$

После начала химической реакции открывается трехходовой кран в сторону патрубка, соединенного с емкостью с водой. Появившиеся в воде пузырьки газа указывают на выделение диоксида серы. После этого трехходовой кран поворачивают в сторону патрубка, соединенного со струйным аппаратом 19. Оксид серы с помощью воздуходувки 18 и струйного аппарата 19 инжектируется через вентиль 10, регулирующий подачу SO_2 из колбы 20 и направляется в активный поток воздуха, нагнетаемого в трубопровод при помощи воздуходувки 7. Смесь воздуха и SO_2 проходит через расходомер 13 и направляется в сопло струйного аппарата 1. Активный поток указанной смеси инжектирует насыщенный водяной пар в приемную камеру струйного аппарата из колбы 3, в которой пар генерируется из дистиллированной воды за счет электронагревателя 4.

В камере смешения поток смеси воздуха, водяного пара и оксида серы, имеющий температуру ниже температуры насыщенного водяного пара, взаимодействует с ним. При смешении потоков в камере смешения происходит конденсация насыщенного пара с поглощением компонентов газового потока. Газожидкостный поток направляется в диффузор струйного аппарата. Давление смеси, а, следовательно, и присутствующего в ней водяного пара при движении в диффузоре повышается, что приводит к конденсации не сконденсировавшегося в камере смешения пара. Затем часть газожидкостного потока отбирается в конденсатор 5, и образовавшийся конденсат с растворившимися в нем газами направляется через вентиль 10 для анализа, в частности, измерения водородного показателя (pH) и проводимости (σ). Остальная часть потока по трубопроводу направляется в емкость 9 с установленной в ней измерительной ячейкой 15 для контроля диэлектрической проницаемости ε и σ остаточной парогазовой смеси. Следует отметить, что диэлькометрические измерения позволяют с высокой точностью (по оценкам проведенных исследований $\delta_{ср.кв.}$= 1,2…1,8 %) контролировать влажность парогазовых смесей в широком диапазоне изменения влагосодержания и параметров состояния [2, 3]. Измерительная ячейка представляет собой экранированный многоцилиндровый коаксиальный конденсатор с высокой начальной емкостью C_o. Одновременно с электрофизическими свойствами контролируется относительная влажность парогазовой смеси поступившей в емкость 9 психрометром 17. После измерений температур мокрого и сухого термометра (с точностью ± $0{,}25^0$C) по *d-h* диаграмме определяется относительная влажность φ ($\delta_{ср.кв}$ = 2,6 %) и влагосодержание парогазовой смеси d ($\delta_{ср.кв.}$= 1,8 %). Измерение диэлектрической проницаемости производится по величине емкости заполненной парогазовой смесью ячейки $C_{изм}$, $\varepsilon = \frac{C_{изм}}{C_0}$. Определение σ также производится в ячейке по величине измеренного сопротивления R парогазовой смеси, σ = 1/R. Измерения C и R осуществляются цифровым измерителем импеданса типа MIC 4070D LCR METER (погрешность до 1,0 %). Среднеквадратичная погрешность определения σ в зависимости от диапазона изменения расхода, температур и других параметров достигает 1,9 %.

Выводы. В процессе опытов были получены зависимости диэлектрической проницаемости ε парогазовой смеси от ее влагосодержания d. С учетом того, что ε воздуха близка к единице, наличие водяных паров четко контролируется в измерительной ячейке, что позволяет строить калибровочные кривые и определять d по ε.

Расход активного потока определяется по перепаду давлений на дроссельной диафрагме 13 с помощью компьютерной программы [3]. Экспериментально найденный коэффициент инжекции струйного аппарата позволяет рассчитать расход инжектируемого насыщенного водяного пара. Анализ газа выполняется газоанализатором IMR – 3000 (точность измерений концентраций 0,25 мг $м^{-3}$) в пробах, отобранных из емкостей 2 и 9 соответственно, то есть до и после струйного аппарата. Таким образом, на установке определяется эффект поглощения оксидов, в частности сернистых, в процессе смешения газового потока с водяным паром и последующей конденсацией образующейся парогазовой смеси. Предварительно проведены эксперименты с использованием в качестве модельного газа чистого воздуха и инжектируемого в поток водяного пара. Всего проведено свыше 300 измерений указанных выше величин.

Следует отметить, что начальная емкость ячейки C_0 = 0,453 нФ, среднее за серию опытов барометрическое давление B = 756 мм рт. ст., средняя относительная влажность воздуха φ = 60 %, средняя температура окружающего воздуха $t_{o.c.}$= 18°C.

По экспериментальным данным получены зависимости исходных и конечных концентраций SO_2 в газовом потоке при различных значениях расхода активного потока $Q_{акт}$. Кроме этого определены зависимости pH=f ($C_{погл}$) при разных значениях $Q_{акт}$, ε=f($Q_{акт}$), σ=f($Q_{акт}$), d=f($Q_{акт}$)

для чистого воздуха и пара, и для смеси воздуха, водяного пара с SO_2.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Туркин, А.В. Снижение загрязнения атмосферы очисткой продуктов сгорания судовых и корабельных энергетических установок. Материалы седьмой региональной научно-технической конференции. Новороссийск: МГА, 2008.

2. Комиссаров, К.Б.Комплексная очистка дымовых газов теплогенерирующих установок / Комиссаров К.Б., Лутков С.А., Филь А.В. Ростов н/Д.: Филиал МГА имени адмирала Ф.Ф. Ушакова в г. Ростове-на-Дону, 2007. 134 с.

3. Расчет объемного расхода газов и паров с применением компьютерной программы / Комиссаров К.Б., Кучеренко Е.А., Яковлева А.А. и др. Ростов н/Д.: РГУПС, 2001. 12 с.

4. Варгафтик, Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Наука, 1972. 720 с.

Vostrikova M.A

THE BASE MODEL OF THE SCHEME OF THE EXHAUST GAS PURIFICATION DEVICE OF SHIP POWER PLANTS FROM SULFUR COMPOUNDS

In the article the issue of the cleaning of exhaust gases of marine power plants from sulfur compounds. Given the organization of the processes of mixing of gas streams with water vapor and the subsequent condensation of vapor-gas mixture. The technique is described experiments on determination of the coefficient of injection.

Key words: *marine vessels, emissions, atmosphere, sulfur oxide, injection rate, jet apparatus.*

Щербинина О.А., канд. техн. наук, асс.,
Щербинин И.А., канд. техн. наук, доц.,
Уваров В.А., д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ВЫЧИСЛЕНИЕ ТАНГЕНЦИАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТЫ ВЕКТОРА СКОРОСТИ ВЯЗКОГО МАТЕРИАЛА В РОТОРНО-ПУЛЬСАЦИОННОЙ УСТАНОВКЕ

31rusacpirant@mail.ru

Математической основой теоретического исследования движения вязкой среды в корпусе РПУ является уравнение движения вязкой среды (уравнение Навье-Стокса). Корпус РПУ без накопительного бункера обладает аксиальной симметрией, поэтому нахождение компонент вектора скорости движения вязкой среды внутри корпуса РПУ проще восполнять в цилиндрической системе координат. В силу аксиальной симметрии движения вязкой среды внутри корпуса РПУ естественно предположить, что все искомые величины для установившегося движения зависят только от одной переменной, «r».

Ключевые слова: *РПУ, компонента вектора скорости, аксиальная симметрия движения вязкой среды.*

Модельные допущения и основные положения теории

Математической основой теоретического исследования движения вязкой среды в корпусе РПУ является уравнение движения вязкой среды (уравнение Навье-Стокса), которое в векторной форме имеет вид:

$$\frac{d\vec{\upsilon}}{dt} = -\frac{1}{\rho} grad(P) + \nu \cdot \Delta \cdot \vec{\upsilon} \qquad (1)$$

где $\vec{\upsilon}$ – вектор скорости движения среды в РПУ, (м/с); P – давление внутри РПУ, (Па); ν – коэффициент кинематической вязкости, ($м^2/с$); Δ – оператор Лапласса, имеющий следующий вид:

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \qquad (2)$$

В силу того, что в уравнение (2.1) входит также неизвестная величина Р (давление) в рассмотрение необходимо включить уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + div\,(\rho \vec{\upsilon}) = 0 \qquad (3)$$

Далее предполагая, что плотность движущейся среды в корпусе РПУ является величиной постоянной ($\rho = const$), поэтому уравнение (3) принимает вид:

$$div\,(\vec{\upsilon}) = 0 \qquad (4)$$

Следовательно, уравнения (1) и (4) представляют полную систему уравнений, позволяющих исследовать поведение вязкой среды внутри корпуса РПУ.

Форма записи уравнения (1) предполагает отсутствие массовых сил.

Согласно расчётной схеме, представленной на рис. 1, корпус РПУ без накопительного бункера обладает аксиальной симметрией, поэтому нахождение компонент вектора скорости движения вязкой среды внутри корпуса РПУ проще восполнять в цилиндрической системе координат (r, φ, z) с центром в точке *0*.

В силу аксиальной симметрии движения вязкой среды внутри корпуса РПУ естественно предположить, что все искомые величины для установившегося движения зависят только от одной переменной r.

Если обозначить через $\upsilon_r, \upsilon_\phi, \upsilon_z$ – соответственно радиальную, тангенциальную и «z» - компонента вектора скорости в цилиндрической системе координат, тогда для нахождения компонент плоского движения вязкой среды в плоскости перпендикулярной оси симметрии корпуса РПУ на основании (1) и (4) получаем следующие уравнения:

$$\upsilon_r \cdot \frac{d\upsilon_r}{dr} - \frac{\upsilon_\varphi^2}{r} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{dP}{dr} + \nu \cdot \Delta_1 \cdot \upsilon_r \qquad (5)$$

$$\upsilon_r \cdot \frac{d\upsilon_\varphi}{dr} + \frac{\upsilon_r \cdot \upsilon_\varphi}{r} = \nu \cdot \Delta_1 \cdot \upsilon_\varphi \qquad (6)$$

$$r \cdot \frac{d\upsilon_r}{dr} + \upsilon_r = 0 \qquad (7)$$

где Δ_1 – представляет собой дифференциальный оператор следующего вида:

$$\Delta_1 = \frac{d^2}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{d}{dr} - \frac{1}{r^2} \qquad (8)$$

Таким образом, полученные соотношения (5)…(7) представляют собой полную систему уравнений, решение которой позволяет найти искомые величины радиальной, тангенциальной компонент вектора скорости и давление «Р» внутри корпуса РПУ.

Для нахождения значений компонент скорости внутри корпуса РПУ разобьём весь внутренний объём корпуса на «i» зон, здесь «i» принимает значения от нуля до 4. Нулевая зона – это зона движения среды, заключённая в пределах $R_0 \le r \le R_1$.

Первая зона соответствует движению в пределах $R_1 \le r \le R_2$,

вторая в пределах $R_2 \le r \le R_3$,

третья в пределах $R_3 \le r \le R_4$,

четвёртая в пределах $R_4 \le r \le R_5$.

Найдём решение дифференциального уравнения (7) для каждой из введённых зон. Интегрирование уравнения (7) приводит к следующему соотношению:

$$\upsilon_r^{(i)} = \frac{\alpha_i}{r} \qquad (9)$$

где $i = 0,1 \ldots 4$ определяет номер рассматриваемой зоны, а α_i – константа интегрирования, значения которой необходимо определить для каждой из рассматриваемой области изменения переменной « r ».

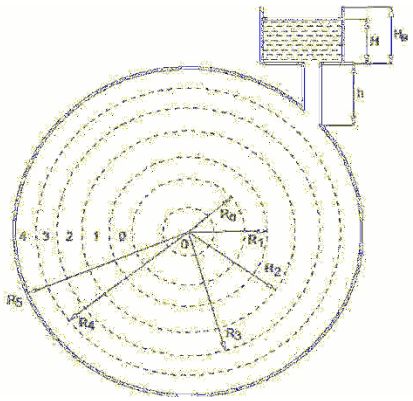


Рис. 1. Расчётная схема обоснования выбора системы координат и расположения основных конструктивных элементов РПУ: R_0 – расстояние от центра вращения до вращающейся лопасти, R_1–радиус первого вращающегося цилиндра, R_2 – радиус второго (неподвижного) цилиндра, R_3 – радиус третьего (вращающегося) цилиндра, R_4 – радиус четвёртого (неподвижного) цилиндра, R_5 – радиус корпуса РПУ, h – длина патрубка, H – высота подъёма массы смеси в бункере, H_B – линейный размер высоты накопительного бункера

$$\frac{d^2\upsilon_\phi^{(i)}}{dr^2} = \frac{d}{dr}\cdot\left(e^{-t_1}\cdot\frac{d\upsilon_\phi^{(i)}}{dt_1}\right) = \frac{d}{dt_1}\cdot\left(e^{-t_1}\cdot\frac{d\upsilon_\phi^{(i)}}{dt_1}\right)\cdot\frac{dt_1}{dr} = \frac{d^2\upsilon_\phi^{(i)}}{dt_1^{\,2}}\cdot e^{-2t_1} - \frac{d\upsilon_\phi^{(i)}}{dt_1}\cdot e^{-2t_1} \qquad (20)$$

Подстановка (18) – (20) в уравнение (17) позволяет привести уравнение (17) к следующему виду:

$$\frac{d^2\upsilon_\phi^{(i)}}{dt_1^{\,2}} - \gamma_i\cdot\frac{d\upsilon_\phi^{(i)}}{dt_1} - (1+\gamma_1)\cdot\upsilon_\phi^{(i)} = 0 \qquad (21)$$

С математической точки зрения дифференциальное уравнение (21) представляет собой дифференциальное уравнение второго порядка с постоянными коэффициентами. Для построения решения (21) необходимо найти решение характеристического уравнения вида:

$$K^2 - \gamma_i\cdot K - (1+\gamma_i) = 0 \qquad (22)$$

Решением уравнения (22) являются соотношения:

Вычисление тангенциальной компоненты вектора скорости вязкого материала в корпусе роторно-пульсационной установки

Подстановка (9) в (6) с учётом (8) позволяет привести уравнение (6) к следующему виду:

$$\frac{d^2\upsilon_\phi^{(2)}}{dr^2} + \frac{1-\frac{\alpha_i}{\nu}}{r}\cdot\frac{d\upsilon_\phi^{(i)}}{dr} - \frac{1+\frac{\alpha_i}{\nu}}{r^2}\cdot\upsilon_\phi^{(i)} = 0 \qquad (10)$$

где $i = 0,1,2,3,4$;

$$\alpha_0 = \frac{\omega R_0^2}{2f} \qquad (11)$$

$$\alpha_1 = \frac{\omega\cdot R_1^2}{2f}\cdot\left(\cos\beta_1 - f\cdot\sin\beta_1\right) \qquad (12)$$

$$\alpha_2 = \frac{\omega\cdot R_1^2}{2\cdot f}\cdot\left(\cos\beta_1 - f\cdot\sin\beta_1\right)\cdot\cos\beta_2 \qquad (13)$$

$$\alpha_3 = \frac{\omega\cdot R_3^2}{2\cdot f}\cdot\left(\cos\beta_3 - f\cdot\sin\beta_3\right) \qquad (14)$$

$$\alpha_4 = \frac{\omega\cdot R_3^2}{2\cdot f}\cdot\left(\cos\beta_3 - f\cdot\sin\beta_3\right)\cdot\cos\beta_4 \qquad (15)$$

Если ввести безразмерный параметр γ_i согласно следующему соотношению:

$$\gamma_i = \frac{\alpha_i}{\nu} \qquad (16)$$

тогда уравнению (2.27) можно придать следующий вид:

$$\frac{d^2\upsilon_\phi^{(i)}}{dr^2} + \frac{1-\gamma_i}{r}\cdot\frac{d\upsilon_\phi^{(i)}}{dr} - \frac{1+\gamma_i}{r^2}\cdot\upsilon_\phi^{(i)} = 0 \qquad (17)$$

Для нахождения решения дифференциального уравнения (17) сделаем замену аргумента функции согласно соотношению:

$$r = e^{t_1} \qquad (18)$$

На основании (17) получаем следующие соотношения:

$$\frac{d\upsilon_\phi^{(i)}}{dr} = \frac{d}{dt_1}\left(\upsilon_\phi^{(i)}\right)\cdot\frac{dt_1}{dr} = e^{-t_1}\cdot\frac{d\upsilon_\phi^{(i)}}{dt_1} \qquad (19)$$

$$K_1 = -1 \quad \text{и} \quad K_2 = 1+\gamma_i \qquad (23)$$

Используя (23) можно найти решение уравнения (21)

$$\upsilon_\varphi^{(i)} = C_{1i}\cdot e^{-t_1} + C_{2i}\cdot e^{(1+\gamma_i)t_1} \qquad (24)$$

С учётом (18) выражение (24) принимает окончательно следующий вид:

$$\upsilon_\phi^{(i)} = \frac{C_{1i}}{r} + C_{2i}\cdot r^{1+\gamma_i} \qquad (25)$$

Для нахождения постоянных C_{10} и C_{20} в зоне соответствующей индексу $i = 0$ необходимо к выражению (25) применить граничные условия следующего вида:

при $r = R_0$;

$$\upsilon_{\varphi}^{(0)} = \omega R_0 \quad (26)$$

при $r = R_1$;

$$\upsilon_{\phi}^{(0)} = \omega R_1 \quad (27)$$

Подстановка (9) и (27) в (25) позволяет получить следующие выражения:

$$\omega R_0 = \frac{C_{10}}{R_0} + C_{20} R_0^{1+\gamma_0} \quad (28)$$

$$\omega R_1 = \frac{C_{10}}{R_1} + C_{20} R_1^{1+\gamma_0} \quad (29)$$

На основании (28) и (29) получаем соотношение:

$$\omega(R_1^2 - R_0^2) = C_{20}\left(R_1^{2+\gamma_0} - R_0^{2+\gamma_0}\right) \quad (30)$$

Из (30) находим, что

$$\mathrm{C}_{20} = \frac{\omega[1-\left(\frac{R_0}{R_1}\right)^2]}{R_1^{\gamma_0}[1-\left(\frac{R_0}{R_1}\right)^{2+\gamma_0}]} \quad (31)$$

Подстановка (31) и (28) позволяет найти:

$$\mathrm{C}_{10} = \frac{\omega R_0^2[1-\left(\frac{R_0}{R_1}\right)^{\gamma_0}]}{1-(\frac{R_0}{R_1})^{2+\gamma_0}} \quad (32)$$

Подстановка (31) и (32) в (25) приводит к следующему результату:

$$v_{\varphi}^{(0)} = \frac{\omega R_0^2}{r} \cdot \frac{1-(\frac{R_0}{R_1})^{\gamma^0}}{1-(\frac{R_0}{R_1})^{2+\gamma^0}} + \omega r \cdot (\frac{r}{R_1})^{\gamma_0} \cdot \frac{1-(\frac{R_0}{R_1})^2}{1-(\frac{R_0}{R_1})^{2+\gamma_0}} \quad (33)$$

Анализ графической зависимости, представленной на рис. 2, позволяет сделать вывод, что изменение тангенциальной составляющей скорости движения материала в нулевой зоне с погрешностью 3 % носит линейный характер.

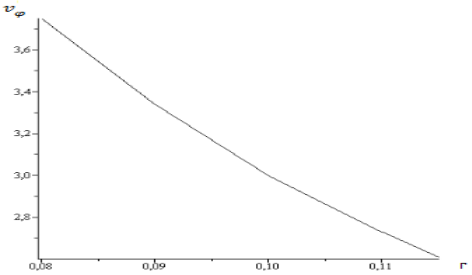


Рис. 2. График изменения тангенциальной составляющей скорости в нулевой зоне движения материала

Для нахождения тангенциальной составляющей скорости движения материала в зоне 1 (*i=1*) на основании (2.40) имеем:

$$v_{\varphi}^{(1)} = \frac{\mathrm{C}_{11}}{r} + C_{21} \quad (34)$$

Чтобы определить произвольные постоянные в (34) необходимо воспользоваться граничными условиями следующего вида:

при $r = R_1; v_{\varphi}^{(1)} = \omega R_1$ (35)

при $r = R_2; \quad v_{\varphi}^{(1)} = 0$ (36)

Применив (35) и (36) к (34) получим следующее соотношения:

$$\omega R_1 = \frac{C_{11}}{R_1} + C_{21} R_1^{1+\gamma_1} \quad (37)$$

$$0 = \frac{C_{11}}{R_2} + C_{21} R_2^{1+\gamma_1} \quad (38)$$

Полученные соотношения (37) и (38) предоставляют собой систему двух линейных уравнений относительно неизвестных величин C_{11} и C_{21}. На основании (37) и (38) находим, что

$$\omega R_1^2 = C_{21}\left(R_1^{2+\gamma_1} - R_2^{2+\gamma_1}\right) \quad (39)$$

Из (39) следует:

$$C_{21} = -\frac{\omega R_1^2}{R_2^{2+\gamma_1}\left[1-\left(\frac{R_1}{R_2}\right)^{2+\gamma_1}\right]} \quad (40)$$

Подстановка (40) в (37) позволяет получить следующие значения константы C_{11} :

$$C_{11} = \frac{\omega R_1^2}{1-(\frac{R_1}{R_2})^{2+\gamma_1}} \quad (41)$$

Принимая во внимание (40) и (41) выражения (34) можно привести к следующему виду:

$$v_{\varphi}^{(1)} = \frac{1}{1-\left(\frac{R_1}{R_2}\right)^{2+\gamma_1}} \cdot \left[\frac{\omega R_1^2}{r} - \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2 \left(\frac{r}{R_2}\right)^{\gamma_1} \cdot \omega r\right] \quad (42)$$

Тангенциальная составляющая скорости движения материала в зоне 2 (*i*=2)согласно (25) равна:

$$v_{\varphi}^{(2)} = \frac{\mathrm{C}_{12}}{r} + C_{22} \cdot r^{1+\gamma_2} \quad (43)$$

Для определения произвольных постоянных в соотношении (43) необходимо воспользоваться граничными условиями следующего вида:

при $r = R_2; \quad v_{\varphi}^{(2)} = 0$ (44)

при $r = R_3; v_{\varphi}^{(2)} = \omega R_3$ (45)

Применив граничные условия (44) и (45) к выражению (43) получаем:

$$0 = \frac{C_{12}}{R_2} + C_{22} R_2^{1+\gamma_2} \quad (46)$$

$$\omega R_3 = \frac{C_{12}}{R_3} + C_{22} R_3^{1+\gamma_2} \quad (47)$$

Разрешая систему уравнений (46) и (47) находим:

$$\mathrm{C}_{22} = \frac{\omega}{R_3^{\gamma_2}[1-\left(\frac{R_2}{R_3}\right)^{2+\gamma_2}]} \quad (48)$$

$$\mathrm{C}_{12} = -\omega R_2^2 \left(\frac{R_2}{R_3}\right)^{\gamma_2} \cdot \frac{1}{1-\left(\frac{R_2}{R_3}\right)^{2+\gamma_2}} \quad (49)$$

Подставляя (48) и (49) в (43) позволяет провести последнее к виду:

$$v_{\varphi}^{(2)} = \frac{1}{1-\left(\frac{R_2}{R_3}\right)^{2+\gamma_2}} \cdot \left[\omega r \cdot \left(\frac{r}{R_3}\right)^{\gamma_2} - \frac{\omega R_2^2}{r}\left(\frac{R_2}{R_3}\right)^{\gamma_2}\right] \quad (50)$$

На основании (25) определим тангенциальную составляющую скорости материала в зоне 3 (*i* = 3):

$$v_{\varphi}^{(3)} = \frac{\mathrm{C}_{13}}{r} + C_{23} \cdot r^{1+\gamma_3} \quad (51)$$

С целью определения постоянных в (51) нужно воспользоваться граничными условиями следующего вида:

при $r = R_3; \quad v_{\varphi}^{(3)} = \omega R_3$ (52)

при $r = R_4; \quad v_{\varphi}^{(3)} = 0$ (53)

На основании граничных условий (52) и (53) и (51) получаем следующую систему урав-

нений для определения произвольных постоянных C_{13} и C_{23}.

$$\omega R_3 = \frac{C_{13}}{R_3} + C_{23} R_3^{1+\gamma_3} \quad (54)$$

$$0 = \frac{C_{13}}{R_4} + C_{23} R_4^{1+\gamma_3} \quad (55)$$

Разрешая уравнения (54) и (55) находим следующие значения:

$$C_{23} = \frac{\omega R_3^2}{R_4^{2+\gamma_3}\left[1-\left(\frac{R_3}{R_4}\right)^{2+\gamma_3}\right]} \quad (56)$$

$$C_{13} = \frac{\omega R_3^2}{1-\left(\frac{R_3}{R_4}\right)^{2+\gamma_3}} \quad (57)$$

Подставляя (56) и (57) в функциональную зависимость (51) получаем следующие выражение:

$$v_\varphi^{(3)} = \frac{1}{1-\left(\frac{R_3}{R_4}\right)^{2+\gamma_3}} \cdot \left[\frac{\omega R_3^2}{r} - \omega r \cdot \left(\frac{R_3}{R_4}\right)^2 \left(\frac{r}{R_4}\right)^{\gamma_3}\right] \quad (58)$$

В силу неподвижности цилиндра с радиусом R_4 в области 4 значение тангенциальной скорости

$$v_\varphi^{(4)} = 0 \quad (59)$$

Таким образом полученные соотношения (33), (42), (50), (58) и (59) определяют изменение тангенциальной скорости движения материала во внутренней области РПУ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щербинин И.А. Роторно-пульсационная установка для производства пенобетона: автореф. дис. … канд. тех. наук: 050213/ Щербинин И.А.; БГТУ им. В.Г.Шухова. Белгород, 2009. 21 с.

2. Воронов В.П., Семикопенко И.А., Пензев П.П. Теоретические исследования скорости движения частиц материала вдоль поверхности ударного элемента мельницы дезинтеграторного типа. Известия вузов. Строительство. 2008. №11. С. 93-96.

3. Щербинина О.А., Щербинин И.А., Уваров В.А. Вычисление значений поля скоростей смеси пенобетона в роторно-пульсационной установке при турбулентном режиме. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 5. С. 71-75.

4. Щербинина О.А., Щербинин И.А., Уваров В.А. Получение разрешающей системы уравнений для расчета движения смеси в роторно-пульсационной установке для получения пенобетона. //Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 4. С. 78-81.

5. Ханин С.И., Богданов В.С., Старченко Д.Н. Модель движения мелющих тел в цилиндрическом барабане трубной шаровой мельницы // Строительные и дорожные машины. 2008. №10. С. 46-47.

6. Ханин С.И., Воронов В.П., Трухачев С.С. Определение критической скорости разрушения частиц материала в трубной шаровой мельнице // Известия вузов. Строительство. 2009. №2. С. 123-128.

7. Ханин С.И., Богданов В.С., Старченко Д.Н. Особенности продольного движения мелющих тел в цилиндрическом барабане мельницы // Строит.и дорожные машины. 2008. №11. С. 38-39.

8. Дорфман Л.А. Гидродинамическое сопротивление и теплоотдача вращающихся тел / Л.А. Дорфман. - М.: Физматгиз, 1960. 260 с.

9. Семикопенко И.А., Воронов В.П., Пензев П.П. Агрегат предварительной классификации и помола материала. // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2010. № 6. С. 76-82.

Shcherbinina O.A., Shcherbinin I.A., Uvarov V.A.

THE CALCULATION OF THE TANGENTIAL COMPONENT OF THE VELOCITY VECTOR VISCOUS MATERIAL INTO A ROTARY-PULSATING INSTALLATION

A mathematical basis of the theoretical studies of motion of viscous fluid in the body RPU is the equation of motion of viscous medium (Navier-Stokes). Case RPI without hopper has axial symmetry, so finding a component of the vector of velocity of the viscous medium inside RPU easier to fill in the cylindrical coordinate system. Into force axial symmetry of motion of a viscous environment inside RPI natural to assume that all the required values for the steady motion depend only on one variable, «r».

Key words: *RPI, the component of the velocity vector, and axial symmetry of motion of a viscous environment.*

Голдобина В.Г., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ПЕРЕНОСНОЙ СВЕРЛИЛЬНЫЙ СТАНОК ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ

tmrk@intbel.ru

Рассмотрен переносной сверлильный станок, предназначенный для совместной обработки отверстий во фланцевых соединениях помольных мельниц при ремонте и монтаже. Конструкция станка рассчитана на установку его непосредственно на объект с креплением на фланцах. Для базирования переносного станка на фланцах имеется фиксатор и опорное коромысло. Изложены особенности технологии установки на объект и обслуживания специального переносного сверлильного станка. Приводится решение задачи по определению статической точности станка с использованием теории размерных цепей.

Ключевые слова: *отверстия, фланцевые соединения, крупногабаритное оборудование, помольные мельницы, переносной станок, размерная цепь.*

Введение. Крупногабаритное оборудование, в большинстве своем, имеет фланцевые соединения, скрепляемые болтами. При замене изношенных деталей и узлов на новые необходимо, чтобы отверстия под прецизионные болты в их фланцах совмещались с отверстиями в стыкуемых фланцах. Это техническое условие может быть обеспечено совместной обработкой отверстий в соединяемых фланцах. Такая обработка во фланцах крупногабаритного оборудования возможна с использованием переносных устройств или станков [1].

В настоящей работе рассматривается переносной сверлильный станок, предназначенный для технологии совместной обработки отверстий во фланцах помольных мельниц. Переносной станок позволяет, за одну его установку, выполнять сверление, зенкерование, развертывание. Переносной станок представляет собой сборно-сварную конструкцию [2], состоящую из основных узлов – кронштейна, рамы, шпиндельной головки, механизма подач (рис. 1). Этот станок относится к группе нестационарных станков и устанавливается непосредственно на объект, на котором производится обработка.

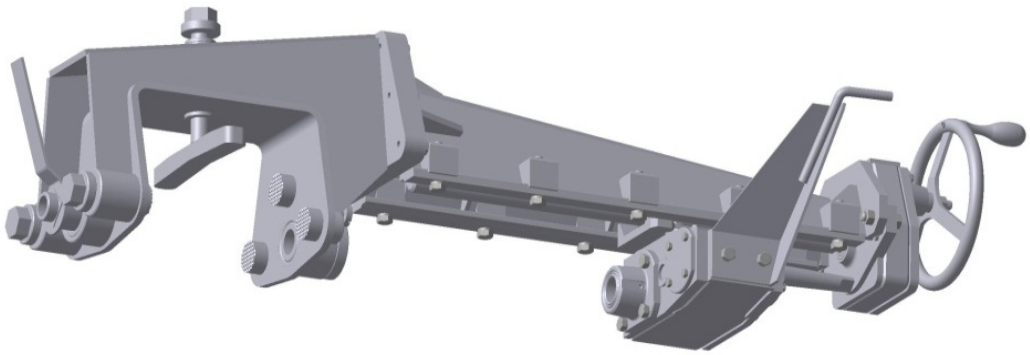


Рис. 1. Переносной станок СПС 056М

Методология. Переносной сверлильный станок на фланцы мельницы устанавливается с помощью кронштейна, в котором имеются зажимные элементы для его крепления, фиксатор и опорное коромысло для базирования. Станок может использоваться, когда в одном из фланцев имеются отверстия и требуется соосно с ними обработать отверстия в другом фланце, и когда требуется обработать отверстия в обоих фланцах. Фиксатор используется, когда требуется обработать отверстия в одном из фланцев. Опорное коромысло применяется при обработке отверстий в обоих фланцах.

Установка станка с его центрированием по имеющимся отверстиям во фланце базовой детали *2* производится с помощью фиксатора *4*, расположенного в левой части кронштейна *1* (рис. 2). Работа по установке станка на фланцы выполняется в последовательности [2].

Станок пристыковывается к фланцу *3* установочными элементами *5* со стороны обрабатываемых отверстий. С противоположной стороны производится ввод фиксатора *4*, через направляющую втулку *10* в отверстие базовой детали. После чего станок закрепляется на фланцах *2* и *3* зажимными винтами *6* и из отверстия выводится фиксатор *4*. В шпиндель сверлильной головки станка устанавливается сверло, которое подводится в зону обработки через сменную кондукторную втулку *8*, и производится обработка отверстия во фланце *3*.

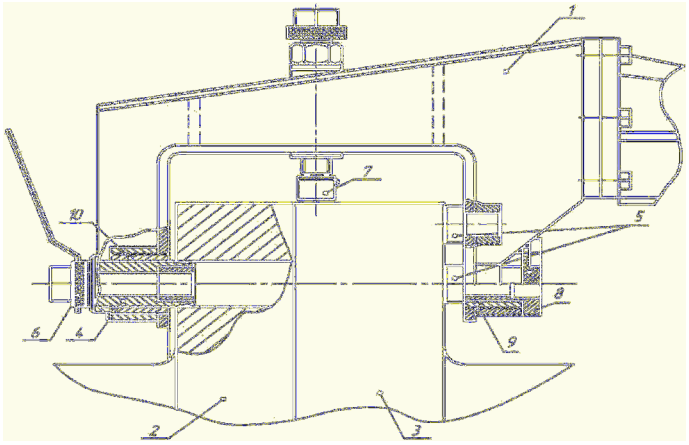


Рис. 2. Схема установка станка по фиксатору

Не всегда требуется обработка отверстий только в одном из смежных фланцев. Обработка отверстий в обоих фланцах встречается не так уж редко. Ранее не решался вопрос установки станка на объект для обработки отверстий в обоих фланцах. При имеющихся переносных установках затруднено определение их положения на объекте из-за отсутствия соответствующих элементов базирования. Для такой установки у рассматриваемого станка СПС 056М предусмотрен дополнительный опорный элемент – коромысло, с помощью которого должно производиться базирование по наружной цилиндрической поверхности фланцев с обеспечением нужного диаметрального размера окружности, на которой должны располагаться обрабатываемые отверстия. В настоящей работе рассматривается решение задачи по установке переносного сверлильного станка на объект с использованием опорного коромысла.

Работа по наладке и установке станка выполняется в последовательности (рис. 2). Производится регулировка коромысла *7*, расположенного в верхней части кронштейна *1*, на требуемый размер по высоте и его стопорение [2]. Затем станок устанавливается до касания коромыслом *7* цилиндрической поверхности и установочными элементами *5* торцовой поверхности фланца *3*. После чего станок закрепляется на фланцах зажимными винтами *6*. При этом фиксатор *4* отводится в крайнее левое положение, чтобы он утопал во втулке *10*, или же его можно удалить. Далее производится обработка отверстия.

Основная часть. Основой установки станка по коромыслу является его нужное положение. В работе сделан акцент на регулировку коромысла на требуемый размер (рис. 3).

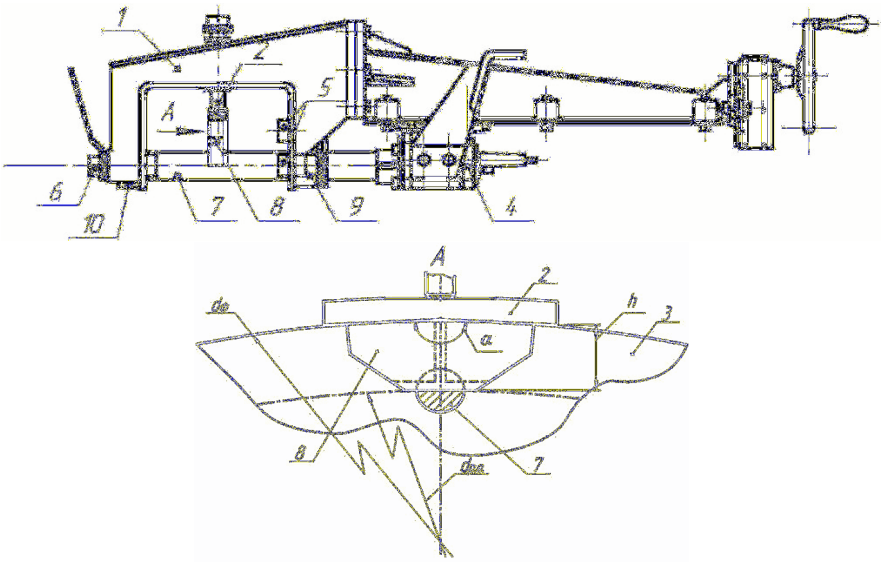


Рис. 3. Схема установка коромысла по шаблону

Для регулировки коромысла *2* используется цилиндрическая оправка *7* с коническим хвостовиком и настроечный шаблон *8*. На цилиндрической части оправки имеется поперечный паз для установки шаблона по высоте и продольная шпонка, обеспечивающая его осевое положение,

совпадающее с осью обрабатываемых отверстий во фланце. Регулировка коромысла выполняется в последовательности. Оправка хвостовиком устанавливается в шпиндель сверлильной головки *4* и перемещается с вводом её сначала в кондукторную втулку *9*, а затем в направляющую втулку *10*, которые сосны со шпинделем. Положение оправки должно быть таковым, чтобы паз на ней располагался под коромыслом. В паз вкладывается шаблон. По шаблону производится установка коромысла, после чего оно стопорится. После чего оправка и шаблон извлекаются, и производится установка станка. Оправка и шаблон являются сменными и подбираются по отверстию и высоте, которые зависят от типоразмера мельницы.

Расчетная погрешность установки станка, с использованием коромысла, по высоте на размер h (рис. 3), т.е. отклонение размера, полученного при настройке, зависит от отклонения размера диаметра цилиндрической поверхности фланца – $d_ф$, на которое устанавливается коромысло, и угла (между опорными поверхностями) призмы коромысла, и может быть определена по формуле:

$$\varepsilon_h = \frac{\Delta d_ф}{2} \cdot \left(\frac{1}{\sin(\alpha/2)} - 1\right)$$

где $\Delta d_ф$ – отклонения размера диаметра цилиндрической поверхности фланца; α – угол призмы коромысла.

Величина погрешности базирования не должна превышать допуска на диаметр окружности расположения обрабатываемых отверстий – $d_{р.о.}$:

$$\varepsilon_h \le Td_{р.о.}$$

Применение фиксатора и коромысла для установки специального переносного сверлильного станка расширяет его технологические возможности и улучшает обслуживание.

При обработке прецизионных отверстий, после сверления производится смена инструмента и заменяется сменная кондукторная втулка. После окончательной обработки отверстия на одной позиции переносной сверлильный станок переустанавливается на другую позицию. Процесс установки станка и обработки отверстия повторяется.

Также в настоящей работе рассматривается решение задачи по определению статической точности переносного станка. Так как ввод режущего инструмента во втулку может быть плавным при совмещении их осей, то основным техническим условием станка должно быть обеспечение соосности осей шпинделя головки и направляющей втулки кронштейна. Определение заданного параметра проводиться с помощью теории размерных цепей. Рассматривается размерная цепь α в продольной плоскости станка (рис. 4).

Показатели параметров звеньев размерной цепи:

α_0 – соосность осей шпинделя головки и направляющей втулки кронштейна (исходное звено);

α_1 – параллельность оси шпинделя головки относительно её опорной поверхности;

α_2 – отклонение опорной поверхности шпиндельной головкой от параллельности направляющих;

α_3 – перпендикулярность опорной поверхности фланца рамы относительно опорной поверхности под направляющие;

α_4 – перпендикулярность оси отверстия направляющей втулки относительно опорной поверхности фланца кронштейна.

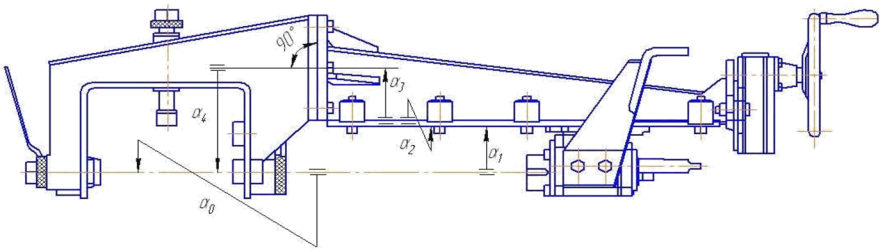


Рис. 4. Схема переносного станка и его размерной цепи

Уравнение размерной цепи:

$$T\alpha_0 = \sum_{i=1}^{m-1} T\alpha_i = T\alpha_1 + T\alpha_2 + T\alpha_3 + T\alpha_4 .$$

Допуск исходного звена, заданный на чертеже: – $T\alpha_0 = 0{,}01$ мм на длине 200 мм.

Тогда средний допуск на составляющие звенья размерной цепи:

$T\alpha_{ср.} = T\alpha_0/(m-1) = 0{,}01/4 = 0{,}0025$ мм на длине 200 мм,

где m – общее число звеньев – 5.

Малая величина среднего допуска и количество звеньев – 4, из которых α_1 представляет собой замыкающее звено узловой размерной цепи шпиндельной головки, вызывает затруднение в выполнении такого допуска. Следовательно, для решения размерной цепи необходимо применить метод *пригонки*. Пригонку шабрением удобно выполнить на опорной поверхности шпиндельной головкой, так как она доступна и имеет наименьшую площадь контакта. Величина отклонения звена α_1 на чертеже не установлена, а его размер обозначен как справочный. Однако параметры этого звена непосредственно влияют на исходное звено α_0. В расчетах рассматриваемой размерной цепи для звена α_1 принят экономически выгодный допуск – 0,05мм. На другие составляющие звенья размерной цепи допуски приняты из чертежей на станок СПС 056: $T\alpha_2 = 0{,}01$; $T\alpha_3 = 0{,}04$; $T\alpha_4 = 0{,}04$. При этих допусках поле рассеивания исходного звена:

$$\omega_0 = 1{,}2\sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} T\alpha_i^2} = 1{,}2\sqrt{0{,}05^2 + 0{,}01^2 + 0{,}04^2 + 0{,}04^2} = 0{,}091 \text{ мм на длине 200мм,}$$

что значительно превышает допуск исходного звена. Тогда величина компенсации для звена α_1 должна быть:

$$\Delta_к = \omega - T\alpha_0 = 0{,}091 - 0{,}01 = 0{,}081 \text{мм.}$$

Пригонку шабрением опорной поверхности шпиндельной головки звена α_1 необходимо выполнять по месту при предварительной сборке, до установки механизма подач, перемещая головку по направляющим рамы вручную. Такой метод сборки экономически выгоден для сборно-сварной конструкции станка СПС 056М.

Выводы. Переносной сверлильный станок может применяться в производстве при выполнении ремонтных и монтажных работ, связанных с совместной обработкой отверстий под крепежные и прецизионные болты во фланцах помольных мельниц. Он позволяет сократить затраты связанные с обработкой отверстий в ремонтном цехе и транспортировкой крышки к мельнице при раздельной обработке. По своим параметрам переносной станок позволяет вести обработку отверстий как во фланцевых соединениях корпуса мельницы с крышкой, так и во фланцевых соединениях патрубка с крышкой. Данный станок может использоваться для обработки отверстий и на других объектах, имеющих фланцевые соединения. Наличие фиксатора и опорного коромысла облегчает установку и базирование станка на объекте, повышает точность обработки, сокращает время, связанное с установкой станка.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Голдобина В.Г. Разработка технологии и оборудования механической обработки прецизионных отверстий фланцевых соединений крупногабаритного оборудования: диссертация канд. техн. наук. Белгород, 2005. С. 29-34.

2. Патент РФ № 2013149874/02, 7.11.2013. Голдобина В.Г., Архипова Н.А. Переносной сверлильный станок// Патент России № 137680. 2014. Бюл. № 6.

Goldobina V.G.

PORTABLE BORING MACHINE-TOOL

Considered a portable boring machine tool for co-processing boring in the flange connections grinding mills. The machine is used in the repair and installation. The design of the machine is provides to fit it directly on the object to mount on the flanges. For the basing portable machine has a lock on the flanges and the reference beam. Outlines technology features on-site installation and maintenance. The article deals with the task of defining a static accuracy of machine using the theory of dimensional chains.

Key words: *boring, flanged connecting, oversized equipment, grinding mill, portable machine, dimensional chain.*

Графкина М.В., д-р техн. наук, проф.,
Нюнин Б.Н., д-р техн. наук, проф.,
Свиридова Е.Ю., канд. техн. наук
Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)

МЕХАНИЗМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ИНФРАЗВУКА ОТ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ КАК НЕГАТИВНОГО ФАКТОРА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

evg_sviridova@mail.ru

Инфразвук является одним из негативных факторов окружающей среды. В статье рассмотрен механизм возникновения внешнего инфразвука от наземных транспортных средств. Описана качественная модель образования внешнего инфразвука автомобиля и приведены результаты расчета. Показано, что уровень инфразвука зависит от скорости движения и конструктивных особенностей транспортного средства. Авторами отмечено, что превышение нормативных значений уровней инфразвука возможно на территориях, прилегающих к транспортному потоку со скоростями движения выше 80 км/ч. Изучение механизма возникновения инфразвука от наземных транспортных средств позволит разработать эффективные средства снижения уровней данного негативного фактора.

***Ключевые слова**: инфразвук, окружающая среда, наземное транспортное средство, математическая модель, скорость движения, частота срыва вихрей, коэффициент лобового сопротивления, конструктивные особенности, колесные гармоники*

В городских условиях основным источником шума и инфразвука являются наземные транспортные средства (НТС). В настоящее время все более широкое распространение находят НТС с электро- и гибридными установками, которые характеризуются низким уровнем звукового давления. Несмотря на то, что в ближайшие годы прогнозируется существенное снижение шума от транспортных потоков в звуковом диапазоне, уровень инфразвука НТС не только не снижается, а в некоторых случаях увеличивается.

Имеется небольшое количество научных работ, посвященных исследованию инфразвука на селитебных территориях, расположенных вблизи транспортных магистралей. Например, Васильевым А.В. [1] проведены измерения инфразвука на территории жилой застройки в г. Тольятти, в ходе исследований выявлено, что для ряда участков территории городского округа Тольятти наблюдается значительное превышение санитарно-гигиенических норм по инфразвуку и низкочастотному шуму. Воздействие инфразвука и низкочастотного шума оказывает вредное влияние на человека. Оно вызывает общебиологическое действие: головная боль, головокружение, нарушение функции вестибулярного аппарата, снижение внимания и работоспособности, появления чувства страха, общего недомогания [2].

На основании вышеизложенного и имея определенные наработки в данной области [3], авторы считают, что для разработки эффективных средств снижения инфразвука от НТС следует подробнее изучить механизм возникновения инфразвука от наземных транспортных средств.

Исследования на масштабной модели легкового автомобиля, проведенные институтом механики МГУ показали, что источником внешнего инфразвука в частотном диапазоне 1,7…28 Гц могут быть пульсации продольной компоненты скорости набегающего потока воздуха. Это приводит к образованию вихревого шума, связанного с периодическим срывом вихрей с обтекаемого тела, частота срыва вихрей и частота звука равны.

Теоретическое исследование механизма возникновения инфразука проводилось на качественной модели - цилиндр в набегающем потоке воздуха в отсутствии ветра. Размеры цилиндра соответствовали габаритным размерам автомобиля (L – длина; h – высота), а лобовое сопротивление – лобовому сопротивлению автомобиля (Cx). Скорость набегающего потока воздуха (Vn) равнялась скорости автомобиля (Va) (рис. 1). При этом диаметр цилиндра равняется высоте салона.

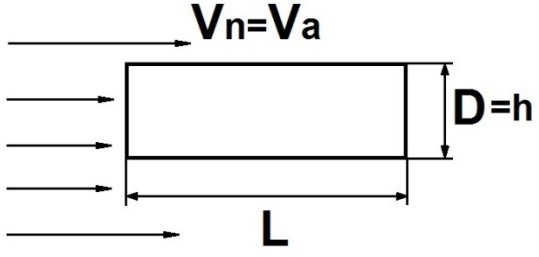


Рис. 1. Модель возникновения инфразвука

Частота срыва вихрей и соответственно частота порождаемого им звука определяется с помощью соотношения Струхаля:

$$f = S_h \cdot \frac{V}{h}, \quad (1)$$

где S_h – число Струхаля, V – скорость автомобиля, м/с, h – высота салона автомобиля, м.

Величина инфразвукового давления может быть посчитана по формуле:

$$P = \frac{\rho}{c^3}(C_x S h)^2 V^6 l^2, \quad (2)$$

где C_x – коэффициент лобового сопротивления автомобиля м/с, l – длина кузова, м, с – скорость звука, м, ρ – плотность воздуха, кг/м^3

Для расчетной оценки уровня внешнего инфразвука были выбраны несколько различных типов автомобилей (автобус, грузовой автомобиль, малотоннажный грузовой автомобиль, легковой автомобиль, гибридный легковой автомобиль и микролитражный городской автомобиль, см. таблицу 2). Для каждого автомобиля были проведены расчеты при скоростях движения 60, 80, 100 и 120 км/ч.

Таблица 1

Характеристики автомобилей

Автомобиль	Коэффициент лобового сопротивления C_x	Длина автомобиля, l, м	Высота салона автомобиля, h, м
Ikarus 250	0,71	12	3,2
КАМАЗ 5320	0,68	7,39	2,83
ГАЗ 33022	0,65	5,47	2,57
Renault Logan	0,36	4,29	1,53
Toyota Prius	0,26	4,46	1,5
Daewoo Matiz	0,39	3,49	1,48

Результаты расчета частоты срыва вихрей по формуле (1) показаны на рисунке 2. Частотный диапазон внешнего инфразвука в зависимости от типа автомобиля составляет от 1 до 5 Гц.

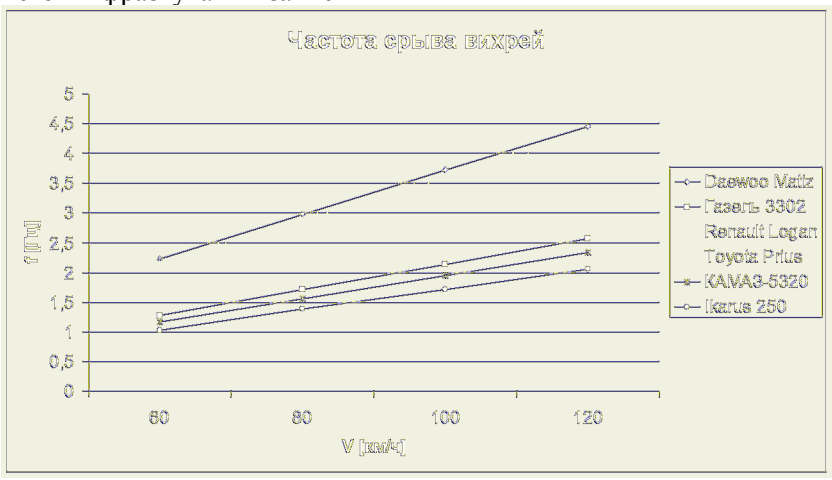


Рис. 2. Частота срыва вихрей

Величина инфразвукового давления оценивалась по формуле (2), значения C_x и l выбирались в табл. 1 для каждого автомобиля.

На рисунке 3 приведены результаты расчета уровней инфразвука. Уровни инфразвука находятся в диапазоне от 65 до 135 дБ в зависимости от скорости и типа автомобиля. Максимальные уровни внешнего инфразвука имеют место при движении грузовых автомобилей и автобусов.

Минимальный уровень внешнего инфразвука создают автомобили Toyota Prius и Daewoo Matiz. Далее на расчетной модели была проведена оценка влияния конструктивных особенностей автомобиля на уровень инфразвука. Минимальную длину кузова имеет Daewoo Matiz, поэтому теоретическая оценка влияния длины на уровень инфразвука проводилась на автомобиле Daewoo Matiz. Длина его кузова менялась от 3,5 до 12 м.

На рисунке 4 представлен график уровня инфразвука при различной длине автомобиля. Из графика видно, что при увеличении длины автомобиля в 2 раза уровень внешнего инфразвука увеличивается на 10 дБ, а при увеличении длины автомобиля до 12 м уровень внешнего инфразвука увеличивается на 22 дБ.

Уровень инфразвука транспортного потока зависит от его скорости и состава (количество грузовых автомобилей и автобусов).

Расчетная оценка влияния величины Cx на уровень инфразвука проводилась на автомобиле Toyota Prius, т. к. этот автомобиль имеет мини-

мальный коэффициент лобового сопротивления Cx = 0,26.

На рис. 5 представлен график изменения уровня внешнего инфразвука в зависимости от коэффициента лобового сопротивления. При изменение Cx от 0,26 до 1 уровень инфразвука возрастает на 35 дБ.

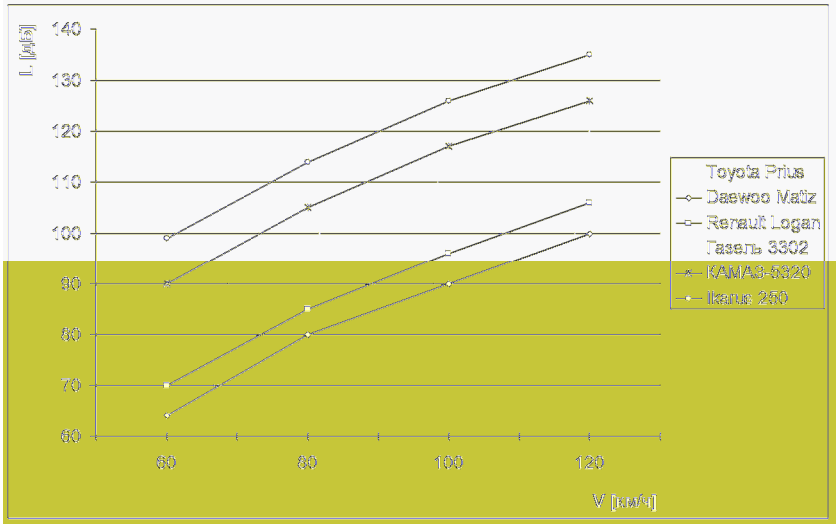


Рис. 3. Расчетные уровни инфразвукового давления автомобилей при разной скорости движения

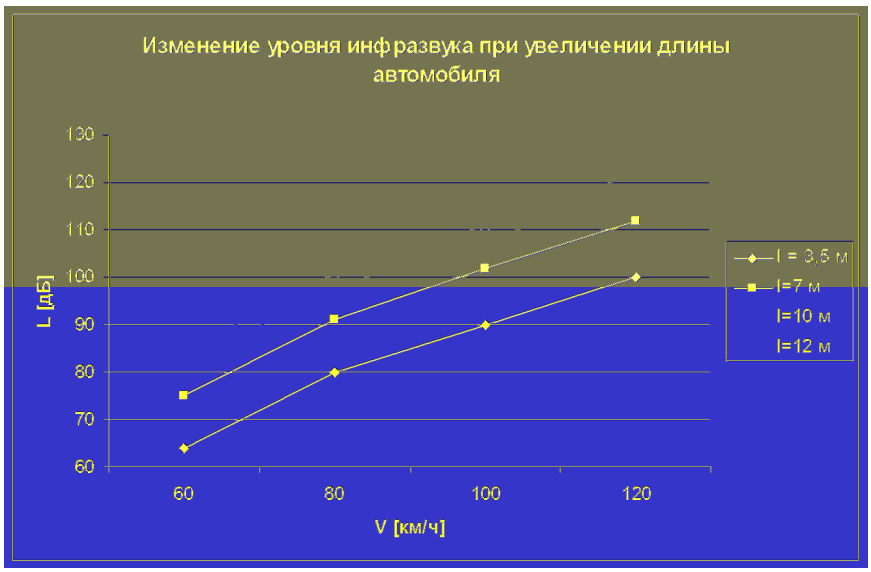


Рис. 4. Расчетный уровень инфразвука при различной длине автомобиля

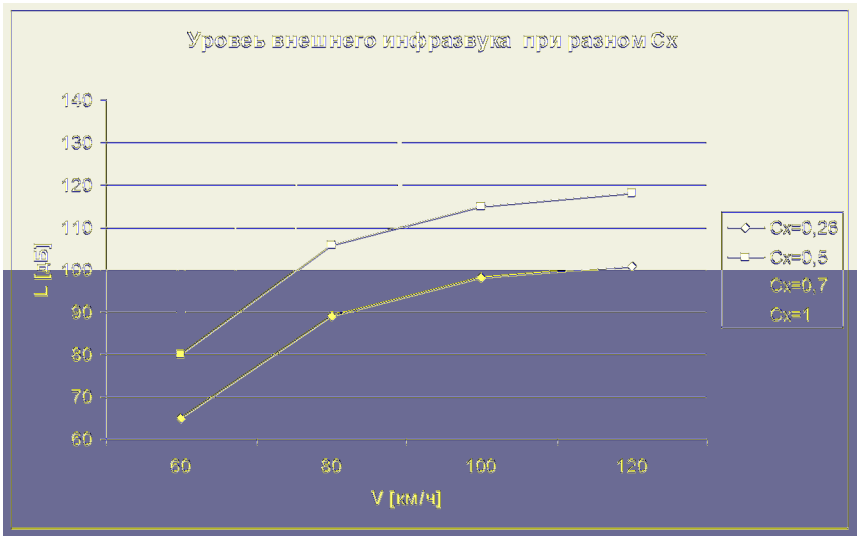


Рис. 5 Расчетный уровень внешнего инфразвука при различном коэффициенте лобового сопротивления

Величина инфразвукового давления оценивалась по формуле (2), где p – плотность воздуха (ρ = 1,29 кг/м^3); c – скорость звука (c = 340 м/с) ; Sh=0,2; значения C_x и l – выбирались из табл. 2 для каждого автомобиля.

На рис. 6 приведены результаты расчета уровней инфразвука. Уровни инфразвука находятся в диапазоне от 65 до 135 дБ в зависимости от скорости и типа автомобиля. Максимальные уровни внешнего инфразвука имеют место при движении грузовых автомобилей и автобусов.

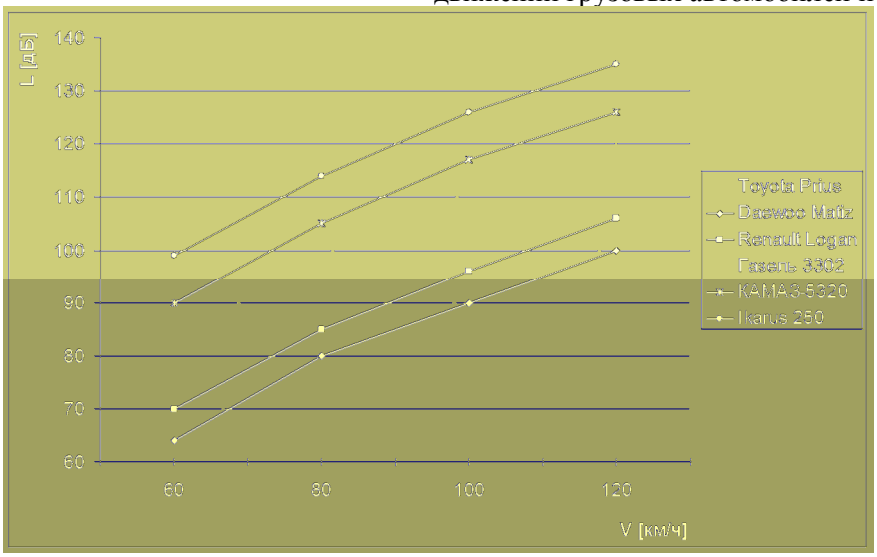


Рис. 6. Расчетные уровни инфразвукового давления автомобилей при разной скорости движения

Таким образом, результаты расчета показали существенную зависимость уровня внешнего инфразвукового давления от скорости, конструктивных особенностей кузова или кабины автомобиля.

Следующим источником инфразвука в автомобиле являются колеса, которые совершают вращательные и поступательные движения в набегающем потоке воздуха (рис. 7).

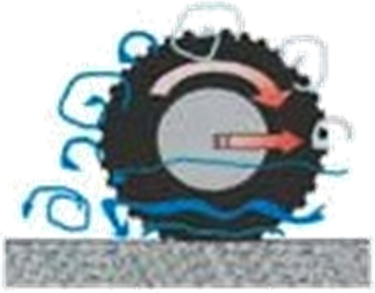


Рис. 7. Турбулентный шум обтекания, вращающейся шины

Частота колесной гармоники в спектрах вибрации агрегатов и шума в кузове:

$$f = k \cdot V_a / 22{,}6 R_{дин}, \qquad (3)$$

где k = 1, 2, 3…– числовой ряд, Va – скорость автомобиля, м/с, $R_{дин}$ – динамический радиус качения шины, м.

Проведен расчет 5 колесных гармоник для колеса от R=13 дюймов легкового автомобиля при скорости движения 80,100 и 120 км/ч.

Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Расчеты частоты колесных гармоник

V[км/ч]	f_1[Гц]	f_2[Гц]	f_3[Гц]	f_4[Гц]	f_5[Гц]
80	22	45	67	90	112
100	28	56	84	112	141
120	33	67	101	135	169

При скоростях 80…120 км/ч частоты колесных гармоник находятся в диапазоне от 20…170 Гц. При увеличении радиуса колеса частоты колесных гармоник будут снижаться, особенно для грузовых автомобилей и автобусов.

В транспортном потоке спектр колесных гармоник будет перекрывать низкочастотный и инфразвуковой диапазон.

Расчетные исследования механизма возникновения внешнего инфразвука транспортного средства показали, что его частота и уровень зависят от скорости движения, коэффициента лобового сопротивления, длины и высоты кузова.

Изучение механизма возникновения инфразвука от наземных транспортных средств позволит разработать эффективные средства снижения инфразвука от НТС, например резонансные поглотители и устройства активного глушения шума.

Важно отметить, что превышение инфразвуком нормативных значений [4] может быть только на селитебных территориях, прилегающих к транспортному потоку со скоростями движения свыше 80 км/ч. Таким образом, рациональная организация дорожного движения поз-

волит уменьшить уровни инфразвука и снизить негативное воздействие данного фактора на организм человека и окружающую среду.

В дальнейшем предполагается совершенствование математической модели (переход от «стержня» к реальному кузову) с целью повышения точности расчетов, а также проведение практических экспериментов по измерению уровней инфразвука в натурных и стендовых условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев А.В. Мониторинг и снижение негативного воздействия низкочастотного звука и вибрации на территории городского округа Тольятти // Защита населения от повышенного шумового воздействия: Всероссийская научно-практическая конференция (Санкт-Петербург, 22024 марта 2011 г.), Санкт-Петербург, 2011. С. 149-164.

2. Зинкин В.Н, Богомолов А.В., Драган С.П., Ахметзянов И.М. Кумулятивные медико-экологические эффекты сочетанного действия шума и инфразвука// Экология и промышленность России. март 2012. С. 46- 49.

3. Графкина М.В., Нюнин Б.Н., Свиридова Е.Ю. Определение энергетического низкочастотного воздействия на застроенных территориях // Вестник МГСУ. 2014. №4. С. 116-124.

4. Санитарные правила и нормы 2.2.4./2.1.8.10-35-2002. Инфразвук на рабочих местах, в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки [Электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200029239 (дата обращения: 15.05.2015).

Grafkina M.V., Nyunin B.N., Sviridova E.Y.

THE MECHANISM OF OCCURRENCE OF INFRASOUND FROM GROUND VEHICLES AS THE NEGATIVE ENVIRONMENTAL FACTORS

Infrasound is one of the negative factors of the environment. The article describes the mechanism of occurrence of infrasound on the outside of vehicles. We describe a quality education model external infrasound car and results calculation. It is shown that the level of infrasound depends on the speed and design features of the vehicle. The authors noted that exceeding the normative values of infrasound levels possible in the areas adjacent to the traffic flow with speeds above 80 km/h. The study of the mechanism of infrasound from ground vehicles will allow to develop effective means of reducing the levels of a negative factor.

Key words: *infrasound, environment, land vehicle, mathematical model, speed, frequency of vortex shedding, drag coefficient, design features, wheel harmonics.*

Шарапов Р.Р., д-р техн. наук, проф.,
Мамедов А. А., канд. техн. наук, доц.,
Харламов Е.В., ст. преп.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРИВОДОВ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН НА ЭВМ (ТАБЛИЧНЫЙ ПРОЦЕССОР EXCEL)

ptdm_zavkaf@mail.ru

В подъемно-транспортных машинах широко применяется электрический привод, который имеет ряд преимуществ: постоянная готовность к действию; возможность установки самостоятельного электропривода к каждому механизму, что упрощает конструкцию и управление механизмами; высокая экономичность; легкость регулирования скорости в значительных пределах; надежность работы предохранительных устройств; возможность работы со значительными кратковременными перегрузками.

Определение рациональности применения различных типов приводов ПТМ следует производить на основе анализа экономических и конструктивно-эксплуатационных показателей, из которых основными являются энергетические показатели, надежность работы и независимость от действия условий окружающей среды, удобство управления, технологичность конструкции.

Ключевые слова: *электродвигатели подъемно-транспортных машин, оптимизация по мощности, частоте вращения, габаритам.*

Введение. При выборе электродвигателя необходимо учитывать следующее:

1. При одной и той же номинальной мощности более быстроходный электродвигатель имеет больший к.п.д., меньшие габаритные размеры, массу и стоимость.

2. В целях экономии электроэнергии и обеспечение расчетной долговечности электродвигателя его недогрузка не должна превышать 25 %, а перегрузка 8 % при постоянной нагрузке и 10-12 % при переменой нагрузке.

3. Пусковой момент электродвигателя не должен быть меньше максимального момента, необходимого для пуска привода.

С другой стороны, с увеличением частоты вращения выбранного электродвигателя, растет общее передаточное число привода, а следовательно, и его стоимость.

Основная часть. На практике встречаются 4 основных режима нагрузки: длительный постоянный, длительный переменный, кратковременный и повторно-кратковременный. Режимы работы электропривода выбирают в зависимости от относительной продолжительности его включения:

$$\xi = \frac{t_{\text{р}}}{t_{\text{ц}}}, \qquad (1)$$

где $t_{\text{р}}$ – продолжительность работы двигателя при неизменной нагрузке, с; $t_{\text{ц}}$ – продолжительность цикла работы электродвигателя, с.

Продолжительный режим работы при $\xi > 0{,}6$, кратковременный при $\xi < 0{,}1$, повторно-кратковременный при $0{,}1 < \xi > 0{,}6$.

Выбор двигателя осуществляется по мощности и частоте вращения.

При длительном переменном режиме мощность на рабочем органе привода N_p (аналогично крутящий момент) изменяется по произвольному закону (рис. 1).

В этом случае потребная мощность электродвигателя определяется по формуле:

$$N_{\text{д}} = \frac{N_{\text{эф}}}{\eta}, \qquad (2),$$

где $N_{\text{д}}$ – требуемая мощность двигателя, кВт; $N_{эф}$ – номинальная мощность на выходном валу проектируемого привода, кВт; η – общий коэффициент полезного действия (к.п.д.) привода.

Номинальная мощность на выходном валу проектируемого привода определяется по формуле:

$$N_{\text{эф}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(N_i^2 t_i)}{t}}, \qquad (3)$$

где N_i – заданный закон изменения мощности (момента) в функции времени; t – период изменения нагрузки или общее машинное время работы привода, t_i – время работы привода по графику за период, ч.

Период изменения нагрузки или общее машинное время работы привода определяется по формуле:

$$t = 8760\, LK_{\text{г}}K_{\text{с}}, \qquad (4)$$

где L – расчетный срок службы привода, год; $K_{\text{г}}$ и $K_{\text{с}}$ – коэффициенты использования привода в течение года и в течении суток.

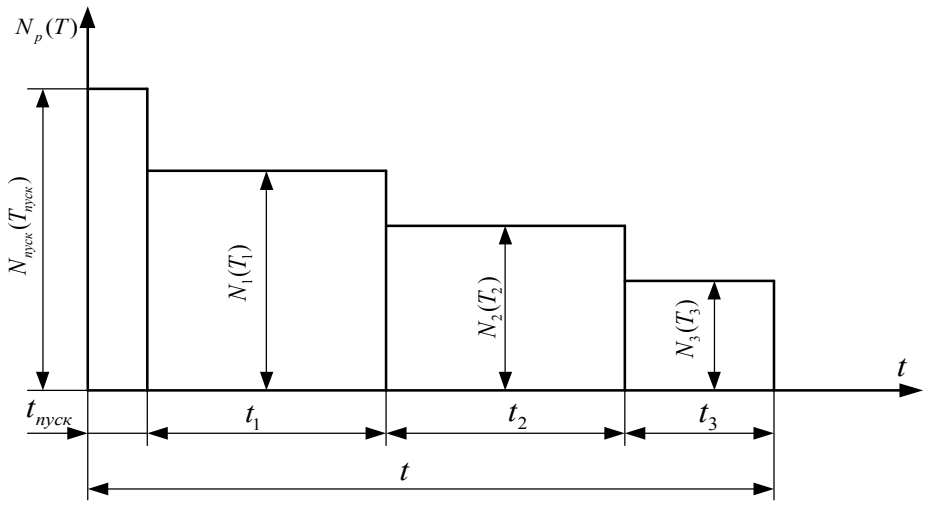


Рис. 1. График изменения мощности (крутящего момента) на валу рабочего органа машины

При ступенчатом изменении нагрузки (рис. 1) получаем:

$$N_{эф} = \sqrt{\frac{N_{пуск}^{L} t_{пуск} + N_1^2 t_1 + ... + N_n^2 t_n}{t}}, \qquad (5)$$

Аналогично определяется $M_{эф}$.

В результате расчета получается выражение:

$$N_{эф} = K N_{вм}, \qquad (6)$$

где $N_{вм}$ – максимальная мощность на ведомом валу привода, которая определяется в зависимости от конкретных условий, кВТ; $K \approx 0{,}3…0{,}8$ – безмерный коэффициент, получаемый при вычислении подкоренного выражения по формуле (6) [2, 3].

Максимальная мощность на ведомом валу привода определяется по формуле:

$$N_{вм} = \frac{FV}{1000}, \qquad (7)$$

где F – тяговая сила, Н; V – скорость движения рабочего органа, м/с.

Выбор электродвигателя можно произвести с помощью табличного процессора Excel.

Виды режимов приведены в названиях листов.

Примеры расчета для каждого режима приведены на рис. 2…5.

Ввод исходных данных производится в ячейки зеленого цвета. Результаты промежуточных расчетов приведены в ячейках желтого цвета.

Выбор электродвигателя производится в каталоге электродвигателей.

Рядом с характеристиками электродвигателя красным шрифтом выделяются результаты проверки соответствия критериям выбора: ИСТИНА – необходимый вам тип электродвигателя, ЛОЖЬ – несоответствие критериям выбора [3].

	A	B	C	D	E	F
1	Выбор асинхронного электродвигателя					
2	Режим работы - длительный постоянный					
3						
4	Исходные данные:					
5	Тяговая сила, кН					5,000
6	Скорость движения рабочего органа, м/с					0,600
7	Частота вращения ведомого вала, об/мин					31,39
8	КПД привода					0,698
9	Рекомендуемые значения передаточных чисел:					
10	минимальное:					8
11	максимальное:					40
12						
13	Требуемая мощность, кВт					3
14	Мощность на валу электродвигателя					4,298
15	Диапазон частот вращегия:					
16	от, об/мин					251,12
17	до, об/мин					1255,6

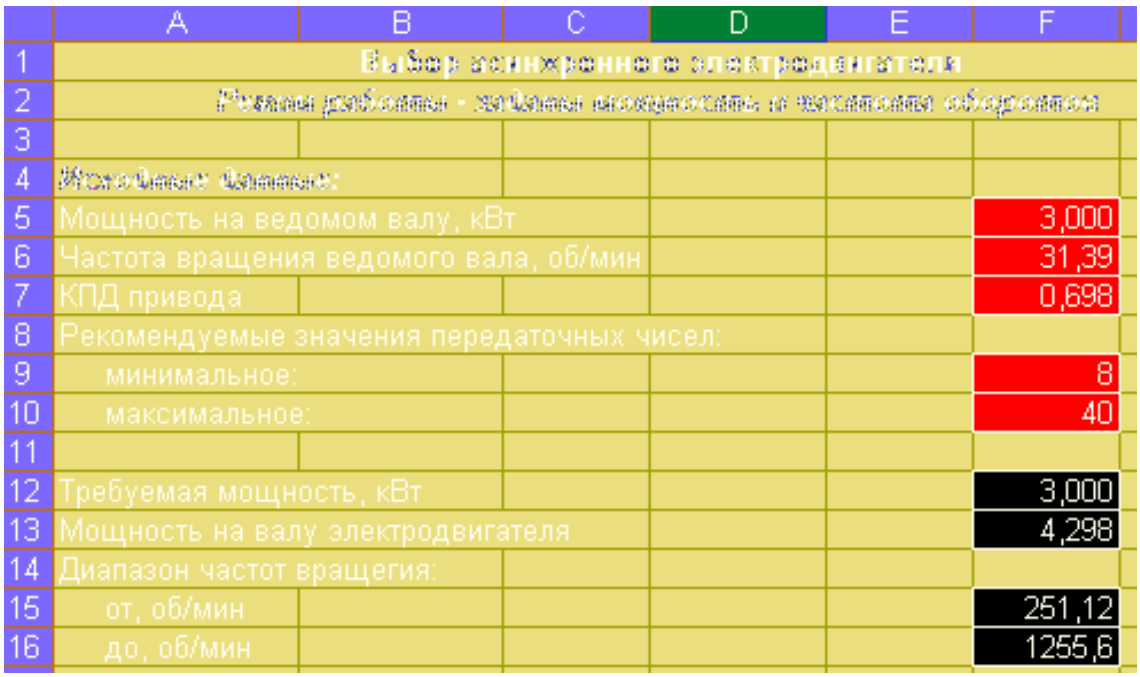
Рис. 2. Выбор электродвигателя при длительном постоянном режиме работы электродвигателя

	A	B	C	D	E	F
1	Выбор асинхронного электродвигателя					
2	Режим работы - длительный переменный					
3						
4	Исходные данные:					
5	Количество участков нагружения:					3
6	Коэффициенты перегружения участков по мощности:					
7	Участок 1					1,5
8	Участок 2					0,5
9	Участок 3					1
10	Участок 4					
11	Коэффициенты перегружения участков по времени:					
12	Участок 1					0,05
13	Участок 2					0,6
14	Участок 3					0,2
15	Участок 4					
16	Выходная мощность на ведомом валу, кВт					4,8
17	B=					0,522
18	Коэффициент уменьшения мощности для данного режима					0,738
19	Частота вращения ведомого вала, об/мин					31,39
20	КПД привода					0,698
21	Рекомендуемые значения передаточных чисел:					
22	минимальное:					8
23	максимальное:					40
24						
25	Требуемая мощность, кВт					3,347
26	Мощность на валу электродвигателя:					6,073
27	Диапазон частот вращения:					
28	от, об/мин					251,12
29	до, об/мин					1255,6

Рис. 3. Выбор электродвигателя при длительном переменном режиме работы электродвигателя

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Выбор асинхронного электродвигателя								
2	Режим работы - повторно-кратковременный								
3									
4	Исходные данные:								
5	Количество участков в цикле					3			
6	Мощность на участках нагружения:								
7	Участок 1					1,5			
8	Участок 2					0,5			
9	Участок 3					1			
10	Участок 4								
11	Время на участках:							PB2(I)	
12	Участок 1					0,05		15	41,67
13	Участок 2					0,6		25	31,67
14	Участок 3					0,2		40	16,67
15	Участок 4							60	3,33
16	Время работы электродвигателя, с					0,85	%	min	3,33
17	Полное время работы, с					1,5	56,7		
18									60,00
19	B=					0,4625			
20	Эквивалентная мощность, кВт					0,738			
21	Продолжительность включения, с					60,000			
22	Перерассчитанная эквивалентная мощность					0,717			
23	Частота вращения ведомого вала, об/мин					31,39			
24	КПД привода					0,698			
25	Рекомендуемые значения передаточных чисел:								
26	минимальное:					8			
27	максимальное:					40			
28									
29	Мощность на валу электродвигателя					1,027			
30	Диапазон частот вращения:								
31	от, об/мин					251,12			
32	до, об/мин					1255,6			

Рис. 4. Выбор электродвигателя при повторно-кратковременном режиме работы электродвигателя



	A	B	C	D	E	F
1	Выбор асинхронного электродвигателя					
2	Режим работы - задана мощность и частота оборотов					
3						
4	Исходные данные:					
5	Мощность на ведомом валу, кВт					3,000
6	Частота вращения ведомого вала, об/мин					31,39
7	КПД привода					0,698
8	Рекомендуемые значения передаточных чисел:					
9	минимальное:					8
10	максимальное:					40
11						
12	Требуемая мощность, кВт					3,000
13	Мощность на валу электродвигателя					4,298
14	Диапазон частот вращегия:					
15	от, об/мин					251,12
16	до, об/мин					1255,6

Рис. 5. Выбор электродвигателя по заданным мощности и частоте электродвигателя

Выводы. Существующие методики расчета электроприводов подъемно-транспортных машин достаточно подробно изложены в различных литературных источниках, однако при проектировании машин возникает проблема в многовариатности решений по оптимизации проекта по мощности электродвигателя, частоте вращения и габаритам, в конечном итоге, по режиму работы двигателя и себестоимости эксплуатации ПТМ. Предлагаемая авторская программа Excel позволяет ускорить указанные расчеты и выбрать наиболее оптимальный вариант электродвигателя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глебович А.А., Шичков Л.П. Электрические машины и основы электропривода. М.: Промиздат, 1989. 255 с.

2. Мамедов А.А. Механика. Белгород: Изд-во БелГСХА, 2010. 71 с.

3. Мамедов А. А. Механика. Белгород: БелГСХА, каф ОТ. 2011. – 1 –электрон. опт. диск (CD-RW).

4. Харламов Е.В., Шарапов Р.Р., Шаптала В.Г., Шаптала В.В. Агрегат для получения строительных материалов из отвалов горно-обогатительных комбинатов КМА // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 3. С. 82-85.

5. Харламов Е.В., Шарапов Р.Р., Шаптала В.Г., Шаптала В.В. Моделирование процесса разделения в магнитно-аэродинамическом сепараторе // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 4. С. 91-95.

Sharapov R.R., Mamedov A.A., Kharlamov E.V.

ENERGY CALCULATION DRIVES OF HOISTING-AND-TRANSPORT MACHINES ON THE COMPUTER (TABULAR PROCESSOR EXCEL)

In hoisting-and-transport machines widely used electrical drive, which has several advantages: constant readiness for action; the ability to install independent to each actuator mechanism, which simplifies the design and control of mechanisms; high efficiency; easy to control the speed within considerable limits; the reliability of safety devices; the ability to work with significant short-term overloads.

The definition of rationality of use of different types of actuators hoisting-and-transport machines should be made on the basis of the analysis of economic and structural-operational indicators, of which the main are energy performance, reliability and independence from environmental conditions, ease of operation, adaptability of design.

Key words: *electric engine of hoisting-and-transport machin, optimisition on power, speed, dimensions.*

Семикопенко И.А., канд. техн. наук, проф.,
Воронов В.П., канд. физ.-мат. наук, проф.,
Жуков А.А., аспирант
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗОНЕ АКТИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РОТОРОВ АГРЕГАТОВ ДЕЗИНТЕГРАТОРНОГО ТИПА

olimp69@narod.ru

В данной статье получено аналитическое выражение, позволяющее определить касательные напряжения в зоне активного взаимодействия роторов агрегата дезинтеграторного типа. Представлена расчетная схема для вычисления касательных напряжений.

***Ключевые слова**: агрегат, ротор, касательное напряжение*

Дезинтеграторы являются одним из основных видов помольного оборудования, обеспечивающего получение готового продукта с заданным гранулометрическим составом [1].

Рассмотрим характер движения частиц материала в зоне активного взаимодействия роторов для агрегата дезинтеграторного типа.

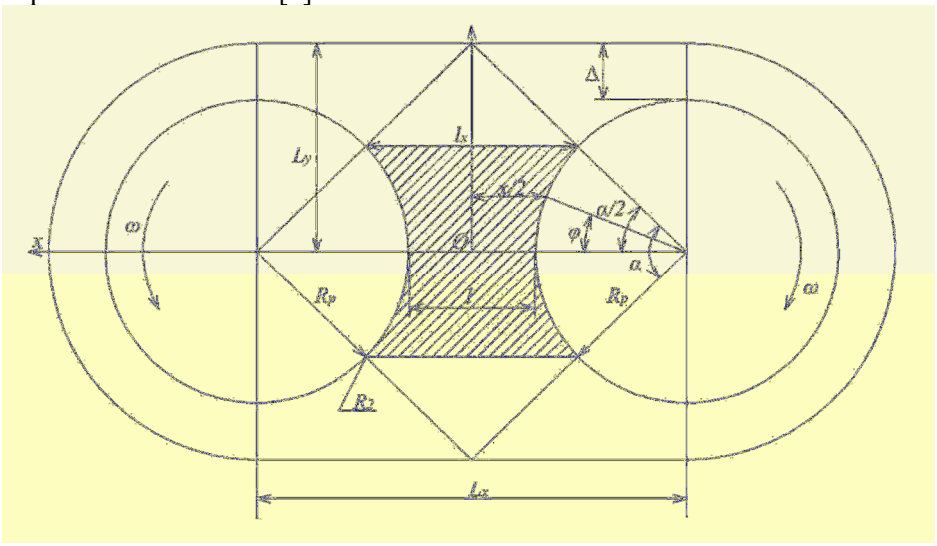


Рис. 1. Расчетная схема вычисления касательных (растягивающих) напряжений в зоне активного взаимодействия роторов агрегата дезинтеграторного типа (штриховая область – зона активного взаимодействия)

Согласно расчетной схемы [2], представленной на рисунке 1 находим для произвольного размера «*x*», находящегося в зоне активного взаимодействия роторов дезинтегратора:

$$\frac{x}{2} = \frac{L_x}{2} - R_p \cos\varphi, \qquad (1)$$

где L_x – расстояние между центрами вращения пар роторов; R_p – линейный размер от оси вращения до окончания ударного элемента внешнего ряда; φ – текущее значение угла поворота ротора в зоне активного взаимодействия, изменяющееся в пределах:

$$-\frac{\alpha}{2} \le \varphi \le \frac{\alpha}{2}, \qquad (2)$$

здесь α определяется соотношением:

$$tg\frac{\alpha}{2} = \frac{L_y}{R_p + \frac{l}{2}} \qquad (3)$$

или

$$\alpha = 2arctg\left(\frac{L_y}{R_p + \frac{l}{2}}\right), \qquad (4)$$

где L_y – расстояние от начала выбранной системы координат до корпуса дезинтегратора в направлении, перпендикулярном оси «*ox*».

Согласно результату работы [3], величина касательных напряжений в зоне активного взаимодействия определяется соотношением следующего вида:

$$\sigma = \mu \cdot \frac{\Delta\vartheta_x}{x}, \qquad (5)$$

где μ – коэффициент псевдовязкого измельчения; $\Delta\vartheta_x$ – «*x*»-проекция изменения вектора скорости частицы материала.

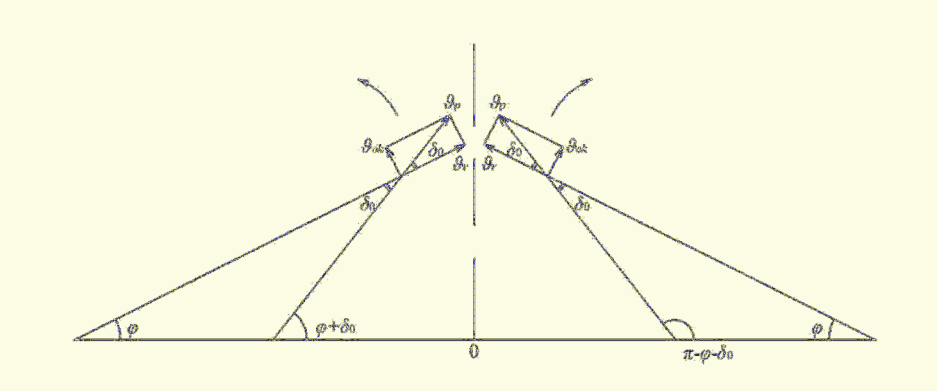


Рис. 2. Расчетная схема для вычисления $\Delta\vartheta_x$

Согласно расчетной схемы, представленной на рис. 2, находим:

$$\Delta\vartheta_x = \vartheta_p \cos(\varphi + \delta_0) - \vartheta_p \cos(\pi - \varphi - \delta_0) = 2\vartheta_p \cos(\varphi + \delta_0), \quad (6)$$

где

$$\delta_0 = \arccos\left(\frac{\vartheta_r}{\vartheta_p}\right), \quad (7)$$

$$\vartheta_p = \sqrt{(\omega R_p)^2 + \vartheta_r^2}. \quad (8)$$

Подстановка (6) и (1) в (5) позволяет получить следующий результат:

$$\sigma(\varphi) = \frac{2\mu\vartheta_p \cos(\varphi + \delta_0)}{L_x - 2R_p \cos\varphi} \quad (9)$$

Применительно к рассматриваемому случаю значение радиальной составляющей схода частицы материала с радиально расположенного ударного элемента можно принять равным:

$$\vartheta_r = \frac{\omega\left(R_p - \frac{l_0}{2}\right)}{2f} = \frac{\omega R_p\left(1 - \frac{l_0}{2R_p}\right)}{2f}, \quad (10)$$

где l_0 – длина радиально расположенного ударного элемента внешнего ряда.

На основании (10) выражение (8) можно привести к следующему виду:

$$\vartheta_p = k\omega R_p, \quad (11)$$

здесь введено следующее обозначение:

$$k = \sqrt{1 + \frac{\left(1 + \frac{l_0}{2R_p}\right)^2}{4f^2}}. \quad (12)$$

Подстановка (11) с учетом (12) в (9) позволяет окончательно получить следующий результат:

$$\sigma(\varphi) = k\frac{\mu\omega R_p \cos(\varphi + \delta)}{L_x - 2R_p \cos\varphi}. \quad (13)$$

Согласно результату работы [3] значение коэффициента псевдовязкого измельчения равно: μ = 2618 МПа.

На рисунке 3 приведена графическая зависимость изменения касательных напряжений в зоне активного взаимодействия роторов для следующих значений:

R_p = 0,15 м; l_0 = 0,012 м; L_x = 0,302 м; L_y = 0,152 м; f = 0,3.

Анализ приведенных на рис. 3 кривых позволяет сделать вывод о том, что максимальное значение касательных напряжений в зоне активного взаимодействия роторов в рассматриваемом диапазоне частот вращения роторов (30 c^{-1} $\le \omega \le$ 50 c^{-1}) приходится на значение угла φ_{max} = 0,01359 радиана, что в свою очередь приводит к нарушению симметрии кривых относительно значения угла φ = 0.

Таким образом, полученное аналитическое выражение (13) позволяет установить закономерность изменения касательных напряжений в зоне активного взаимодействия роторов агрегата дезинтеграторного типа.

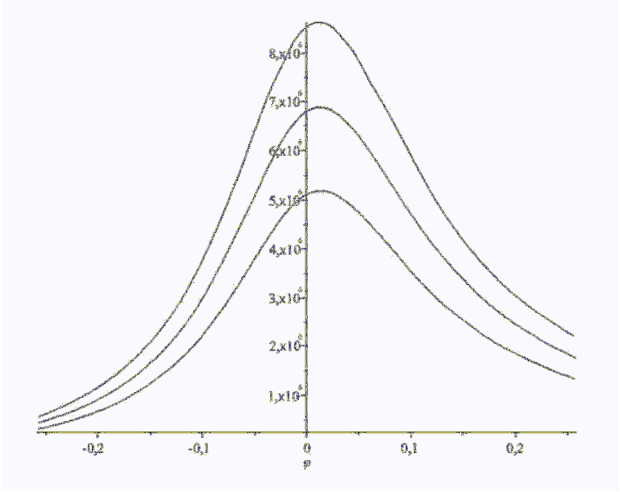


Рис. 3. Графики изменения касательных напряжений в зоне активного взаимодействия роторов в зависимости от угла поворота φ: верхняя кривая соответствует значению частоты вращеныя роторов ω = 50 c^{-1}: средняя - ω = 40 c^{-1}; нижняя - ω = 30 c^{-1}

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хинт И. А. Основы производства силикальцитных изделий. М.: Изд-во Госстройиздат, 1962. 602 с.

2. Семикопенко И.А., Воронов В.П., Вялых С.В., Гордеев С.И., Жуков А.А. К вопросу об определении касательных напряжений в зоне активного взаимодействия роторов агрегатов дезинтеграторного типа // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 2 С. 108-109.

3. Данилов Р.Г. Механизм тонкого измельчения в роторных мельницах с зубчатоподобным зацеплением. // Строительные и дорожные машины. 1997. № 12. С. 29-31.

Semikopenko I.A., Voronov V.P., Zhukov A.A.

DETERMINATION OF TANGENTIAL STRESS IN THE ZONE OF ROTOR'S ACTIVE INTERACTION IN DISINTEGRATOR TYPE UNITS

An analytical expression that indicates the regularity of change of tangential stresses in the zone of rotor's active interaction in disintegrator type units. Given scheme for calculation of tangential stresses, as well as a graphical dependence of the tangential stresses in the zone of rotor's active interaction. The maximum value of the tangential stress has to the value of the angle φ = 0,01359 rad, which leads to symmetry breaking curves relatively to the angle φ = 0.

Key words: *tangential stress, rotor, unit*

Богданов В.С., д-р техн. наук, проф.,
Семернин А.Н., канд. техн. наук, доц.,
Анциферов С.И., аспирант,
Колесник В.А., инженер
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЛАНЕТАРНОГО СМЕСИТЕЛЯ

alexagarkof@mail.ru

Проведен анализ и расчет гидравлического сопротивления концентратора сепарационного воздуха. Приведена формула полного гидравлического сопротивления при различных геометрических размерах концентратора и различных углах наклона отражающих лопаток. Представлены график изменения гидравлического сопротивления в зависимости от скорости входного потока, диаграмма вклада в гидравлическое сопротивление различных слагаемых, график изменения гидравлического сопротивления концентратора в зависимости от диаметра частиц.

Ключевые слова: *концентратор, гидравлическое сопротивление, скорость потока, диаметр частиц.*

Технология сухих строительных смесей имеет большое значение в развитии мирового рынка строительных материалов. За последние годы сухие строительные смеси заняли устойчивые позиции на рынке отделочных материалов. Основными процессами технологической цепочки производства сухих строительных смесей, оказывающих существенное влияние на их эксплуатационные характеристики, являются: подготовка сырьевых компонентов, их дозировка и смешивание [1].

В настоящее время представлено множество вариантов различных смесителей для производства сухих строительных смесей, однако они обладают рядом недостатков, такими как: значительный расход энергии на единицу объема готовой смеси, большой износ месильных органов, трудность чистки и длительный цикл смешения.

Схема работы предлагаемого устройства представлена на рис. 1 [1]. Компоненты для перемешивания поступают в корпус 8 через загрузочное устройство 1. Одновременно с подачей материала включают электродвигатель 3. Вращение от электродвигателя 3 через выходной вал 4 передается кривошипу 5. При этом шестерня 6 перекатывается по зубчатому венцу 7, закрепленному на корпусе 8 смесителя. За счет этого мешалки 9 совершают сложное циклоидальное движение, создавая разность давлений в перемешиваемой среде. После перемешивания смеси производится разгрузка смесителя через устройство 10. Особенность данного смесителя заключается в том, что мешалки 9 выполнены в виде стержней, что существенно уменьшает сопротивление при перемешивании материала, а сложное циклоидальное движение стержней относительно друг друга создает интенсивное перемешивание материала за короткий промежуток времени.

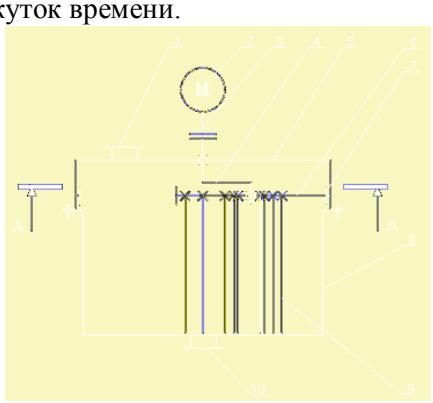


Рис. 1. Схема работы планетарного смесителя

С целью снижения энергозатрат при работе планетарного смесителя необходимо, в первую очередь, правильно подобрать электродвигатель для его работы.

Исходные данные для расчёта электродвигателя планетарного смесителя:

Частота вращения лопастного вала смесителя $n_{см}, об/мин$; Радиус чаши $r, м$; Диаметр смесительного стержня $d, м$; Высота смесительного стержня $h, м$; Число смесительных стержней z; Полная сила тяжести массы смеси в чаше G_{δ}, H; Передаточное число редуктора i; Дозируемый материал: цементно-песчаная смесь (1:3); Установившаяся скорость смешивания: $V_{уст}, м/с$; Скорость в конце участка разгона: $V_1, м/с$; Скорость в начале участка торможения: $V_3, м/с$; Ускорение во время пуска: $a_1, м/с^2$; Ускорение во время торможения: $a_3, м/с^2$; Время разгона $t_1, с$; Время равномерного смешива-

ния t_2, c; Время торможения t_3, c; Время паузы t_0, c.

Расчёт мощности и выбор электродвигателя смесителя

Мощность двигателя в смесителях расходуется на вращение смесительных лопастей, на трение смеси о чашу.

Общая расчётная мощность двигателя определяется по формуле:

$$N_{общ} = N_1 + N_2, \quad (1)$$

где N_1 – мощность необходимая для вращения смесительных стержней, кВт; N_2 – мощность необходимая для преодоления сил трения смеси о чашу, кВт.

Рассчитаем мощность необходимую для вращения смесительных стержней:

$$N_1 = \frac{k \cdot n \cdot d \cdot h \cdot z \cdot \phi}{200 \cdot \eta_{мех}}, \quad (2)$$

где k – коэффициент сопротивления движению полости в смеси $k = 2500 H / м^2$; n – Число оборотов лопастного вала, об/мин; d–диаметр смесительного стержня, м; h – высота смесительного стержня, м; z – Число смесительных стержней; φ – коэффициент наполнения смесителя, $\varphi = 0{,}65$; $\eta_{мех}$ – механический к.п.д. привода с учётом сил трения в редукторе $\eta_{мех} = 0{,}65 \div 0{,}7$;

Рассчитаем мощность, необходимую для преодоления сил трения смеси о чашу:

$$N_2 = \frac{M_1}{1000}, кВт, \quad (3)$$

где M_1 – момент сил трения, возникающих между смесью и дном чаши.

Момент сил трения, возникающих между смесью и дном чаши, рассчитывается по формуле:

$$M_1 = \frac{2}{3} \cdot G_\delta \cdot r \cdot f \quad (4)$$

где G_δ – полная сила тяжести массы смеси в чаше, Н; r – радиус чаши, м; f – коэффициент трения смеси о металл, $f = 0.45$.

Условия выбора двигателя:

$$\begin{cases} N_{ндв} \geq N_{общ,} \\ n_{ндв} \approx n_{ор,} \\ U_{1ндв} = U_{с,} \end{cases}, \quad (5)$$

где $N_{ндв}$ – номинальная мощность двигателя; $N_{общ,}$ – общая расчётная мощность двигателя; $U_{1ндв}$ – напряжение питания электродвигателя; U_c – напряжение питания сети; $n_{ндв}$ – номинальная частота вращения двигателя; $n_{ор}$ – ориентировочная частота вращения смесителя.

Вычисление электромеханических параметров электродвигателя выполнено в программе Mathcad [2]. Алгоритм расчета показан на рис. 2.

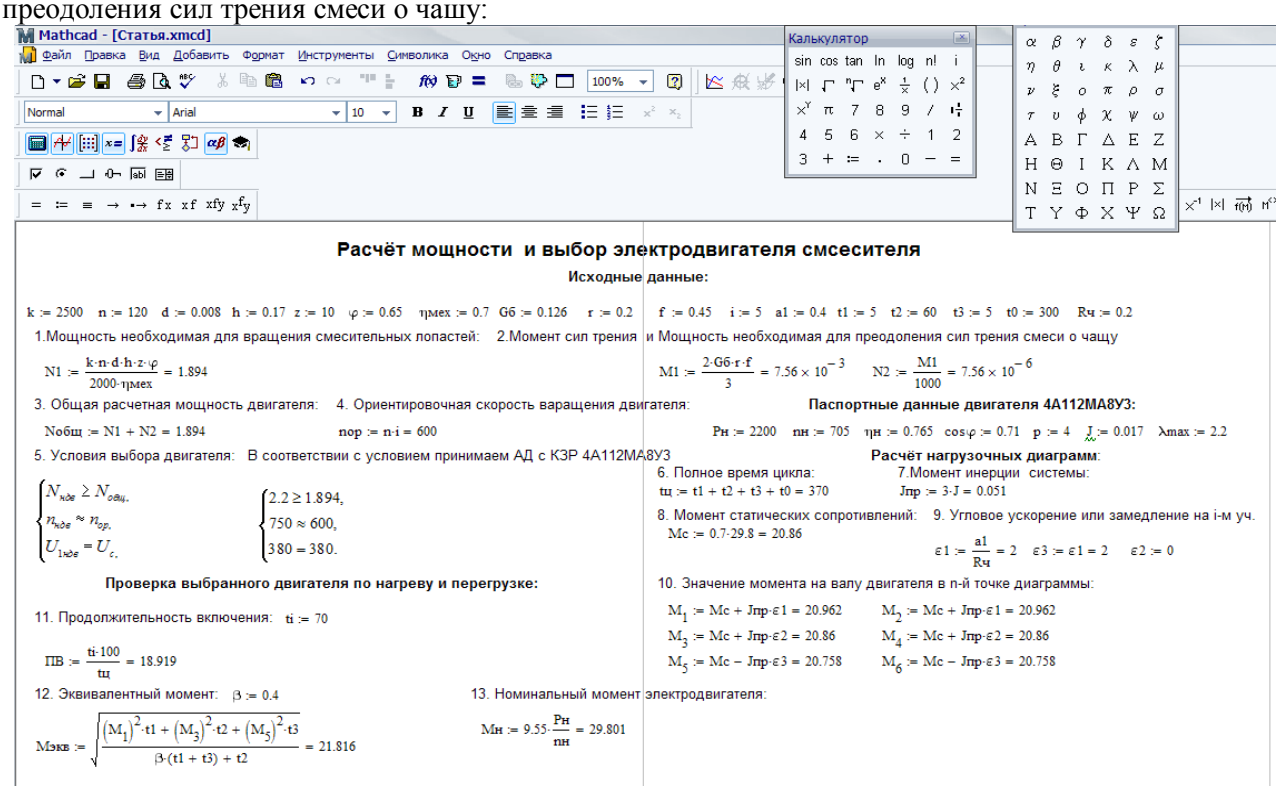


Рис. 2. Алгоритм расчета мощности электродвигателя смесителя

В соответствии свыше заданным условием (5) принимаем АД с КЗР 4А112МА8У3.

Расчёт и построение нагрузочных диаграмм

Полное время цикла рассчитывается:

$$t_ц = \sum_1^6 t_i + t_{0,}$$

Момент инерции системы, приведенный к валу электродвигателя:

$$J_{пр} = J_{дв} + J_{ред} = J_{дв} + 2 \cdot J_{дв} = 3 \cdot J_{дв}, \quad (6)$$

где $J_{дв}$ – момент инерции электродвигателя, кг$\cdot м^2$; $J_{ред} = 2 \cdot J_{дв}$ – момент инерции редуктора, кг$\cdot м^2$ Момент статического сопротивления рассчитаем по формуле:

$$M_c = 0{,}7 \cdot M_н; \quad (7)$$

Найдём угловое ускорение или замедление электродвигателя на *i*-м участке диаграммы:

$$\varepsilon_i = \frac{a_1}{R_ц}, \quad (8)$$

Значение момента на валу двигателя в n-й точке диаграммы определяется из основного уравнения движения привода:

$$M_n = M_c \pm J_{пр} \cdot \varepsilon_i; \quad (9)$$

На основании полученных данных строятся тахограмма и нагрузочная диаграмма рабочей машины (рис. 3).

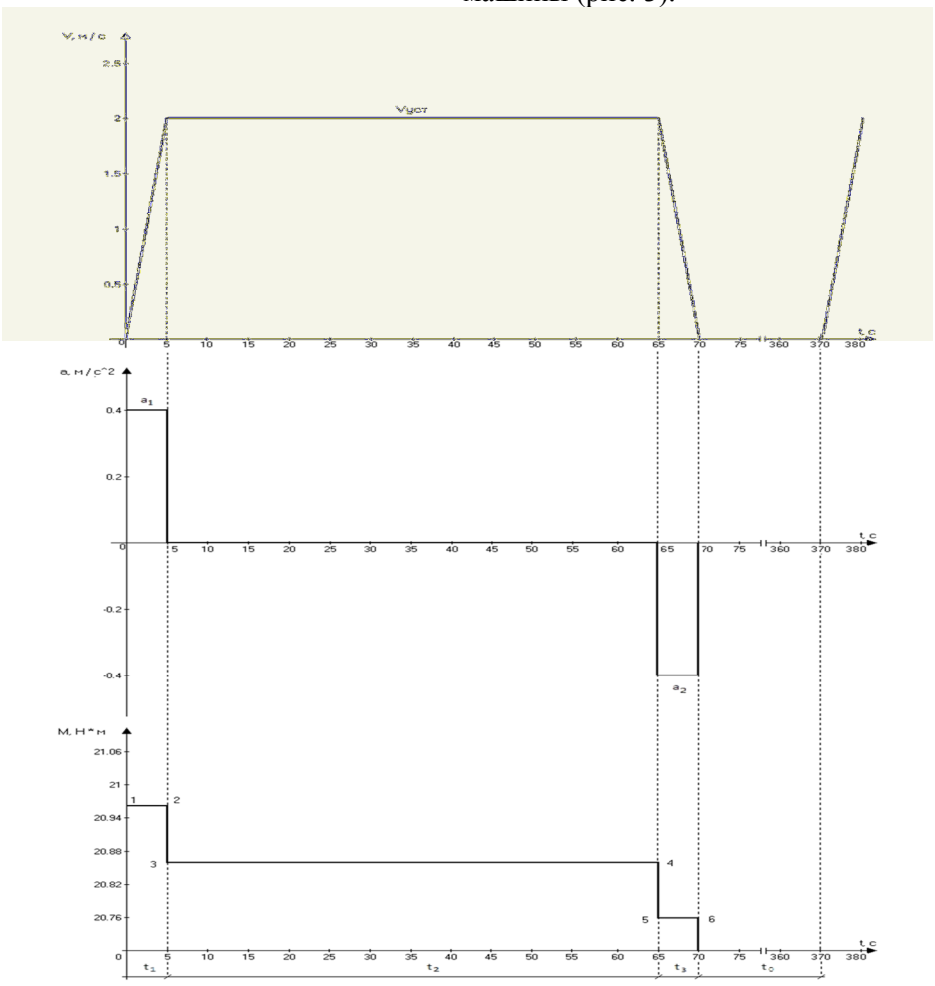


Рис. 3. Тахограмма и нагрузочная диаграмма двигателя

Проверка выбранного двигателя

Продолжительность включения рассчитывается следующим образом:

$$ПВ\% = \frac{\sum t_i}{t_ц} \cdot 100\%, \cdot$$

Так как продолжительность включения получилась не более 25%, значит, электродвигатель работает в повторно-кратковременном режиме работы.

Для проверки выбранного электродвигателя по нагреву определяется эквивалентный момент с учетом небольшой разницы между начальным и конечным моментами в период разгона и замедления:

$$M_{экв} = \sqrt{\frac{M_1^{\,2} \cdot t_1 + M_3^{\,2} \cdot t_2 + M_5^{\,2} \cdot t_3}{\beta \cdot (t_1 + t_3) + t_2}}, \quad (10)$$

где β=0,33…0,5 – коэффициент, учитывающий ухудшение условий охлаждения электродвигателей при уменьшении скорости.

Выбранный электродвигатель должен удовлетворять условию:

$$M_{экв}<M_{ном}, \quad (11)$$

где $M_{ном}$ – номинальный момент электродвигателя.

Рассчитаем номинальный момент электродвигателя:

$$M_н = 9,55 \cdot \frac{P_н}{n_н},$$

Проверка двигателя по условию допустимой перегрузки. При пуске асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором необходимо соблюдать условие:

$$(1,1…1,3)\ M_{дв.\max} \le 0,9 M_{кр} \quad (12)$$

где $M_{дв.max}$ – максимальное значение момента электродвигателя; $M_{кр} = \lambda \cdot M_{ном}$ – критический момент электродвигателя; λ – перегрузочная способность двигателя.

Из проведенных вычислений (рис. 2) можно сделать вывод, что выбранный двигатель удовлетворяет всем условиям, т.к. $M_{экв}<M_н$ (21,816 Н·м<29,801Н·м) и $(1,1…1,3)M_{дв.max}\le 0,9M_{кр}$ (27,3 Н·м ≤59,01 Н·м).

Применение электропривода по системе преобразователь частоты – асинхронный двигатель позволяет автоматизировать процесс смешивания материалов и снизить энергозатраты оборудования. Укрупненная принципиальная схема преобразователя частоты – асинхронный двигатель показана на рис.4.

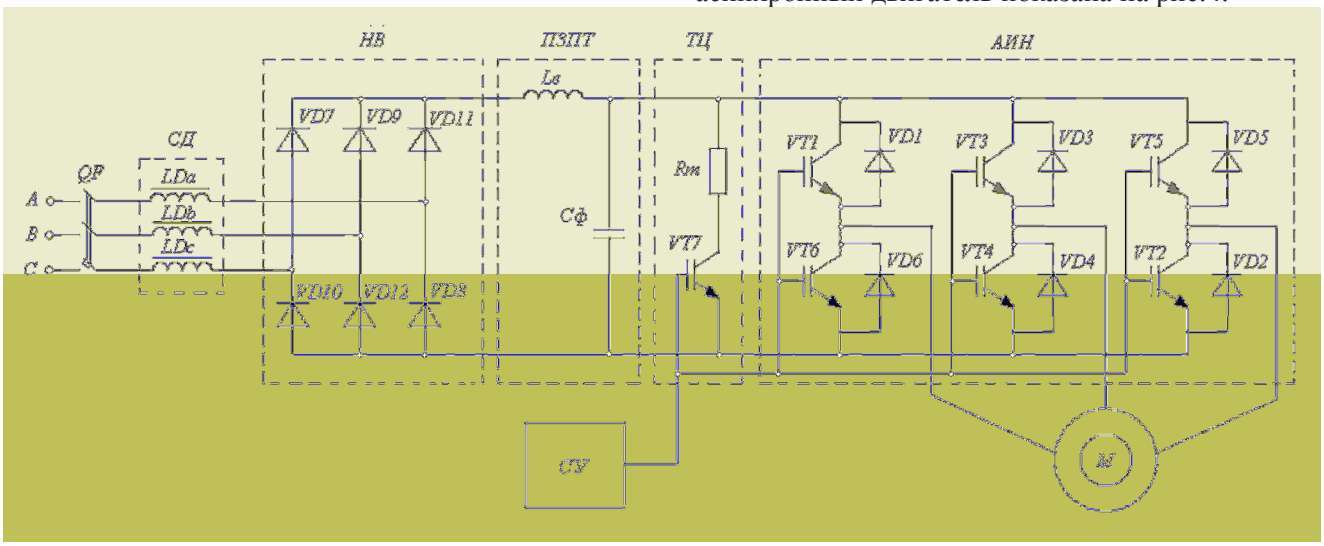


Рис. 4. Принципиальная схема ППЧ-АД

Исследование процесса перемешивания цементно-песчанной смеси при различной скорости вращения электропривода

С целью определения влияния скорости вращения электропривода смесителя на качество перемешивания, были проведены экспериментальные исследования при различных частотах питающего напряжения и одинаковой степени загрузки емкости смесителя.

Для учета потребляемой электроэнергии и регистрации параметров питающей сети использовался анализатор качества электроэнергии АР-5. С помощью сита СЛ-200 определялось качество смеси. Электрические параметры записывались в память прибора АР-5 и по интерфейсу RS-232 передавались на компьютер, где обрабатывались с помощью программы Power Vision, которая входит в комплект поставки прибора.

Продолжительность эксперимента: 60 секунд. Загрузка смесительной чаши: 40%. Тип смеси: цементно-песчаная (1:3).

Эксперимент № 1. Подача напряжения частотой 5 Гц, загрузка емкости для перемешивания на 40 % от максимального объема.

Таблица 1

Результаты эксперимента №1

Частота напряжения	Время смешения, с	Результат	Энергопотребление, кВт/ч
5	60	Отношение компонентов во взятой пробе смеси 1,5:2	0,0116

Таблица 2

Основные параметры электрической сети

	Фаза1	Фаза2	Фаза3	ФазаIII
Напряжение (V)	230	231	231	230
Ток (A)	0,127	0,146	0,133	0,135
Мощность(W)	0	1	0	1

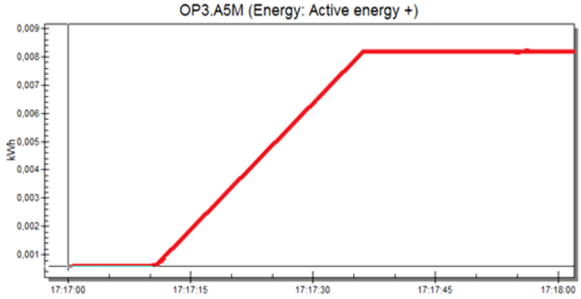


Рис. 5. График энергопотребления приведен при работе на частоте 5 Гц

Эксперимент № 2. Подача напряжения перемешивания на 40 % от максимального частотой 10 Гц, загрузка емкости для объема.

Таблица 3

Результаты эксперимента №2

Частота напряжения	Время смешения, с	Результат	Энергопотребление, кВт/ч
10	60	Отношение компонентов во взятой пробе смеси 2,5:1	0,02036

Таблица 4

Основные параметры электрической сети

	Фаза1	Фаза2	Фаза3	ФазаIII
Напряжение (V)	231	231	232	231
Ток (A)	2,084	1,665	2,042	1,930
Мощность(W)	214	182	218	614

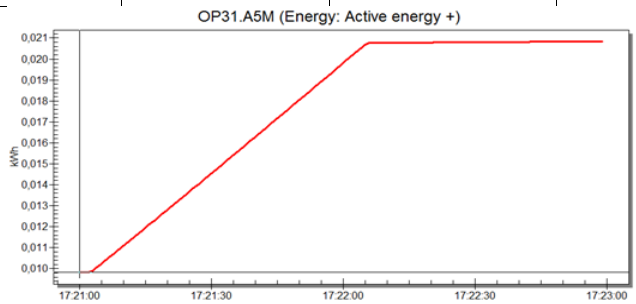


Рис. 6. График энергопотребления приведен при работе на частоте 10 Гц

Эксперимент № 3. Подача напряжения перемешивания на 40 % от максимального частотой 15 Гц, загрузка емкости для объема.

Таблица 5

Результаты эксперимента №3

Частота напряжения	Время смешения, с	Результат	Энергопотребление, кВт/ч
15	60	Отношение компонентов во взятой пробе смеси 3:1	0,0312

Таблица 6

Основные параметры электрической сети

	Фаза1	Фаза2	Фаза3	ФазаIII
Напряжение (V)	229	229	230	229
Ток (A)	2,031	1,898	2,231	2,053
Мощность(W)	206	192	231	629

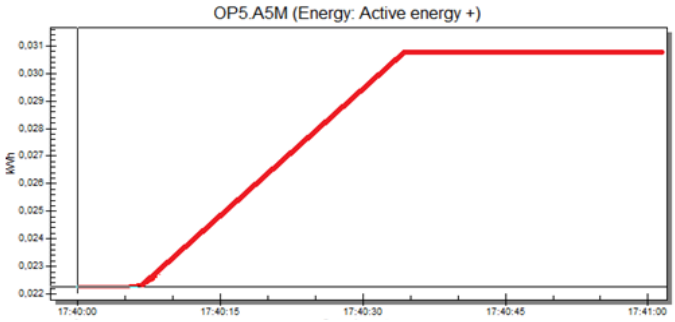


Рис. 7. График энергопотребления приведен при работе на частоте 15 Гц

Выполненные экспериментальные исследования показали, что реальная мощность привода отличается от расчетной в 3 раза, так как привод работает на частотах существенно меньше номинальной. Рекомендуется при расчете мощности асинхронных двигателей, устанавливаемых на смесители планетарного типа в формулу 2 ввести поправочный коэффициент р. С учетом поправочного коэффициента р формула расчета мощности 2 двигателя примет вид:

$$N_1 = \frac{k \cdot n \cdot d \cdot h \cdot z \cdot \phi}{200 \cdot \eta_{мех}} \cdot p,$$

где р – поправочный коэффициент учитывающий работу двигателя на частотах менее 50Гц.

Сравнение расчетных и экспериментальных данных позволяет сделать вывод о том, что в целях уменьшения энергозатрат электропривода смесителя, рекомендуется замена расчетного электродвигателя мощностью 2,2 кВт серии 4А90LB8У3 на менее мощный (0,75 кВт) той же серии, или увеличить объем емкости планетарного смесителя, с целью повышения его производительности.

По итогам выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

– при подаче напряжения с частотами 5 Гц и 10 Гц с загрузкой емкости для перемешивания на 40 % от максимального объема установлено недостаточное смешение компонентов смеси.

– при подаче напряжения с частотой от 15 Гц с загрузкой емкости для перемешивания на 40 % от максимального объема и продолжительностью перемешивания 60 секунд, качество смеси соответствует заявленным требованиям.

– при расчете мощности электродвигателя смесителя, работающего на частотах ниже 50 Гц, нужно использовать поправочный коэффициент *p*.

– в целях уменьшения энергозатрат электропривода, рекомендуется замена расчетного электродвигателя на менее мощный, той же серии или увеличить объем ёмкости планетарного смесителя для повышения его производительности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воронов В.П., Несмиянов Н.П., Горшков П.С. Спирально-лопастной противоточный смеситель для производства сухих строительных смесей //Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. №1. С. 66-69.

2. Патент № RU 143424, B01F7/14, Планетарный смеситель/ Анциферов С.И., Богданов В.С., Семернин А.Н., дата публ. 20.07.2014.

3. Электронный ресурс: http://ru.ptc.com/product/mathcad.

Bogdanov V.S., Semernin A.N., Antsiferov S.I., Kolesnik V.A.

DETERMINING THE OPTIMAL DRIVE PARAMETERS PLANETARY MIXER

The problems of the development of energy-efficient planetary mixer for mixing the dry mixes. The scheme developed by the planetary mixer and described the principle of operation. Using mathematical package Mathcad, it developed an algorithm to determine the power of the motor of the mixer. The calculation of the electric power produced by the mixer and check the condition of the engine load capacity. According to the results of calculation of selected motor and load prepared chart. The scheme of the drive in frequency converter - induction motor. Experimental studies to determine the level of loading of the mixer and frequency mixing of the material.

Key words: *Planetary Mixer, dry mixes, the speed of the electric motor, the power, inverter.*

Бондаренко И.Р., канд. техн. наук, ст. преп.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ

ivanbond85@rambler.ru

Представлен подход к определению мощности, затрачиваемой на динамическое разрушение дефектных слоев технологических отложений в зависимости от их физико-механических свойств, а также конструктивно-технологических параметров обрабатывающего оборудования.

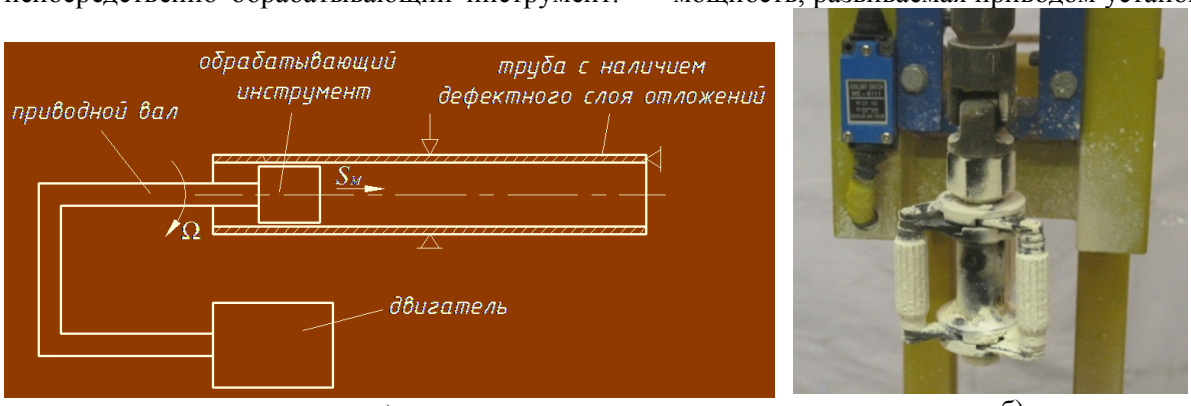
Ключевые слова: *обработка, внутренняя поверхность труб, инструмент инерционно-ударный, динамическое воздействие, динамическое сопротивление, мощность.*

Необходимость обработки внутренней поверхности труб при изготовлении изделий, удаление отложений накипи с внутренней поверхности труб теплообменного оборудования, удаление различных технологических отложений и загрязнений в процессе эксплуатации и ремонта трубопроводных систем в различных отраслях промышленности делает актуальным вопросом проведение мероприятий по обеспечению требуемого качества внутренней поверхности труб.

Для решения вышеперечисленных задач широкое применение может найти механический метод с применением специализированных установок и инерционно-ударного инструмента [2…4, 6, 7]. Общая принципиальная схема всех установок представлена на рис. 1, *а*. Как правило, установка включает в себя следующие основные элементы: двигатель, приводной вал и непосредственно обрабатывающий инструмент. На рис. 1, *б* представлен один из вариантов конструкции инерционно-ударного инструмента [9]. Общей конструктивной чертой данного типа инструмента является наличие зубчатых рабочих элементов, закрепленных подвижно относительно корпуса инструмента и раскрывающихся под действием сил инерции.

Достоинства применения данной технологии заключаются в её простоте в совокупности с получением требуемого качества внутренней поверхности труб при сравнительно небольших затратах, а также при необходимости и её мобильности.

Однако, несмотря на все преимущества данной технологии, ее эффективное использование невозможно без применения научно обоснованной методики расчета технологических режимов, важным параметром которых является мощность, развиваемая приводом установки.



а) б)

Рис. 1. Оборудование для обработки внутренней поверхности труб:
а – схема установки; *б* – инерционно-ударный инструмент

Ранее в работе [3] был представлен подход к определению мощности обработки внутренней поверхности труб инерционно-ударным инструментом, однако его недостаток заключается в том, что он в явном виде не показывает роль деформационных и прочностных характеристик материала разрушаемого слоя, а также конструктивных особенностей инструмента.

Решить данную задачу можно путем детального анализа кинематики рабочего элемента инструмента (РЭ), выявления ее связи с силовыми характеристиками, а также физико-механическими характеристиками отложений.

Для упрощения дальнейших выкладок воспользуемся следующими начальными условиями: рабочий элемент в начальный момент времени движется по недеформируемой поверхности, а в произвольный момент времени t попадает на деформируемую поверхность. В процессе перемещения рабочего элемента, пренебрегая величиной толщины материала, так как $h << R_{вн}$

(рис. 2, *а*), принимаем, что его центр перемещается со скоростью, равной :

$$V_{\text{р.э}} = \Omega \cdot (R_{\text{вн}} - R_{\text{р.э}}) = \frac{\Omega \cdot (D_{\text{вн}} - D_{\text{р.э}})}{2}, \quad (1)$$

где Ω – частота вращения инструмента, $R_{\text{вн}}$, $R_{\text{р.э}}$ – радиусы внутренней поверхности трубы и рабочего элемента инструмента соответственно.

Зная $V_{\text{р.э}}$, можно определить угловую скорость вращения рабочего элемента $\omega_{\text{р.э}}$ относительно оси своего крепления

$$\omega_{\text{р.э}} = \frac{V_{\text{р.э}}}{R_{\text{р.э}}} = \Omega \frac{(R_{\text{вн}} - R_{\text{р.э}})}{R_{\text{р.э}}} = \Omega \frac{(D_{\text{вн}} - D_{\text{р.э}})}{D_{\text{р.э}}}. \quad (2)$$

Из схемы, представленной на рис. 2, можно сделать вывод, что в момент, предшествующий удару, так и в процессе внедрения зубца, движение РЭ может быть рассмотрено как плоское относительно мгновенного центра вращения (МЦВ), расположенного в точке Р. В таком случае к скорости $V_{\text{р.э}}$ добавляется вертикальная составляющая V_y (рис. 2, *б*).

Тогда кинетическая энергия движения РЭ выразится как:

$$T = \frac{J_c \omega_{\text{р.э}}^2}{2} + \frac{m V_{\text{р.э}}^2}{2} + \frac{m V_y^2}{2}. \quad (3)$$

В процессе заглубления ударного зубца на величину лунки $\delta_{\text{р}}$ совершается работа силой динамического сопротивления $P_{\text{д.с}}$, составляющая скорости V_y постепенно уменьшается до 0 (рис. 2, *в*), но при этом сохраняются значения скорости $V_{\text{р.э}}$ и угловой скорости вращения $\omega_{\text{р.э}}$, так как привод обеспечивает постоянное значение величины Ω.

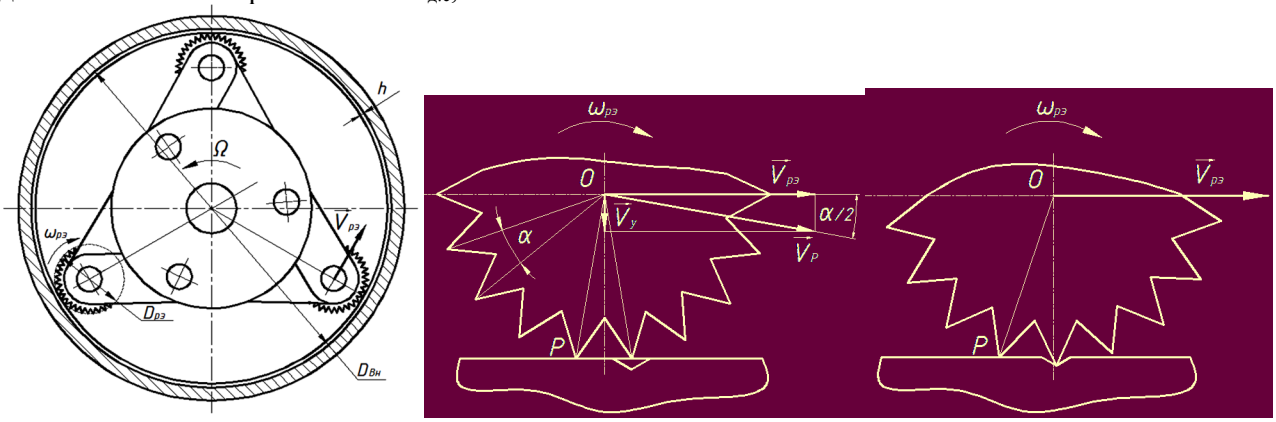
Исходя из этого можно сделать вывод о том, что именно составляющая скорости V_y, возникающая при движении РЭ относительно МЦВ, и обеспечивает вертикальные периодические перемещения корпуса, а следовательно, за счет этого и создается ударное воздействие РЭ на поверхность отложения.

Следовательно, кинетическая энергия, обусловленная скоростью V_y, расходуется на работу против сил сопротивления внедрению, а следовательно, и на динамическое разрушение дефектного слоя.

К такому же результату можно прийти, рассмотрев известную в механике теорему об изменении кинетической энергии в применении к движению материального тела:

$$\Delta T = \sum A_i \ ,$$

где ΔT – разность между конечной и начальной кинетической энергией рабочего элемента, ΣA_i – работа всех сил, приложенных к рабочему элементу.



а) б) в)

Рис. 2. К определению кинематических параметров в процессе ударного взаимодействия

На ударный зубец РЭ (рис. 3) действуют следующие нагрузки: усредненная сила сопротивления динамическому внедрению зубца $P_{\text{д.с}}$, сила сцепления ударного зубца с поверхностью $F_{\text{сц}}$,. Тогда из принятой силовой схемы получаем, что работа силы сцепления равна 0, так как $F_{\text{сц}}$ и перемещение вершины ударного зубца $\delta_{\text{р}}$, равное глубине лунки выкола, взаимно перпендикулярны. Известно, что ударные нагрузки во много раз превосходят остальные виды нагрузок [10], поэтому пренебрегая силой тяжести РЭ ввиду ее малости, принимаем, что кинетическая энергия главным образом затрачивается на преодоление силы динамического сопротивления отложения внедрению зубца, тогда

$$\sum A_i = -P_{\text{д.с}} \cdot \delta_{\text{р}} \ . \quad (4)$$

Так как привод обеспечивает постоянство линейной скорости центра О, то в конце этапа внедрения зубца кинетическая энергия равна

$$T = \frac{J_c \omega_{\text{р.э}}^2}{2} + \frac{m V_{\text{р.э}}^2}{2}. \quad (5)$$

Тогда приняв выражение (3) за начальную кинетическую энергию, (5) – за конечную, а также учитывая (4), запишем теорему об изменении кинетической энергии в виде:

$$-\frac{mV_y^2}{2} = -P_{д.с} \cdot \delta_р \ . \qquad (6)$$

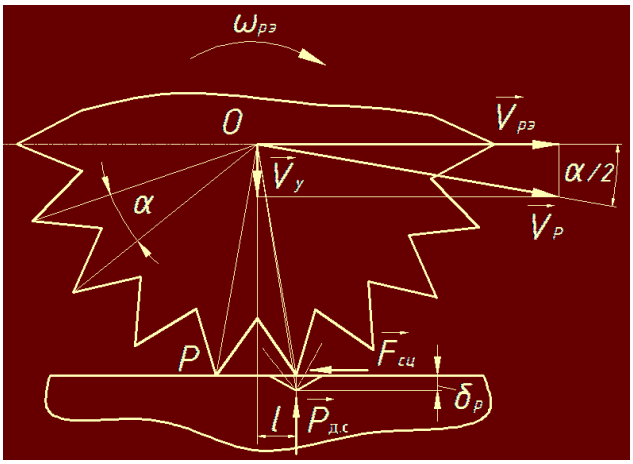


Рис. 3. К определению работы силы сопротивления

Анализ источников [1, 8] позволил установить, что характер механических процессов, протекающих при динамическом воздействии инструмента на дефектный слой при обработке труб аналогичен процессам, происходящим при бурении горных пород шарошечным инструментом, поэтому в основу описания процесса разрушения материала дефектного слоя положим энергетическое выражение, предложенное в [8], а именно:

$$Э = \frac{k_{пл}\sigma_р^{\ 2} V_{отд}}{E}, \qquad (7)$$

в котором величина Э – величина энергии, необходимой для разрушения или отделения материала отложения, $k_{пл}$ – коэффициент пластичности разрушаемого материала, $\sigma_р$ – предел прочности материала на растяжение, $V_{отд}$ – объем разрушенного или отделенного материала, E – модуль Юнга материала дефектного слоя.

В соответствии с исследованиями, представленными в [5, 8], угол раскрытия лунки выкола составляет 120°, тогда объем отделяемого материала можно определить, исходя из схемы, представленной на рис. 4:

$$V_{отд} = \frac{\delta_р^{\ 2} b}{\mathrm{tg}30°} \ ,$$

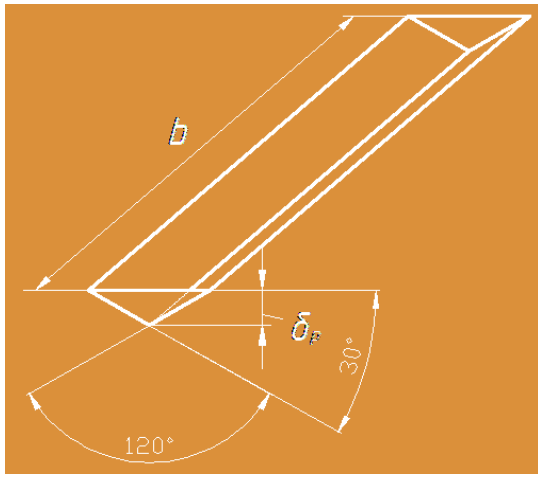


Рис. 4. К определению объема разрушения

Подставив выражение (9) в (6), выразим $P_{д.с}$ как функцию скорости удара в виде

$$P_{д.с} = V_y \sigma_р \cdot \sqrt{\frac{mk_{пл}b}{2E \cdot \mathrm{tg}30°}} \ . \qquad (10)$$

Мощность, затраченную на динамическое разрушение, с учетом числа рабочих элементов $N_{р.э}$, можно представить как

$$N_{д.р} = M_{д.с} \cdot \omega_{р.э} \cdot N_{р.э} .$$

где $M_{д.с}$ – момент динамического сопротивления движению рабочего элемента, который можно определить, зная $P_{д.с}$, из выражения

$$M_{д.с} = P_{д.с} \cdot l \ , \qquad (11)$$

в котором l – плечо силы $P_{д.с}$ относительно центра РЭ, определяемое из схемы, представленной на рис. 3, как

$$l = 0{,}5 D_{р.э} \cdot \sin\frac{\alpha}{2} . \qquad (12)$$

И тогда, учитывая выражения (10), (11), (12), мощность, расходуемая на процесс динамического деформирования и разрушения отложения, выразится как

$$N_{д.р} = V_y \sigma_р \cdot \sqrt{\frac{mk_{пл}b}{2E \cdot \mathrm{tg}30°}} \cdot 0{,}5 \cdot \sin\frac{\alpha}{2}(D_{вн} - D_{р.э})\Omega N_{р.э} . \qquad (13)$$

Учитывая схему, представленную на рис. 2, *б*, составляющая скорости РЭ V_y равна

$$V_y = V_{р.э} \cdot \mathrm{tg}\frac{\alpha}{2} ,$$

тогда ввиду достаточной малости угла α, приняв $\sin\alpha/2 \approx \alpha/2$, а $\mathrm{tg}\ \alpha/2 \approx \alpha/2$, а также учитывая (1) и (2), (13) можно записать как:

$$N_{д.р} = 0{,}058\sigma_р \alpha^2 \Omega^2 (D_{вн} - D_{р.э})^2 N_{р.э} \sqrt{\frac{mk_{пл}b}{E}} . \qquad (14)$$

Полученное выражение позволит наиболее полно отражать энергетические показатели процесса обработки инерционно-ударным методом в зависимости от конструктивно-технологических параметров оборудования и инструмента, а также от большинства физико-механических параметров различных дефектных слоев технологических отложений. Следует также отметить, что выражение (14) представляет собой интерес, так как по сравнению с результатами, представленными в [3], в данном выражении учитывается значительно большое количество факторов, что расширяет границы его применимости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Балицкий П. В. Взаимодействие бурильной колонны с забоем скважины. М. : Недра, 1975. 293 с.

2. Бондаренко В. Н., Бондаренко И. Р., Волков Д. Ю. Исследование процесса разрушения накипи от отложений при очистке труб теплообменных агрегатов чистящими головками с инерционно раскрывающимися очистными элементами // Вест. Брян. гос. ун-та. 2010. № 2 (26). С. 55-59.

3. Волков, Д. Ю., Бондаренко И. Р., Бондаренко В. Н. Определение мощности привода в технологии очистки труб теплообменного оборудования от отложений // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2010. № 2. С. 97-99.

4. Бондаренко В. Н. [и др.]. Гидромеханическая очистка труб теплообменных аппаратов от отложений // Энергетик. 1999. №6. С. 10-12.

5. Ивлева, Л. П. Ударно-вращательное гравирование как способ уменьшения пылевыделения при нанесении изображений на поверхность хрупких материалов // Научный вестник МГГУ. 2010. № 2. С. 45-49.

6. Каталог оборудования для очистки котлов и теплообменников от накипи и отложений / Научно-техническое предприятие «Сплавысервис». Белгород, 2002. 22 с.

7. Методические указания по безреагентным способам очистки теплообменного оборудования от отложений : РД 153 - 34.1 - 37.410 - 00. М. : АООТ “ВТИ”, 2000. 22 с.

8. Протасов, Ю.И. Теоретические основы механического разрушения горных пород. М.: Недра, 1985. 242 с.

9. Чистящая головка : пат. 93311 Рос. Федерация : МПК B08B 9/27 / И. Р. Бондаренко, В. И. Бондаренко, А. С. Чурносов ; патентообладатель Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования «БГТУ им. В. Г. Шухова». № 2009126714/22 ; заявл. 13.07.09 ; опубл. 27.04.10, Бюл. № 122 с.

10. Яблонский А. А., Никифорова В. М. Курс теоретической механики. Статика. Кинематика. Динамика : учеб. пособие /Изд. 7-е, стер. СПб. : Лань, 1999. 764 с. (Учебники для вузов. Специальная литература).

Bobdarenko I.R.

DEFINITION OF INDICES DURING THE PROCESS OF DYNAMIC TREATMENT OF TUBES' INTERNAL SURFACE

Approach for definition of power used for dynamic breaking of defective layers of technological scurf according to their physical and mechanical properties and constructive-technological parameters of treating equipment.

***Key words**: treatment, internal surface of tubes, inertial-impact instrument, dynamic impact, dynamic resistance, power.*

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Радоуцкий В.Ю., канд. техн. наук, проф.,
Васюткина Д.И., асс.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Кудинова А.И., препод.
Белгородский юридический институт МВД России

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛИКВИДАЦИЕЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ

zchs@intbel.ru

Рассмотрены проблемы математического моделирования процессов управления в условиях чрезвычайных ситуаций. Приведены результаты анализа основных подходов к моделям оперативного управления ликвидацией чрезвычайных ситуаций, принципы математического моделирования, этапы моделирования и свойства систем оперативного управления.

Ключевые слова: *чрезвычайная ситуация, моделирование, управление, иерархия, информационная система.*

Введение. В Российской Федерации вообще и в системе высшего профессионального образования (ВПО) в частности сохраняется тенденция к росту количества и масштабов чрезвычайных ситуаций (ЧС). Это связано как с объективными причинами (мировой среднегодовой прирост последствий ЧС составляет по числу погибших – 4 %, по материальному ущербу – более 10 %), так и с неудовлетворительным состоянием безопасности образовательных учреждений [1].

Средний уровень индивидуального риска для населения России, в том числе и для учащихся и студентов, примерно в 100 раз превышает уровень достигнутый в ряде развитых стран [2].

В связи с этим проблема защиты студентов, преподавателей и сотрудников учреждений ВПО от чрезвычайных ситуаций различного характера остается актуальной. Для ее решения необходимо принимать новые методы и подходы.

Чрезвычайные ситуации, как правило, развиваются быстро, сопровождаются не только материальными, но и людскими потерями, поэтому очень важно своевременно и правильно принять решения по ликвидации ЧС, смягчению и ликвидации ее последствий.

Сделать это очень сложно, так как процесс принятия решений происходит в условиях дефицита времени, неполной и неточной информации, требует учета множества аспектов – технических, организационных , психологических и других.

Важным направлением повышения оперативности и качества управленческих решений по предупреждению и ликвидации ЧС в высших учебных заведениях (ВУЗ) является создание информационных систем поддержки принятия решений. Основой создания таких систем является математические модели динамических процессов развития ЧС, содержащих трудно формализуемые элементы, функционирующие в условиях неопределенности [3].

Основная часть. Трудность задачи моделирования ЧС связана с тем, что характер развития каждой опасной ситуации сугубо индивидуален, происходит в условиях неопределенности, когда не известны ни масштабы бедствия, ни сложность предстоящих аварийно-спасательных работ, ни объем необходимых сил и средств [4].

Сложным вопросом остается также оперативное распределение ограниченных ресурсов между отдельными направлениями восстановительных работ [5].

Чрезвычайные ситуации в ВУЗе как объект управления имеет ряд специфических особенностей [6]:

– для максимального сокращения людских и материальных потерь решения должны приниматься в сжатые сроки;

– неопределенность параметров развития ЧС и предстоящих аварийно-спасательных и восстановительных работ;

– большой объем и недостаточная точность информации о состояния объекта;

– сложность процессов, характеризующих ЧС.

Отсюда следуют требования к моделям развития ЧС и моделям процессов управления в условиях ЧС:

– модели должны отображать слабоструктурированные и трудно формализуемые процессы развития ЧС и управления их ликвидацией;

– следует обеспечить возможность моделирования взаимосвязанных процессов различной природы;

– модели должны отражать пространственно-временные аспекты развития ЧС;

– необходимо формализовать и учесть в моделях знания и опыт экспертов по ликвидации ЧС.

Для моделирования процессов управления в условиях ЧС наибольшее применение получили аналитические и имитационные методы [7].

Прежде всего, разработанная модель должна быть адекватна реальной ситуации, т.е. правильно отражать ее особенности. В то же время модель не должна быть слишком детальной, т.к. в этом случае она становится необозримой и труднореализуемой. Поэтому модель должна отражать лишь наиболее существенные характеристики ЧС и быть пригодной для практического использования в режиме реального времени.

Математическое моделирование ЧС, которое может быть основой создания систем оперативного управления, должно базироваться на следующих принципах:

– системный подход при описании реальных объектов и ситуаций;

– иерархичный и многоуровневый характер модели;

– множественность моделей.

Системный подход предполагает рассмотрение всех составляющих ЧС в их взаимосвязи.

Принцип иерархического многоуровневого моделирования предполагает использование семейства моделей, каждая из которых описывает развитие ЧС на различных уровнях абстрагирования. Различают два направления иерархии:

– иерархия по вертикали, при которой различные уровни моделирования определяется структурно-функциональными особенностями;

– иерархия по горизонтали, при которой уровни моделирования ситуации определяются применяемыми методами исследования.

В иерархии по вертикали различают три уровня моделей [8]:

– уровень простейших базовых моделей, на основе которых строятся модели более высоких уровней;

– уровень локальных моделей, отражающих отдельные особенности ситуаций и позволяющих решать частные задачи анализа и синтеза;

– уровень глобальных моделей, охватывающих всю ситуацию с достаточно высокой степенью локализации.

Иерархия по горизонтали включает в себя четыре уровня моделирования:

– модели, допускающие точную реализацию в виде аналитических зависимостей или численных результатов;

– модели, поддающиеся приблизительному или оценочному анализу с приемлемой для инженерных приложений точностью;

– имитационные модели, основанные на статистических расчетах;

– комбинированные аналитико-имитационные модели.

Оба направления иерархического моделирования обычно используются совместно. Так, базовые модели, как правило, допускают точные решения и позволяют получить результат в явном виде. Для реализации локальных моделей дополнительно привлекаются имитационные методы. Расчеты на основе глобальных моделей требуют применение всех методов: от точных до аналитико-имитационных.

Наиболее эффективным является комбинированный подход к моделированию, предполагающих использование различных видов моделей и методов моделирования.

Применение иерархического многоуровневого моделирования требует структурно-функциональные декомпозиции исследуемой ситуации. Такая декомпозиция позволяет существенно упростить как само моделирование, так и создание на его основе систем оперативного управления.

Принцип множественности моделей заключается в возможности отображения многих объектов и процессов с помощью одной и той же достаточно общей модели, а также в возможности описания одной и той же ситуации или объекта с помощью множества моделей различного вида и степени детализации.

Математические модели развивающихся ЧС должны учитывать быстрое изменение внутренней и внешней среды, прогнозировать последствия ЧС, а также оценивать результаты реализации управленческих воздействий.

Моделирование и его использование для поддержки принятия решений в условиях ЧС включает в себя следующие этапы [9]:

1) сбор и систематизация информации о потенциальных источниках (причинах возникновения) ЧС;

2) системное исследование ЧС, т.е. выделение всех ее составляющих и их взаимосвязей;

3) систематизация и структурирование знаний о ЧС, как об объекте управления;

4) построение концептуальной модели ЧС;

5) оценка адекватности концептуальной модели ЧС;

6) структурно-функциональная декомпозиция концептуальной модели;

7) синтез методов и алгоритмов управления;

8) моделирование сценариев управления;

9) комплексный анализ результатов моделирования;

10) принятие и реализация решений.

Системное исследование ЧС включает в себя:

– выявление параметров, характеризующих объект – ВУЗ и определение их критических значений;

– выявление параметров внутренних и внешних воздействий (угроз), которые могут привести к ЧС;

– выявление объектов, которым может угрожать ЧС, возникших в ВУЗе.

Рассмотренные выше положения образуют методологическую основу моделирования процессов управления локализацией и ликвидацией последствий ЧС в ВУЗах.

В настоящее время проблема моделирования развития ЧС и процессов управления ее ликвидацией ведется по нескольким направлениям [10].

Традиционным является направление, связанное с использованием для описания динамики ЧС нелинейных дифференциальных уравнений.

При наличии достаточно большой априорной базы для описания развивающихся ЧС применяются различные модификации сетей Петри, которые позволяют моделировать различные сценарии развития ЧС, учитывая при этом возможные варианты поведения людей и результаты принимаемых управленческих решений.

Для обработки больших объемов априорной информации и прогнозирования на этой основе развития ЧС широко используется нейросемантический подход.

Для анализа и прогноза развития ЧС используются также когнитивные модели (карты). Когнитивные модели строятся на основе знаковых и взвешенных графов, которые позволяют формализовать связи, существующие между подсистемами. При создании когнитивных моделей может быть использована неполная, нечеткая и даже противоречивая информация. Когнитивные карты дают общую качественную картину развития ЧС в результате взаимодействия различных внутренних и внешних факторов. Кроме того, когнитивные карты позволяют дать предварительную качественную оценку последствий принимаемых решений, а также выбрать множество управляющих решений, приводящих объект в благополучную ситуацию.

Широкое применение для моделирования оперативного управления в условиях ЧС получил системный подход и экспертные системы реального времени, которые используются в качестве инструмента интеллектуальной поддержки процесса принятия решений.

Эти системы путем интерпретации старых знаний могут генерировать новые знания, распознавать ситуацию и формировать соответствующее управленческое решение. Решения вырабатываются на основе продукционных правил, с помощью нечетких множеств, коэффициентов уверенности, интервалов доверия и других приемов.

Для моделирования ЧС и процессов управления в условиях ЧС применяется также ситуационный метод, на основе которого был разработан сценарный подход к прогнозированию развития ЧС. Сущность данного подхода состоит в предварительном расчете последствий и плана ликвидации наиболее опасных и наиболее вероятных аварий и бедствий.

Недостатком всех рассмотренных выше подходов является слабое внимание к динамике развития ЧС и недостаточный учет особенностей развития ЧС в моделях управления и ликвидации ЧС.

Источниками ЧС являются различные опасные явления. Явления, которые нельзя отнести к управляющим воздействиям образуют обстановку. Совокупность обстановки, принимаемых решений и действий создает ситуацию.

Для эффективной ликвидации ЧС необходима система оперативного управления (СОУ) аварийно-спасательными работами [11].

Система оперативного управления в ЧС должна обладать следующими свойствами:

1. Высокая маневренность;

2. Способность быстро и адекватно реагировать на изменение ситуации;

3. Способность к адаптации путем изменения своей организационной структуры, алгоритмов принятия решений;

4. Способность принятия интеллектуальных решений в условиях неопределенности;

5. Способность системы к самосохранению и самозащите;

6. Способность к прогнозированию развития ЧС;

7. Способность быстро обрабатывать большие объемы информации.

Чрезвычайная ситуация в ВУЗе может быть формализована следующим образом:

$$S(t) = <X(t), F(t), U(t)>, \quad (1)$$

где $X(t)$ – вектор переменных состояний образовательного учреждения, в котором возникла ЧС; $F(t)$ – вектор внутренних и внешних негативных факторов (угроз), вызвавших ЧС; $U(t)$ – вектор управляющих воздействий, направленных на локализацию ЧС и смягчению ее последствий. Структура модели оперативного управления в условиях ЧС в ВУЗе представлена на рис. 1.

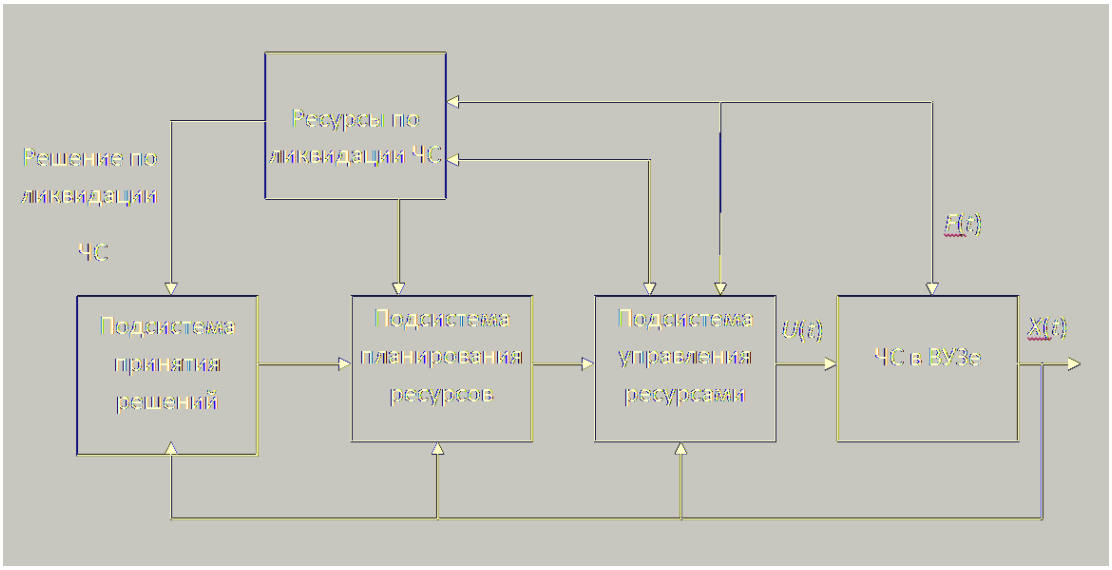


Рис. 1. Структура модели оперативного управления ликвидацией ЧС в ВУЗе

При экстремальных значениях негативных возмущений $f_i(t)$ переменные состояния ВУЗа $x_i(t)$ принимают недопустимые (запредельные) значения, что приводит к возникновению ЧС и необходимости незамедлительного принятия управленческих воздействий $U_k(t)$. Задача управления в условиях ЧС сводится к отысканию таких управляющих воздействий $U_k(t)$, при которых переменные состояния ВУЗа принимают (или стремятся) только к допустимым значениям

$$X(t) \in \Omega_0, \quad (2)$$

где Ω_0 – область допустимых состояний ВУЗа.

Вывод. Для создания системы оперативного управления в условиях ЧС необходима разработка системы информационной поддержки принятия управленческих решений по предупреждению, локализации и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций органами управления ВУЗа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Добровольский В.С., Овечкин А.Н., Павлов А.А. Состояние и обеспечение безопасности объектов образования от проявлений террористических угроз: Аналитический обзор. М.: Минобрнауки России, 2006. 230 с.

2. Радоуцкий В.Ю., Шаптала В.Г., Шульженко В.Н., Глызин В.Н. Нормирование рисков техногенных чрезвычайных ситуаций // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2008. №4. С. 26-28.

3. Радоуцкий В.Ю., Шаптала В.Г., Шаптала В.В. Системы информационной поддержки принятия управленческих решений при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций органами управления ВУЗа // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. №4. 2012. С. 188-191.

4. Ямалов И.У. Моделирование процессов управления и принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций. М.: Лаборатория базовых знаний. 2009. 228 с.

5 .Радоуцкий В.Ю., Шаптала В.Г. Оптимальное распределение сил и средств, предназначенных для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. №1. С. 138-140.

6. Радоуцкий В.Ю., Шаптала В.Г. Характеристика внутренних опасностей и угроз образовательных учреждений высшего профессионального образования // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2009. №2. С. 124-127.

7.Хенли Э. Дж., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска. М.: Машиностроение. 1981. 526 с.

8. Белов П.Г. Моделирование опасных процессов в техносфере. Киев, КМУГА. 1997.

9. Архипова Н.И., Кульба В.В. Управление в чрезвычайных ситуациях. М.: Рос. гос. гуманитар. университет. 1998. 324с.

10. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука. 1986. 462 с.

11. Дубинин Н.М., Куликов О.М., Ямалов И.У. Синтез алгоритмов оперативного управления при ликвидации чрезвычайных ситуаций // Материалы II Всероссийской научно-практической конференции «Промлемы прогнозирования, предотвращения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций». Уфа. НИИ БЖД республики Башкортостан. 2001. С. 150-153.

Radoutsky V.Yu., Vasyutkina D.I., Kudinova A.I.

ANALYZING THE MODELS OF OPERATIONAL CONTROL OF EMERGENCY MANAGEMENT IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

The problems of mathematical modeling of management process in emergency situations have been considered. The findings of analyzing the basic approaches to the models of operational control of emergency management, principles of mathematical modeling, stages of modeling and properties of operational control systems have been given.

Key words: *emergency situation, modelling, managing, hierarchy, information system.*

Шаптала В.В., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ЗАПЫЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ ЦЕМЕНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Shaptalavadim@yandex.ru

Выполнены моделирование и расчет систем очистки запыленных выбросов вращающихся печей и цементных мельниц, установлены закономерности формирования пылевого загрязнения приземного слоя воздуха цементными заводами в зависимости от режима их работы и эффективности пылеулавливающего оборудования.

Ключевые слова: *цементное производство, запыленные газовые выбросы, системы пылеулавливания, приземная концентрация пыли, экологические требования и нормативы.*

Введение. При существующих технологиях производства цемента пылевые выбросы в атмосферу неизбежны [1]. Выделяемая оборудованием цементная пыль загрязнет воздушную среду производственных помещений и промышленных площадок, атмосферу и сопредельные среды на территориях, прилегающих к цементным заводам [2]. В соответствии с законодательством РФ нормирование промышленных выбросов вредных веществ в атмосферу основано на необходимости соблюдения гигиенических и экологических критериев качества атмосферного воздуха [3, 4]. В частности, должно выполняться требование непревышения содержания вредных веществ в воздухе населенных пунктов предельно допустимого уровня, который для цементной пыли составляет 0.15 мг/м^3 [5]. Наряду с этим в ближайшие годы планируется разработка и внедрение в систему государственного регулирования загрязнения атмосферы технических (технологических) нормативов выбросов вредных веществ. Значения удельных показателей этих нормативов для конкретных производственных процессов и установок должны соответствовать наилучшим доступным технологиям и будут учитываться при установлении нормативов предельно-допустимых выбросов (ПДВ) [6].

Главными источниками выбросов цементной пыли являются вращающиеся печи и мельницы для помола цементного клинкера. Согласно ранее действовавшим нормативным концентрация пыли в выбросах цементного производства допускалась в пределах 60…90 мг/нм^3 [7]. В странах ЕС этот показатель установлен на уровне 20…50 мг/нм^3 при интенсивности выбросов менее 0.2 кг/ч (прозрачные выбросы) [1]. При таких выбросах приземная концентрация пыли, создаваемая цементным заводом на границе санитарно-защитной зоны (СЗЗ) или на границе ближайшей жилой застройки, может оказаться равной или ниже 0,1 предельно-допустимой концентрации (ПДК) для воздуха населенных мест. В этом случае считается, что промышленные выбросы не являются источником вредного воздействия на здоровье населения и окружающую среду и поэтому расчет загрязнения атмосферы этими выбросами за пределами СЗЗ не производится.

В связи с предстоящим введением технологических нормативов на промышленные выбросы представляется актуальной оценка степени экологичности технологического и газоочистного оборудования цементных заводов. Такая оценка позволит установить необходимость и основные направления модернизации цементного производства для снижения оказываемой им техногенной нагрузки на среду обитания населения и окружающую среду.

Основная часть. Приземную концентрацию пыли $C(x)$, мг/м^3, создаваемую выбросами цементного завода на расстоянии x, м можно представить в виде:

$$C(x) = N_1 C_1(x) + N_2 C_2(x) \qquad (1)$$

где N_1,N_2 - количество работающих выбросных труб вращающихся печей и цементных мельниц; $C_1(x)$, $C_2(x)$ – концентрации пыли, создаваемые этими источниками:

$$C_{1,2}(x) = C_{м1,2} S_{1,2}(x) \qquad (2)$$

Здесь $C_{M1,2}$ – максимальные приземные концентрации пыли, создаваемые выбросными трубами вращающихся печей и мельниц соответственно, $S_{1,2}(x)$ – безразмерные множители:

$$S_{1,2}(x) = \begin{cases} 3\left(\dfrac{x}{x_{M1,2}}\right)^4 - 8\left(\dfrac{x}{x_{M1,2}}\right)^3 + 6\left(\dfrac{x}{x_{M1,2}}\right)^2 & \text{при } \dfrac{x}{x_{M1,2}} \le 1, \\ \dfrac{1{,}13}{0{,}13\left(\dfrac{x}{x_{M1,2}}\right)^2 + 1} & \text{при } 1 < \dfrac{x}{x_{M1,2}} \le 8, \end{cases} \qquad (3)$$

где $x_{M1,2}$ – расстояния, на которых достигаются наибольшие концентрации пыли, создаваемые выбросами печей и мельниц [8].

Характер изменения приземной концентрации пыли в зависимости от расстояния показан на рис. 1.

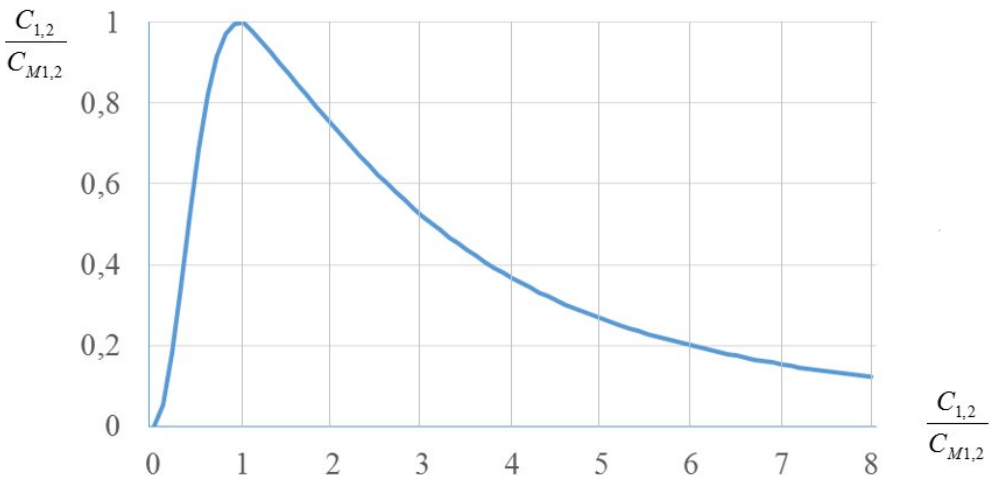


Рис. 1. Изменение приземной концентрации цементной пыли по мере удаления от выбросной трубы

Согласно действующей в настоящее время методике [8] значения $C_{м1,2}$ и $x_{м1,2}$ зависят от расхода и температуры выбрасываемых запыленных газов, концентрации и дисперсного состава пыли, высоты выбросных труб и метеорологических условий.

Для вращающихся печей размерами 5×185 м с расходом запыленных выбросов 127 м^3/с при температуре 150 °С при неблагоприятных метеорологических условиях выражения для параметров C_{M1} и x_{M1} принимают вид:

$$C_{M1} = \frac{5{,}46 C_{в1}}{H_1^2 \sqrt[3]{150 - t}}, \qquad (4)$$

$$x_{M1} = 29 H_1, \qquad (5)$$

где $C_{в1}$ – концентрация пыли в выбросах печей, мг/м^3, H_1 – высота выбросной трубы печи, м; t – температура наружного воздуха.

Выбросы цементных мельниц обусловлены необходимостью их аспирации. Оптимальный режим аспирации мельниц достигается при скорости движения воздуха равной 0,7 м/с. В этом случае расход проходящего через мельницу размерами 4×13,5 м аспирационного воздуха достигает 5,7 м^3/с при температуре на выходе из мельницы равной 100…120 °C.

Из-за подсосов объем отсасываемого из мельницы запыленного воздуха возрастает в k = 1,5…3 раз, где k – коэффициент подсосов, а его температура понижается до 60…30 °C в холодный период года и до 70-50 °C в теплый период. В соответствии с этим формулы, определяющие параметры рассеивания аспирационных выбросов C_{M2} и x_{M2} для холодного периода года принимают вид:

$$C_{M2} = (0{,}11k - 0{,}06)\frac{C_{в2}}{H_2^2}, \text{ мг/м}^3, \qquad (6)$$

$$x_{M2} = (19{,}3 - 2{,}6k) H_2, \text{ м}, \qquad (7)$$

а для теплого периода

$$C_{M2} = (0{,}133k - 0{,}1)\frac{C_{в2}}{H_2^2}, \text{ мг/м}^3, \qquad (8)$$

$$x_{M2} = 14 H_2, \text{ м}, \qquad (9)$$

где $C_{в2}$, мг/м^3 – концентрация пыли в выбросах цементных мельниц, H_2, м – высота их выбросных труб.

Рассмотрим более напряженный в экологическом отношении теплый период года, когда загрузка цементных заводов максимальна, а условия рассеивания их запыленных выбросов наименее благоприятны.

В этом случае для расстояний $x \geq 3000$ м (3000 м – максимальный радиус СЗЗ для цементных заводов [9]) и минимальных подсосах в системе газоочистки (k = 1,5) соотношение (1) принимает вид:

$$C(x) = \frac{1{,}1 N_1 C_{в1}}{0{,}00015x^2 + H_1^2} + \frac{0{,}08 N_2 C_{в2}}{0{,}0007x^2 + H_2^2}, \text{ мг/м}^3 \qquad (10)$$

Концентрация пыли в выбросах цементных заводов определяется особенностями технологического оборудования и эффективностью газоочистных установок [10].

Для обеспыливания выбросов вращающихся печей используется двухступенчатая система очистки, состоящая из пылеосадительной камеры с коэффициентом очистки $\eta_{ПК} \approx 0{,}2$ и электрофильтра с эксплуатационной эффективностью $\eta_{ПК} \approx 0{,}99$.

Пылевынос из вращающихся печей в среднем равен $C_п$ = 10 г/м^3, поэтому минимальная концентрация пыли на выходе из выбросных труб цементных печей может составлять

$$C_{в1} = 10^4 (1 - 0{,}2)(1 - 0{,}99) = 80 \text{ мг/м}^3 \qquad (11)$$

В действительности концентрация пыли в выбросах цементных печей нередко достигает значений от 200 до 600 мг/м^3.

Для обеспыливания аспирационных выбросов цементных мельниц в настоящее время применяется трехступенчатая система очистки, включающая в себя аспирационную шахту, группу циклонов и рукавный фильтр [11]. Наибольшие значения коэффициентов очистки воздуха в аспирационной шахте и рукавном фильтре, достигаемые в реальных условиях, равны $\eta_{АШ} = 0{,}9$ и $\eta_{РФ} = 0{,}99$ соответственно.

Процесс центробежного осаждения пыли определяется физико-механическими свойствами подаваемого на очистку потока запыленного воздуха, а также конструктивными особенностями группы циклонов.

Так, согласно действующей в настоящее время методике НИИОгаз, основанной на логарифмически-нормальной аппроксимации распределений размера частиц пыли и фракционных коэффициентов их улавливания, эффективность группы циклонов определяется соотношением [12]:

$$\eta_{ГЦ} = \Phi(z), \qquad (12)$$

где $\Phi(z)$ – интеграл вероятностей

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Z} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt, \qquad (13)$$

$$z = \frac{\lg\left(d_{0,5}/d_{50}\right)}{\sqrt{\lg^2 \sigma_\eta + \lg^2 \sigma_ц}}, \qquad (14)$$

Здесь $d_{0,5}$ и d_{50} – медианный размер частиц пыли и размер частиц, улавливаемых циклонами на 50%; σ_η и $\sigma_ц$ – средние квадратические отклонения распределения фракционных коэффициентов улавливания частиц пыли и распределения их размеров. Для циклонов ЦН-15, применяемых в системах очистки аспирационных выбросов цементных мельниц, параметр $\sigma_\eta = 2{,}249$ установлен опытным путем, а параметр $\sigma_ц$ определяется по дисперсному составу пыли с помощью соотношений:

$$\sigma_ц = \frac{d_{0,5}}{d_{0,16}} = \frac{d_{0,84}}{d_{0,16}}, \qquad (15)$$

Здесь $d_{0,16}$ и $d_{0,84}$ – размеры частиц, для которых $D(d_{0,16}) = 0{,}16$, $D(d_{0,84}) = 0{,}84$, где $D(d)$ – интегральная функция распределения размеров частиц:

$$D(d) = \Phi\left(\frac{\lg d/d_{0,5}}{\lg \sigma_ц}\right) \qquad (16)$$

Параметр d_{50} может быть найден по формуле [13]:

$$d_{50} = 14{,}5 \cdot 10^5 \xi^{-0{,}51} \sqrt{\frac{D_ц \mu}{w_ц \rho_ц}}, \text{ мкм}, \qquad (17)$$

где ξ - коэффициент гидравлического сопротивления циклонов, $D_ц$ – их диаметр, м; μ- коэффициент динамической вязкости воздуха; $w_ц$ - скорость очищаемого воздуха в плане циклона (фиктивная скорость), м/с; $\rho_ц = 3100$ кг/м^3 – плотность частиц цементной пыли. Для циклонов ЦН-15 с учетом запыленности воздуха и прямоугольной компоновки группы циклонов $\xi = 168{,}3$, а оптимальным значением фиктивной скорости является $w_ц = 3{,}5$ м/с. При такой фиктивной скорости для очистки аспирационных выбросов одной мельницы оптимальной будет группа из 6 циклонов диаметром $D_ц = 0{,}6$ м.

Дисперсные характеристики $d_{0,5}$ и $\sigma_ц$ цементной пыли, поступающей из аспирационной шахты в циклоны, найдем по ее фракционному составу [14] (табл.1).

Таблица 1

Дисперсный состав пыли на выходе из аспирационной шахты

$d_{i-1}\ldots d_i$	0..10	10..20	20…30	30…40	40…60	60…90	90…200
ΔD	0,017	0,157	0,118	0,05	0,041	0,016	0,001
$D(d_i)$	0,617	0,774	0,892	0,942	0,983	0,999	1

График интегральной функции распределения $D(d)$ представлен на рис. 2.

Аппроксимируя начальный участок ($0 \le d \le 20$ мкм) интегральной кривой квадратичной функцией, получим выражение:

$$D(d) = -0{,}00135 d^2 + 0{,}00693 d + 0{,}003, \qquad (18)$$

с помощью которого найдем $d_{0,16} = 2{,}375$, $d_{0,5} = 8{,}62$, $d_{0,84} = 19{,}44$ мкм. Поскольку реальные распределения частиц пыли подчиняются логарифмически-нормальному закону лишь приближенно, то для параметра $\sigma_ц$ примем его среднее значение:

$$\sigma_ц = \frac{1}{2}\left(\frac{d_{0,5}}{d_{0,16}} + \frac{d_{0,84}}{d_{0,5}}\right) = 2{,}94 \qquad (19)$$

По найденным дисперсным характеристикам пыли с помощью соотношений (12…14) найдем, что максимально достижимая степень очистки аспирационного воздуха в указанной

выше группе циклонов составляет $\eta_{ГЦ} = 0{,}75...0{,}78$ [15].

Концентрация цементной пыли на выходе из мельницы $C_M \geq 500$ г/м^3, поэтому ее минимальная концентрация на выбросе составляет:

$$C_{в2} = C_M(1-\eta_{АШ})(1-\eta_{ГЦ})(1-\eta_{РФ}) = 110 \text{ г/м}^3 \quad (20)$$

Реальная запыленность аспирационных выбросов цементных мельниц может превышать минимальную в 2 …4 раза.

Предположим, что концентрации пыли в выбросах печей и мельниц имеют минимально допустимые значения $C_{в1}$ = 80 мг/м^3, $C_{в2}$ = 110 мг/м^3, а высоты их выбросных труб H_1= 100 м и H_2 = 37 м соответственно. Тогда соотношение (10), определяющее концентрацию пыли на прилегающей к заводу территории принимает вид:

$$C(x) = \frac{88N_1}{0{,}00015x^2 + 1000} + \frac{8{,}8N_2}{0{,}0007x^2 + 1369} \quad (21)$$

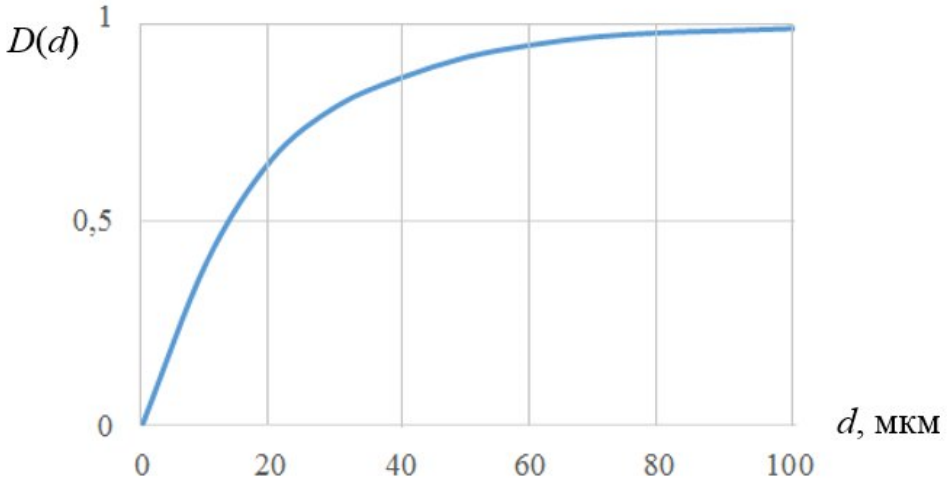


Рис. 2. Кривая распределения частиц пыли на входе в циклоны

Для концентрации пыли на границе расширенной СЗЗ завода (x = 3000) из соотношения (21) получим:

$$C(x) = 0{,}00775N_1 + 0{,}00115N_2 \quad (22)$$

Завод не будет оказывать вредного влияния на здоровье населения и окружающую среду при выполнении условия

$$0{,}00775N_1 + 0{,}00115N_2 \leq 0{,}015, \quad (23)$$

которое сводится к неравенству:

$$N_2 \leq 13 - 7N_1 \quad (24)$$

Из неравенства (24) следует, что пылевыми выбросами цементного завода при надлежащей работе пылеулавливающего оборудования можно пренебречь при совместной работ одной печи и не более шести мельниц.

Предельно-допустимая концентрация цементной пыли ($C_{пдк}$ = 0,15 мг/м^3) на границе обычной СЗЗ завода (x = 1000 м) будет выдерживаться при режиме работы завода, определяемом условием:

$$N_2 \leq 35 - 2N_1 \quad (25)$$

т.е. при наименьших достижимых выбросах печей и мельниц $C_{пдк}$ пыли за пределами СЗЗ полностью загруженного типичного цементного завода ($N_1 \leq 10$, $N_2 \leq 12$) , будет обеспечена.

Расстояние x, м, начиная с которого концентрация пыли не превышает заданного значения C, мг/м^3 может быть найдено из уравнения, которое вытекает из соотношения (10):

$$\alpha x^4 + \beta x^2 + \gamma = 0, \quad (26)$$

где $\alpha = 1{,}05 \cdot 10^{-7} C$ (27)

$$\beta = 7{,}21C - 0{,}00077N_1C_{в1} - 0{,}000012N_2C_{в2} \quad (28)$$

$$\gamma = 1{,}37 \cdot 10^7 C - 1506N_1C_{в1} - 800N_2C_{в2} \quad (29)$$

Решение уравнения (26) имеет вид:

$$x = \sqrt{\frac{1}{2\alpha}\left(\sqrt{\beta^2 - 4\alpha\gamma}\right) - \beta} \quad (30)$$

Из формулы (30) следует, что при реально существующих (особенно в ночное время) пылевых выбросах ($C_{в1}$ = 400 мг/м^3, $C_{в2}$ = 250 мг/м^3) концентрация пыли, создаваемая цементным заводом при одновременно работающих, к примеру, 7 печах, 10 мельницах опускается ниже предельно-допустимого уровня лишь на расстояниях $x \geq 12$ км.

Приведенный выше анализ позволяет количественно оценить состояние экологической безопасности цементного производства от которой в значительной мере зависят перспективы его развития.

Улучшение экологических характеристик цементных заводов путем изменения режима их работы и модернизации пылеулавливающих си-

стем не всегда возможно и экономически оправдано, поэтому основным направлением решения экологических проблем является строительство новых цементных заводов, оснащенных современным экологически безопасным оборудованием [16].

Выводы

1. При недостаточно эффективной работе пылегазоочистного оборудования пылевые выбросы цементных заводов могут создать критическую экологическую ситуацию на прилегающих к ним территориях.

2. При снижении пылевых выбросов до минимально достижимых для эксплуатируемого в настоящее время технологического и пылеулавливающего оборудования уровней санитарно-гигиенические и экологические требования за пределами санитарно-защитных зон заводов могут быть удовлетворены.

3. Снижение техногенной нагрузки цементных заводов на среду обитания населения и окружающую среду до европейских норм невозможно без перехода на передовые экологически безопасные технологии цементного производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Энтин З.Б., Сивков С.П. Проблемы технического регулирования и охраны окружающей среды при производстве цемента. Цемент и его применение. 2007. № 6. С. 118-120.

2. Минко В.А., Шаптала В.Г. Комплексное обеспыливание помещений при производстве цемента. Цемент. 1990. № 12. С. 15-17.

3. Федеральный закон Рф “Об охране атмосферного воздуха” № 96-ФЗ (в ред. От 4.05.1999).

4. Федеральный закон РФ “Об охране окружающей среды”. №7 – ФЗ (в ред. от 19.07.2011).

5. Гигиенические нормативы “Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ атмосферном воздухе населенных мест” ГН 2.1.6.1338-02, от 21.05.2003 г. М.: Минздрав России, 2003. 61 с.

6. Постановление Правительства РФ от 02.03.2000 № 183 (в ред. от 15.02.2011) О нормативах выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и вредных физических воздействиях на него”.

7. Банит Ф.Г., Мальгин А.Д. Пылеулавливание и очистка газов в промышлености строительных материалов. М.: Стройиздат, 1979. 351с.

8. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86). Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 93 с.

9. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. “Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов” в ред. от 9.09.2010.

10. Севостьянов В.С., Горлов А.С., Нечаев С.П., Перелыгин Д.Н. Рациональное проектирование энерго- и ресурсосберегающих процессов и комплексов тонкого и сверхтонкого измельчения материалов. Вестник БГТУ, 2005. № 11. С. 211-215.

11. Богданов В.С., Шаптала В.Г., Бажанова О.И. Технологическая аспирация цементных мельниц. Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. №3. С. 95-99.

12. Справочник по пыле- и золоулавливанию. М.И. Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков. Под общ. ред. А.А. Русанова. М.: Энергоатомиздат, 1983. 312 с.

13. Вальдберг А.Ю., Кирсанова Н.С. Практическая реализация вероятностно-энергетического метода расчета центробежных пылеуловителей. Химическое и нефтегазовое машиностроение. 1994. № 9. С. 26-29.

14. Петров Б.А., Сидяков П.В. Обеспыливание технологических газов цементного производства. М.:Госстройиздат, 1965. 89 с.

15. Шаптала В.Г., Шаптала В.В. Метод расчета эффективности центробежных уловителей слипающихся пылей в производстве строительных материалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. №3. С. 58-62.

16. Серебрянский цементный завод вышел на проектную мощность. http://baselcement.ru/pressroom/news/news-96/html.

Shaptala V.V.

MODELING AND CALCULATION SYSTEMS OF CLEANING DUST EMISSIONS OF CEMENT PRODUCTION

The modeling and calculation of dust emission treatment systems of rotary kilns and cement mills, the regularities of the formation of dust pollution of surface air cement plants depending on the mode of operation and efficiency of the dust collection equipment.

***Key words**: cement production, dusty gas emissions, dust collection system, ground-level concentrations of dust, environmental requirements and standards.*

Юдин Д.А., канд. техн. наук,
Фролов С.В., студент
Магергут В.З., д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГРУППОВОГО УЧЕТА АРГУМЕНТОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЦЕМЕНТНОЙ ПЕЧЬЮ*

yuddim@yandex.ru

В статье рассмотрена задача зеленого управления энергоемким объектом на примере вращающейся цементной печи. Представлена модель системы управления на основе статистических данных о процессе обжига, получаемых с помощью традиционных датчиков и системы технического зрения. Для выявления взаимосвязи «входы-выход» рассмотрено применение метода группового учёта аргументов. В ходе тестирования метод группового учёта аргументов обеспечил хорошие результаты с точки зрения среднеквадратичного отклонения вычисленных управляющих воздействий от его истинного значения. Показана перспективность применения метода в составе советующей системы управления вращающейся печью.

Ключевые слова: *статистический метод, энергоемкий объект, вращающаяся печь, «зеленое» управление, метод группового учета аргументов.*

Введение. Снижение выбросов вредных веществ в окружающую среду и уменьшение потребления энергоресурсов являются одними из важнейших аспектов при проектировании и модернизации энергоемких объектов. Такими, например, являются вращающиеся печи обжига, широко применяемые в строительной отрасли, металлургии, при сжигании мусора, производстве бумаги и т.д.

Одни из первых работ рассматривали синтез оптимального регулятора с помощью метода пространства состояний на основе статистических данных [1], методы теории нелинейных систем [2] и методы иерархического и адаптивного управления [3] для управления вращающейся цементной печью.

Прогностическое управление на основе модели распространения тепла и протекания химических реакций предложено в [4]. Построение прогностической модели вращающейся печи на базе метода опорных векторов исследовано в [5].

В [6, 7] показано получение динамической математической модели обжига клинкера с применением статистических методов и ее применение для управления вращающейся печью.

В работе [8] рассмотрено применение нейронных сетей в сочетании с нечетким контроллером и лингвистическим подходом для управления известковой печью. Однако представление модели в виде «черного» ящика и вопросы устойчивости, которые возникают при применении нейронных сетей в задачах управления, ограничивают их использование.

Применение нечёткой логики для управления технологическими процессами вполне оправдано, только в случае, когда существует формализуемая экспертами связь между входными и выходными переменными. Для вращающихся цементных печей существуют ряд подходов к построению баз нечетких правил [9, 10], которые, однако, требуют дополнения и расширения.

Активно исследуется применение комбинированных методов, например, нейро-нечётких сетей, которые объединяют возможности нейронных сетей и нечеткой логики [11, 12]. В них алгоритмы нечеткого логического вывода, сформированные экспертами, включаются в структуру нейронной сети [13].

Существующие подходы показывают, что исходными для построения системы управления, как правило, служат статистические данные с датчиков технологических величин и данные распознавания состояния зоны обжига печи с использованием системы технического зрения, которые получены в результате пассивного эксперимента. Одними из основных управляющих воздействий являются расход газа, положение шиберов дымососа, расход шлама [14,15]. Формирование зависимости между величиной управляющего воздействия и показаниями датчиков при имеющихся статистических данных сводится к задаче аппроксимации (регрессии).

В настоящей статье будет рассмотрено построение модели системы управления на базе иерархической модели на основе метода группового учета аргументов [17].

Управление вращающейся цементной печью на основе метода группового учёта аргументов. Снижение расхода энергоносителей является «зеленым» аспектом при разработке системы управления вращающейся цементной печью, т.к., например, для некоторых печей расход природного газа на обжиг клинкера составляет около 12 000 м^3/час.

Укрупненную структуру системы управления печью можно представить в виде «чёрного» ящика, показанного на рис. 1.

Рис. 1. Структура системы управления в виде чёрного ящика

На рисунке $X = [T_{ог}, C_{CO2}, T_1, T_2, I_{нагр1}, I_{нагр2}, T_{вт}, S, L_1, L_2, L_3, L_4, L_5]$ – вектор, содержащий наиболее значимые данные о процессе обжига, получаемые с помощью традиционных датчиков: $T_{ог}$ – температура отходящих газов; C_{CO2} – концентрация углекислого газа в отходящих газах; T_1 и T_2 – температура материала в зоне подогрева и кальцинирования; $I_{нагр1}$, $I_{нагр2}$ – нагрузка на главных приводах печи; $T_{вт}$ – температура вторичного воздуха; а также параметры определяемые с помощью системы технического зрения: S – оценка состояния зоны спекания, L_1 – оценка угла подъема материала, L_2 – оценка температуры клинкера, L_3 – оценка размера гранул клинкера на выходе печи, L_4 –оценка яркости факела, L_5 – оценка запыленности.

Выходной вектор разрабатываемой системы $Y = [Q_{газ}, H_{Д1}, H_{Д2}, Q_{шл}]$, где $Q_{газ}$ – расход газа, $H_{Д1}$ и $H_{Д2}$ – положения шиберов дымососов, $Q_{шл}$– расход шлама, которые необходимо установить в текущий момент времени t.

Такой набор данных был выбран на основе опроса операторов на заводе ЗАО «Осколцемент», анализа трудов [14, 15] и работ по оценке состояния зоны спекания [19…21].

Для получения первой оценки S применен метод экстремального обучения нейронной сети, обеспечивший среднюю точность свыше 94 %, а для оценок $L_1 \ldots L_5$ использован метод построения нечетких функций принадлежности, формирующий их с точностью свыше 80 % [19, 21].

В соответствии с предлагаемым в [4…6] подходом оценка состояния зоны спекания вращающейся печи S имеет несколько целых значений, соответствующих категориям: «сильно ослаблена (брак)» ($S = 0$), «ослаблена» ($S = 1$), «несколько ослаблена» ($S = 2$), «в норме» ($S = 3$), «перегрета» ($S = 4$). Оценка угла подъема материала L_1 выбирается из четырех значений $L_1=\{0,1,2,3\}$: «существенно меньше нормы» ($L_1 = 0$), «меньше нормы» ($L_1 = 1$), «норма» ($L_1 = 2$), «больше нормы» ($L_1 = 3$). Оценка температуры клинкера L_2 осуществляется с помощью четырех чисел $L_2 = \{0,1,2,3\}$: «существенно меньше нормы (брак)» ($L_2 = 0$), «меньше нормы (клинкер слабо подготовлен)» ($L_2 = 1$), «норма» ($L_2 = 2$), «больше нормы (клинкер перегрет)» ($L_2 = 3$). Для оценки размера гранул клинкера на выходе печи L_3 имеется возможность выбора трех целых значений $L_3=\{0,1,2\}$: «меньше нормы (средний диаметр гранул <15мм)» ($L_3=0$), «норма (15 мм ≤ средний диаметр гранул ≤ 50 мм)» ($L_3=1$), «больше нормы (средний диаметр гранул >50мм)»($L_3=2$). Для оценки яркости факела L_4 используются три значения $L_4=\{0,1,2\}$: «темный факел» ($L_4 = 0$), «норма» ($L_4 = 1$), «яркий факел» ($L_4 = 2$). Оценка запыленности L_5 могла быть установлена в одно из двух значений $L_5 = \{0,1\}$: «нормальный режим» ($L_5 = 0$), «печь пылит» ($L_5 = 1$).

Для моделирования работы системы управления вращающейся печью ранее не исследовалось применение метода группового учета аргументов [17], который подробно рассматривается в этой статье.

В соответствии с МГУА на основе показаний n датчиков (в том числе системы технического зрения) необходимо построить модель для каждого из i–х управляющих воздействий $Y_i(x_1, \ldots, x_n)$ за 4 шага следующего алгоритма:

1. Выбирается общий вид перебираемых моделей, так называемые опорные функции. В данном случае используется полином Колмогорова-Габора (1):

$$Y_i(x_1,\ldots,x_n) = a_0 + \sum_{i=1}^{n} a_i x_i + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{n} a_{ijk} x_i x_j x_k + \ldots \quad (1)$$

Сложность модели в таком случае определяется количеством коэффициентов $a_{ij\ldots}$.

2. Используя опорные функции строятся различные варианты моделей F для некоторых или всех аргументов. В нашем случае строятся для двух аргументов (рис. 2). Для каждой модели определяются её коэффициенты $a_{ij\ldots k}$ методом наименьших квадратов.

3. Среди всех моделей выбираются 8 наилучших по среднеквадратичному отклонению (СКО).

4. Если найдена достаточно "хорошая" модель или достигнута максимально допустимая сложность моделей, то алгоритм заканчивается. Иначе, найденные модели используются как аргументы ($x_1,\ldots, x_n$) для опорных функций следующей итерации. То есть уже найденные моде-

ли участвуют в формировании более сложных, то есть осуществляется переход на пункт 2.

Для тестирования метода использовались статистические данные о работе печи за январь месяц 2015 года (5989 точек), обучение (определение коэффициентов модели) производилось на 75 % данных.

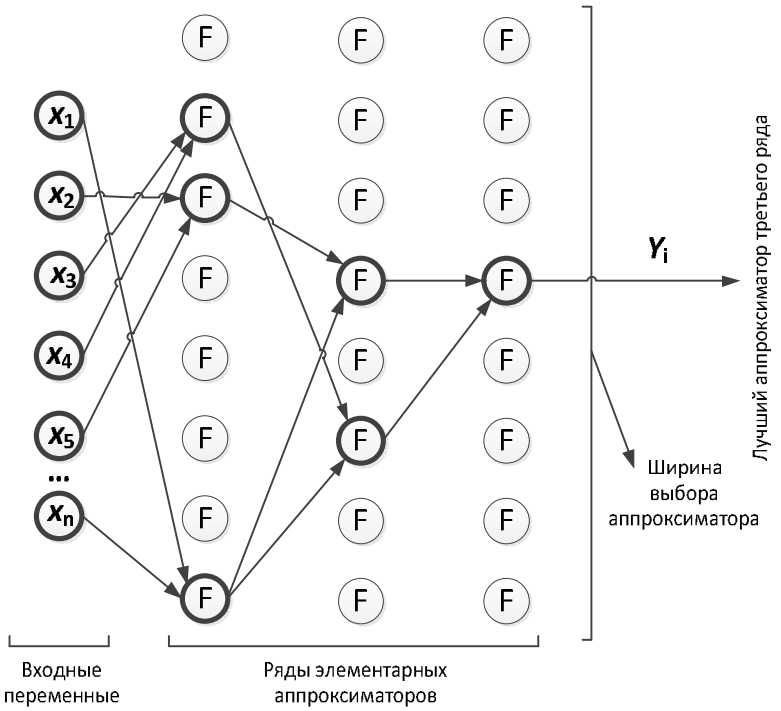


Рис. 2. Структура системы управления на основе метода группового учёта аргументов

В табл. 1 приведено относительное среднеквадратическое отклонения между реальным управлением оператора и выходом системы управления при одних и тех же входных данных. Реализация метода осуществлена в среде Matlab.

Таблица 1

Относительные среднеквадратические отклонения управляющих воздействий от показаний оператора на тестовых данных

№ пп	Управляющее воздействие	Относительное СКО,%	
		МГУА	
		Обучающие данные	Тестовые данные
1	Расход газа ($Q_{газ}$)	1,2	1,7
2	Положение шибера 1-го дымососа ($H_{Д1}$)	3,7	4,4
3	Положение шибера 2-го дымососа ($H_{Д2}$)	2,0	3,2
4	Расход шлама ($Q_{шл}$)	3,1	4,2

Для сравнения работы методов используется относительное среднеквадратическое отклонение (СКО) σ_i *i*–го управляющего воздействия Y_i^{cs} от показаний оператора Y_i^{oa} на тестовых данных для различных методов аппроксимации. Формула для вычисления σ_i для *n* исходных данных для каждого из четырех управляющих воздействий представлена ниже (2).

$$\sigma_i = \left(\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (Y_i^{oa} - Y_i^{cs})^2 \Big/ n} \right) \Big/ \left(\sum_{i=1}^{n} Y_i^{oa} \Big/ n \right) \cdot 100\% \quad (2)$$

Таким образом, с точки зрения точности работы наиболее подходящим для использования в разрабатываемой системе управления является метод группового учёта аргументов.

Временные тренды управляющих воздействий для лучшего метода в графическом виде показаны на рис. 3…6: короткая штриховая линия (зелёный) – управляющее воздействие, задаваемое оператором, сплошная линия (синий цвет) – управляющее воздействие, полученное в результате работы выбранного метода. Представлены последние 1000 значений с интервалом 1 минута.

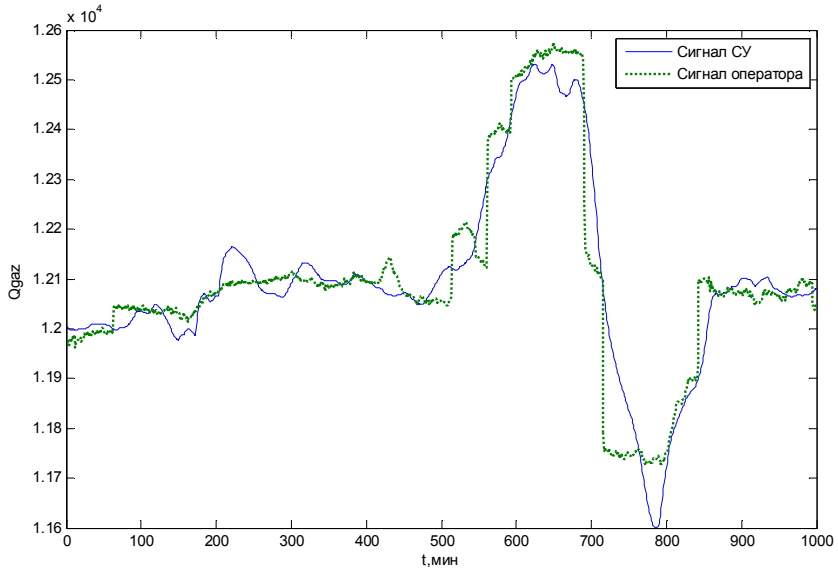


Рис. 3. Результат работы системы управления по формированию расхода газа ($Q_{газ}$)

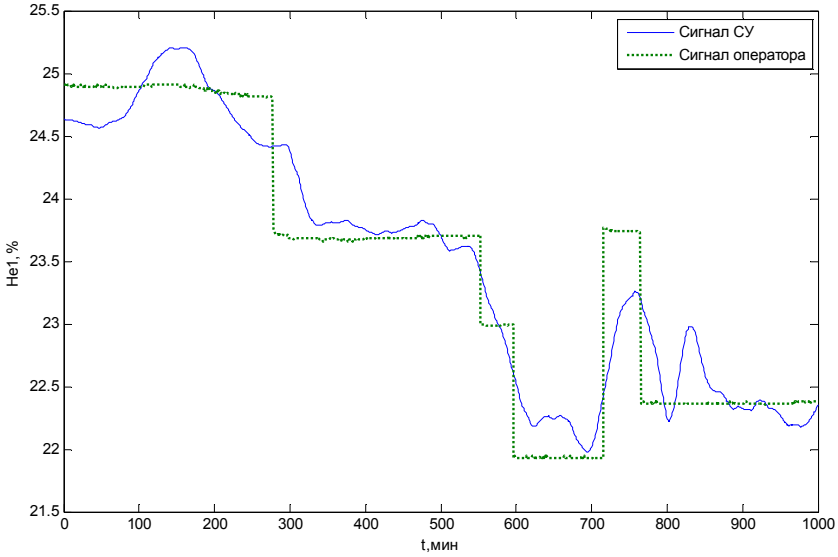


Рис. 4. Работа системы управления по формированию позиций шибера дымососа *НД*1

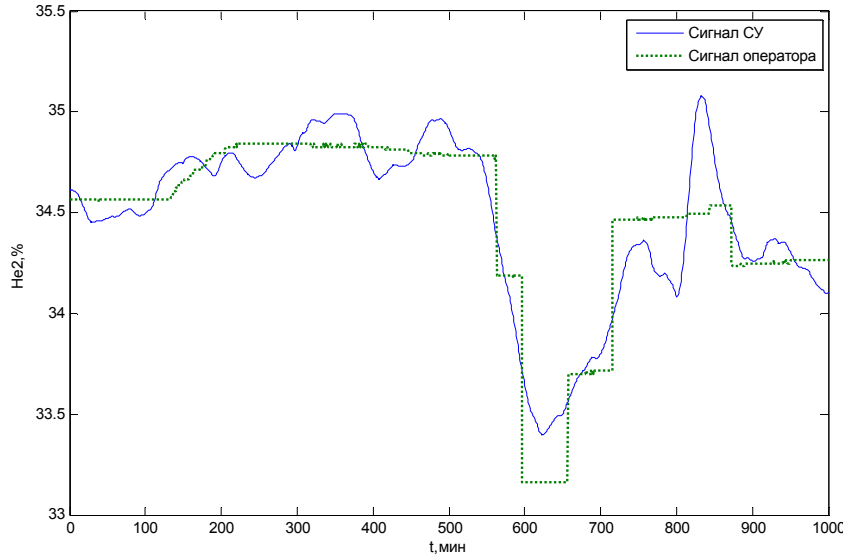


Рис. 5. Работа системы управления по формированию позиций шибера дымососа *НД*2

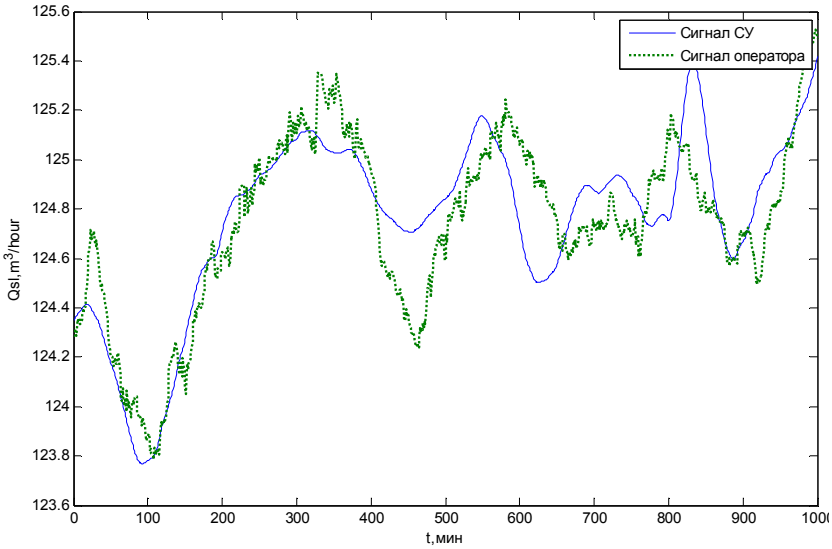


Рис. 6. Результат работы системы управления по формированию расхода шлама (Q_{sl})

Выводы и перспективы. В ходе выполнения данной работы был проведен анализ применения статистических методов для построения системы управления энергоемкими объектом – вращающейся цементной печью. При этом осуществлено формирование величин управляющих сигналов расхода газа Q_{gas} , положения шиберов дымососов H_{E1} и H_{E2}, расхода шлама Q_{sl} на основе состояния зоны спекания печи и других технологических величин. Необходимо отметить, что набор входных и выходных переменных требуется расширить, чтобы охватить все возможные режимы работы печи.

Разработан программный модуль, реализующий функции рассмотренных аппроксиматоров, который может быть использован при разработке приложения системы управления под платформу .NET Framework.

В дальнейшем на основе выбранного метода планируется разработка советующей системы управления всей вращающейся цементной печью, которая должна быть дополнена данными о положении шибера вентилятора общего дутья, разрежении отходящих газов в пылеосадительной камере, режиме вращения печи и др. Кроме того, рассмотренный подход к анализу статистических данных может быть применен и на других энергоемких объектах, имеющих большое количество входных и выходных параметров, связь между которыми очень сложно установить аналитически.

**Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 14-41-08016 р_офи_м «Разработка интеллектуальных систем управления сложными технологическими процессами на основе советующих систем с техническим зрением» и Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова на 2012-2016 г.г. (№ 2011-ПР-146).*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. T. Otomo, T. Nakagawa, H. Akaike.Statistical approach to computer control of cement rotary kilns. Automatica. Volume 8, Issue 1, January 1972, Pages 35–48 (doi:10.1016/0005-1098(72)90008-8)

2. E.A. Dekkiche, A. En-Naamani, P. Prevot, J.P. Barbier. Experimental analysis and modelling of a rotary cement kiln. Digital Computer Applications to Process Control. Proceedings of the 6th IFAC/IFIP Conference, Düsseldorf, F. R. Germany, 1980, Pages 175–182 (doi:10.1016/B978-0-08-026749-4.50023-0)

3. J.-D. Marcuard, A. Meister. Application of modern numerical control to an industrial rotary cement kiln. Microcomputer Application in Process Control. Selected Papers from the IFAC Symposium, Istanbul, Turkey, 22–25 July 1986. A volume in IFAC Symposia Series. 1987, Pages 107–112 (doi:10.1016/B978-0-08-034340-2.50022-4)

4. Konrad S. Stadler, Jan Poland, Eduardo Gallestey. Model predictive control of a rotary cement kiln. Control Engineering Practice. Volume 19, Issue 1, January 2011, Pages 1–9. (doi:10.1016/j.conengprac.2010.08.004)

5. X. Zhang, J. Zhao. Prediction Model for Rotary Kiln Coal Feed Based on Hybrid SVM. Procedia Engineering. CEIS 2011. Volume 15, 2011, Pages 681–687. (doi:10.1016/j.proeng.2011.08.127)

6. Порхало В.А., Рубанов В.Г., Шаптала В.Г. Автоматизация печи обжига клинкера на основе каскадной и многосвязной систем управления // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 2. С. 69-72.

7. Рубанов В.Г., Порхало В.А. Получение математической модели обжига клинкера с применением статистических методов. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. 2010. Т. 7. № 14-1-1. С. 80-87

8. M Järvensivu, K Saari,S.-L Jämsä-Jounela. Intelligent control system of an industrial lime kiln process. Control Engineering Practice. Volume 9, Issue 6, June 2001, Pages 589–606 (doi:10.1016/S0967-0661(01)00017-X)

9. D. Yudin, V. Magergut and V. Rubanov. “Fuzzy control of rotary cement kiln using sintering zone image recognition” 10th International Conference on Digital Technologies (DT), pp. 365-370, 2014 (DOI:10.1109/DT.2014.6868741).

10. V.Z. Magergut, A.G. Bazhanov, R.A. Vashchenko. Algorithmic approaches to synthesis fuzzy control systems for objects with continuous technology // World Applied Sciences Journal. 2013. Т. 24.№ 10. С. 1291-1295.

11. Ротштейн А.П., Штовба С.Д. Проектирование нечетких баз знаний: лабораторный практикум и курсовое проектирование. Винница: Винницкий государственный технический университет, 1999. – 165с.

12. Тэрано Т., Асаи К., Сугэно М. Прикладные нечеткие системы / Изд-во: Мир, Москва. 1993. 368 с.

13. M. Sadeghiana, A. Fatehi. Identification, prediction and detection of the process fault in a cement rotary kiln by locally linear neuro-fuzzy technique. Journal of Process Control. Volume 21, Issue 2, February 2011, Pages 302–308. (doi:10.1016/j.jprocont.2010.10.009)

14. Классен В.К. Основные принципы и способы управления цементной вращающейся печью // Цемент и его применение. 2004. №2. С. 39–42.

15. Классен В.К. Технология и оптимизация производства цемента: краткий курс лекций. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 308 с.

16. Шашков В.Б. Прикладной регрессионный анализ (многофакторная регрессия). Оренбург, ГОУ ВПО ОГУ, 2003. 363 с.

17. Зайченко Ю.П. Нечеткие модели и методы в интеллектуальных системах/ Информатика. Прикладное обеспечение. Изд-во: Слово, Киев. 2008. 344 с.

18. Горбань, А. Н. Обобщенная аппроксимационная теорема и вычислительные возможности нейронных сетей //Сибирский журнал вычислительной математики. 1998. Т. 1. №1. С.12-24.

19. Юдин Д.А. Автоматизированная система управления вращающимися печами с применением технического зрения : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06; защищена 22.05.14; утв. 05.11.2014 / Юдин Дмитрий Александрович. – Белгород, 2014. 203 с.

20. Yudin D.A., Magergut V.Z., Dobrinskiy E.P. Machine vision system for assessment of firing process parameters in rotary kiln/ // World Applied Sciences Journal. Т. 24. №11. 2013. С. 1460–1466.

21. Д. А. Юдин, В. З. Магергут. Системы технического зрения для мониторинга процесса обжига во вращающихся печах: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. 108 с.

Yudin D.A., Frolov S.V., Magergut V.Z.

USAGE OF GROUP METHOD OF DATA HANDLING FOR CONROL OF ROTARY CEMENT KILN

The article describes the task of control of the energy-intensive object on the example of the rotary cement kiln. It is represented the control system model on basis of firing process statistical data, obtained by conventional sensors and vision system. To determine the "input-output" correlation group method of data handling is applied. During testing this method has provided the good results in terms of the standard deviation of found control signals from their true values. The article shows method application prospects for development of rotary kiln advising control system.

Key words: *statistical method, energy-intensive object, rotary kiln, control, group method of data handling, regression model, neuro-fuzzy network.*

Чуев А.В., аспирант
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ИНДИКАТОРНЫХ СЕТЕЙ*

chuev_a@mail.ru

В статье рассмотрены вопросы построения сетевых моделей систем различной природы. Рассмотрены понятия индикаторной сети Петри, многоагентной триадной сети, бинарной индикаторной сети, ООО-модели (три «О» модели), линейной проекции дорожной карты. Приведены примеры графового описания каждого из понятий, описана их область применения, а также примеры практического применения. Приведен пример ленты поведения, отражающей динамику сетевой модели. Даны рекомендации по выбору той или иной сетевой модели в зависимости от задач, решаемых в процессе моделирования. В качестве универсального средства моделирования во всех случаях применен математический аппарат индикаторных сетей.

Ключевые слова: *индикаторная сеть Петри, имитационное моделирование, многоагентная триадная сеть, бинарная индикаторная сеть, ООО-модель, линейная проекция дорожной карты.*

Введение. При решении различных задач немаловажную роль играет предварительное моделирование системы. При проектировании многоагентных систем (МАС) [1, 2] необходимо построить модели как самих агентов, там и их взаимосвязей. При проектировании систем управления технологическими процессами строятся модели самих процессов и управляющих автоматов [3]; при реализации проектов по развитию предприятий и организаций, по созданию новых предприятий, внедрению новых технологий и продуктов, а также проектов в сфере государственного управления широкой популярностью пользуется модель «дорожная карта» [4]; при оптимизации работы систем массового обслуживания проводится, как правило, их имитационное моделирование [5] и т.д. Достаточно удобно применять во всех перечисленных сферах сетевые подходы к построению моделей. При этом моделирование сложных систем возможно на основе универсального математического аппарата индикаторных сетей Петри, который в различных его модификациях может быть использован при моделировании систем и процессов различной природы, в том числе перечисленных выше.

1. Индикаторная сеть

Понятие индикаторной сети было введено С.А. Юдицким в [1]. Индикаторная сеть (1) включает в себя пять составляющих, описанных ниже:

$$IS =< G, F, \beta, \pi_1, \pi_2 > \qquad (1)$$

1. $G=<P, T, {}^*\alpha, \alpha^*>$ – двудольный граф, где $P=\{p_i, i=1,\ldots,m\}$ – множество вершин-позиций, $T=\{t_i, i=1,\ldots,n\}$ – множество вершин-переходов, ${}^*\alpha: T\to 2^P$, $\alpha^*: T\to 2^P$ – функции, задающие соответственно подмножества входных и выходных позиций перехода, 2^P - множество всех подмножеств P. Переходы отображают причинно-следственную связь между позициями двудольного графа в дискретном времени $\tau=0,1,\ldots,k$. Пусть p и q соответственно входная и выходная позиции некоторого перехода (из p ведет дуга в переход, а из перехода ведет дуга в q). Переменные, сопоставленные позициям, являются либо булевыми, принимающими два значения (Истина: 1, Ложь: 0), либо численными, которые могут принимать любые значения на заданном интервале. Для булевых переменных p, q имеет место причинно-следственное отношение: если в момент τ $p(\tau)=1$, то в следующий момент $\tau+1$ $q(\tau+1)=1$. Для численных переменных: если $p(\tau)$ принадлежит интервалу $[p_{min},p_{max}]$, то $q(\tau+1)=q(\tau)+\delta$, где $\delta\neq 0$ ($\delta>0$ или $\delta<0$). Переход интерпретируется как событие, изменяющее значение (состояние) позиций.

2. $F = \{F_i, i=1, \ldots, e\}$ – множество индикаторных выражений. Индикаторным выражением будем называть продукцию (логическую нотацию «ЕСЛИ – ТО») вида F_i: $ИЛФ_{i1}(\tau) \to ИЛФ_{i2}(\tau+1)$, детализирующую причинно-следственный механизм «Условие – Действие» при выполнении перехода двудольного графа, то есть переход от одной индикаторной логической формулы (ИЛФ) к другой.

3. $\beta: T\to F$ – функция, задающая пометку переходов графа дополнительными условиями, заданными экспертом.

4. $\pi_1: P\times T \to N$, $\pi_2: T\times P \to N$ – функции «взвешивания» числами натурального ряда соответственно входных и выходных дуг переходов, $N=\{0, 2, \ldots, n\}$. Если дуга графа не помечена, то по умолчанию ее вес равен 1. Под весом входной дуги перехода понимается количество меток во входной позиции, которое изымается из нее при срабатывании перехода. Под весом выходной дуги – количество меток, которое переходит в выходную позицию.

Динамика индикаторной сети отображается лентой поведения, которая строится с учетом

ограничений на порядок срабатывания переходов двудольного графа (например, в момент τ может сработать не более одного перехода, и для любого перехода известно подмножество переходов, которые могут сработать в следующий момент τ+1).

Покажем универсальность применения индикаторных сетей при построении ряда сетевых моделей.

2. Многоагентная триадная сеть

На основе индикаторной сети в [1] предложена модель многоагентной триадной сети. Агент в такой сети представляет собой совокупность трех взаимодействующих индикаторных сетей, названных графами целей, действий и показателей. Пример триадной сети дан на рис.1.

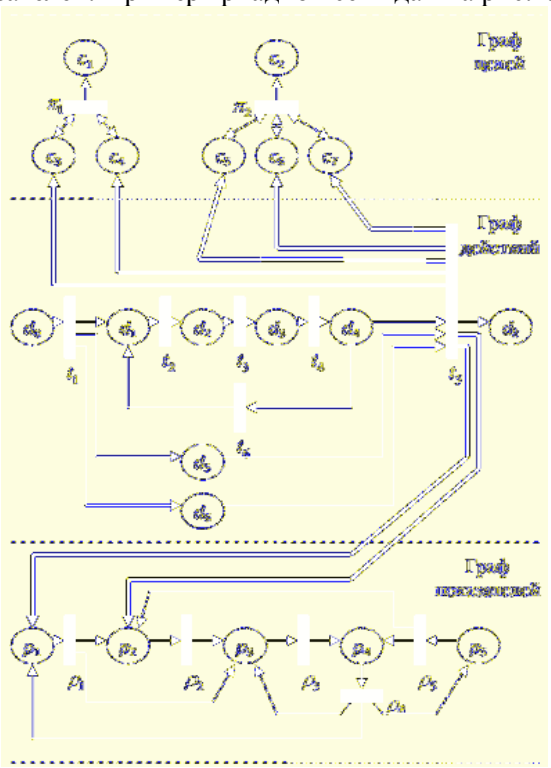


Рис. 1. Графовое представление триадной модели логистического подразделения сети супермаркетов

Такое представление удобно при моделировании сложных систем, поскольку в нем органично сочетаются цели, которые должны быть достигнуты в процессе работы системы, действия, направленные на достижение этих целей, и ключевые показатели функционирования работы системы. Графовая форма описания модели наглядно показывает причинно-следственные связи и взаимовлияние параметров системы друг на друга.

В качестве систем, для которых может применяться триадная модель, помимо логистического подразделения сети супермаркетов, можно назвать любую организационную систему, в которой стоит задача балансировки ролевых процессов, сложный технический объект, для которого стоят задачи надежности и анализа возможных последствий возникновения тех или иных событий. Триадная модель также может применяться при моделировании ликвидации чрезвычайных ситуаций и при построении дорожных карт развития систем.

3. Бинарная индикаторная сеть

Однако, как показывает практика, не во всех случаях необходима такая избыточность, как представлено в триадной модели. Существует целый спектр систем, в которых ключевые показатели оказывают небольшое влияние либо вообще не влияют друг на друга. В этом случае отпадает необходимость в построении графа показателей, и триадная структура вырождается в бинарную. Такая сеть названа бинарной индикаторной сетью (БИС) либо, применительно к дорожным картам, бинарной сетевой дорожной картой (БСДК) [6].

Бинарная индикаторная сеть в отличие от триадной состоит уже не из трех, а из двух взаимодействующих графов – целей и действий. Показатели теперь входят в индикаторные формулы как дополнительные условия срабатывания переходов. На рис. 2 приведен пример БИС, моделирующей технологический процесс выращивания искусственных сапфиров [7].

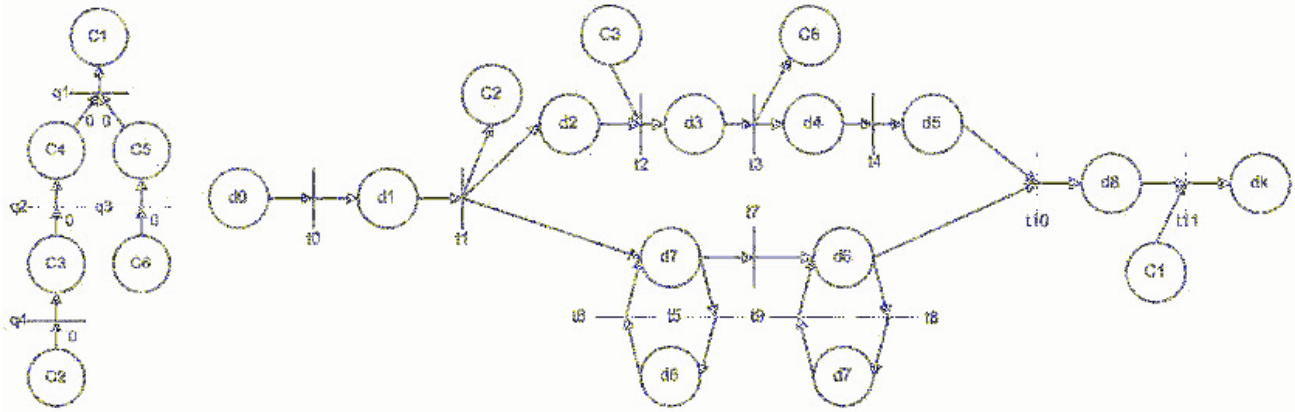


Рис. 2. Графы целей и действий БИС технологического процесса выращивания искусственных сапфиров

Индикаторные формулы для примера на рис.2:
Для графа целей:
$\Phi(q_1)$: $(C_4=1)\wedge(C_5=1)\wedge(C_1=0)\rightarrow(C_4=1)\wedge(C_5=1)\wedge(C_1=1)$
$\Phi(q_2)$: $(C_3=1)\wedge(C_4=0)\rightarrow(C_3=1)\wedge(C_4=1)$
$\Phi(q_3)$: $(C_6=1)\wedge(C_5=0)\rightarrow(C_6=1)\wedge(C_5=1)$
$\Phi(q_4)$: $(C_2=1)\wedge(C_3=0)\rightarrow(C_2=1)\wedge(C_3=1)$.
Для графа действий:
$F(t_0)$: $(d_0=1)\wedge(P_6=1)\wedge(P_5=1)\wedge(d_1=0)\rightarrow (d_0=0)\wedge(P_6=0)\wedge(P_5=0)\wedge(d_1=1)$
$F(t_1)$: $(d_1=1)\wedge(C_2=0)\wedge(P_4>=T_{пл})\wedge(d_2=0)\wedge(d_6=0)\wedge(\tau \le \tau_2)\rightarrow$
$\rightarrow (d_1=0)\wedge(C_2=1)\wedge(d_2=1)\wedge(d_6=1)$
$F(t_2)$: $(d_2=1)\wedge(C_3=1)\wedge(d_3=0) \rightarrow(d_2=0)\wedge(C_3=1)\wedge(d_3=1)$
$F(t_3)$: $(d_3=1)\wedge(d_4=0) \rightarrow(d_3=0)\wedge(d_4=1)$
$F(t_4)$: $(d_4=1)\wedge(d_5=0) \rightarrow(d_4=0)\wedge(d_5=1)$
$F(t_5)$: $(d_7=1)\wedge(d_6=0)\wedge(P_4< T_{пл})\wedge(\tau < \tau_3)\rightarrow(d_7=0)\wedge(d_6=1)$
$F(t_6)$: $(d_6=1)\wedge(d_7=0)\wedge(P_4> T_{пл}) \rightarrow(d_6=0)\wedge(d_7=1)$
$F(t_7)$:$(d_7=1)\wedge(d_6=0)\wedge(\tau >=\tau_3)\rightarrow(d_7=0)\wedge(d_6=1)$
$F(t_8)$:$(d_6=1)\wedge(d_7=0)\wedge(P_4> T_{зао})\wedge(\tau < \tau_4)\rightarrow(d_6=0)\wedge(d_7=1)$
$F(t_9)$:$(d_7=1)\wedge(d_6=0)\wedge(P_4< T_{пл})\rightarrow(d_7=0)\wedge(d_6=1)$
$F(t_{10})$: $(d_5=1)\wedge(d_6=1)\wedge(P_2=1)\wedge(P_3=1)\wedge(d_8=0)\wedge (\tau > \tau_4)\rightarrow$
$\rightarrow(d_5=0)\wedge(d_6=0)\wedge(P_2=0)\wedge(P_3=0)\wedge(d_8=1)$
$F(t_{11})$: $(d_8=1)\wedge(C_1=1)\wedge(P_1=0)\wedge(d_k=0)\wedge (\tau <= \tau_1)\rightarrow$
$\rightarrow (d_8=0)\wedge(C_1=1)\wedge(P_1=1)\wedge(d_k=1)$.

Как видно, взаимодействие между графами осуществляется за счет введения в граф действий дублирующих целевых позиций из графа целей. Индикаторные формулы нагружаются дополнительными переменными, задающими условия срабатывания переходов.

Область применения БИС, как и триадных сетей, тоже достаточно широка. С одной стороны, БИС удобно использовать, когда нужно оценить общую картину развития событий, а с другой – бинарная модель находит свое применение и при моделировании технологических процессов и даже управляющих автоматов, при этом в такой модели будет присутствовать и интеллектуальная составляющая (граф целей), служащая мотивационной основой для совершения действий. Примерами моделей на основе БИС могут служить модель технологического процесса выращивания искусственных сапфиров [7], модель управляющего автомата процесса вытягивания искусственного сапфира, модели алгоритмов обработки изображений состояния монокристалла сапфира и создания вертикального градиента температур [8]. На основе БИС может быть предложена и дорожная карта «Обеспечение информационной безопасности многофункционального центра (МФЦ)», разработка которой актуальна в настоящее время в связи с требованиями законодательства в области информационной безопасности.

4. ООО-модель

Еще одной моделью, основанной на индикаторных сетях, стала ООО-модель (три «О» модель) [9]. Эта модель была разработана для моделирования систем массового обслуживания. Она включает в себя три уровня (три «О»): обеспечения, обслуживания и отчетности. Уровни обеспечения и обслуживания сопоставимы с графом действий и включают в себя один или несколько циклических графов, описывающих соответственно последовательности действий при обеспечении системы ресурсами и при обслуживании заявок. Уровень отчетности в свою очередь сопоставим с графами целей и показателей и отражает совокупность и взаимосвязь основных показателей работы системы. Он тоже цикличен, поскольку расчет производится каждый отчетный период. Пример графового описания ООО-модели магазина самообслуживания дан на рис. 3.

Как и в предыдущих случаях графовое описание ООО-модели дополняется индикаторными формулами, задающими условия срабатывания переходов. В ООО-модели использован агентный подход к моделированию (уровни обеспечения и обслуживания состоят из множества графов, каждый из которых описывает действия отдельного агента – заявки, посетителя, специалиста приема документов и т.д.). Преимущества такого подхода состоят в том, что можно детально отследить действия каждой из составляющих системы, повышается надежность и отказоустойчивость системы. Кроме того, децентрализованный подход позволяет изменять отдельные компоненты системы без существенной ее перестройки.

Применять ООО-модели можно при моделировании множества различных систем массо-

вого обслуживания, однако наиболее ощутимый эффект будут давать модели систем, в которых присутствует человек как заявитель или как обработчик заявок. При этом ООО-модель будет являться одновременно и инструкцией или планом действий человека.

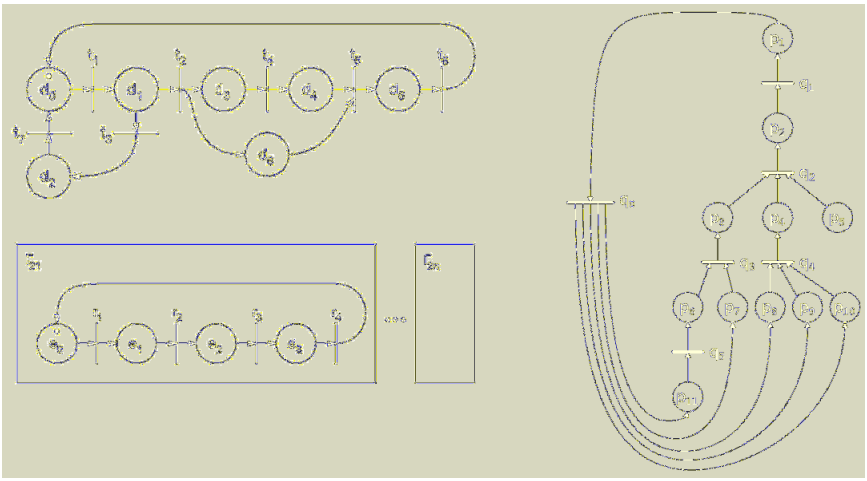


Рис. 3. ООО-модель магазина самообслуживания (слева вверху – уровень обеспечения, слева внизу – уровень обслуживания, справа – уровень отчетности)

Примеры построенных ООО-моделей: модель магазина самообслуживания [9], модель многофункционального центра предоставления государственных и муниципальных услуг [10].

Результатом проведения имитационного эксперимента с помощью каждой из описанных выше моделей является лента поведения, которая представляет собой сводную таблицу изменения в дискретном времени всех переменных модели. Пример ленты поведения для ООО-модели на рис. 3 дан на рис. 4.

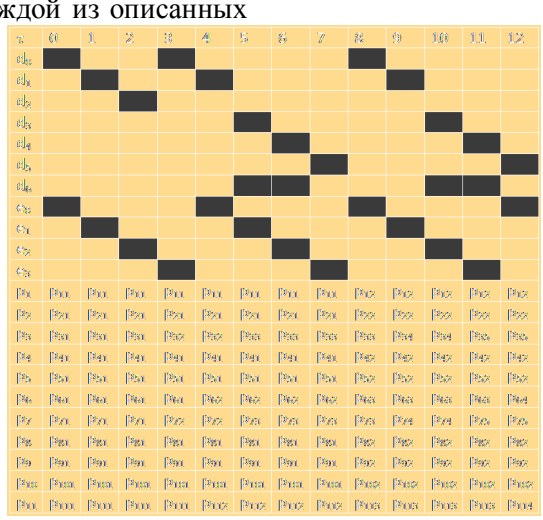


Рис. 4. Пример ленты поведения

5. Линейная проекция дорожной карты

Наконец, последней сетевой моделью, рассматриваемой в данной статье, основой для которой стала индикаторная сеть, является линейная проекция дорожной карты (ЛПДК) [11]. ЛПДК несколько отличается от описанных ранее моделей и базируется на применении табличного языка и языка индикаторной логики. Пример таблиц ЛПДК дан на рис. 5.

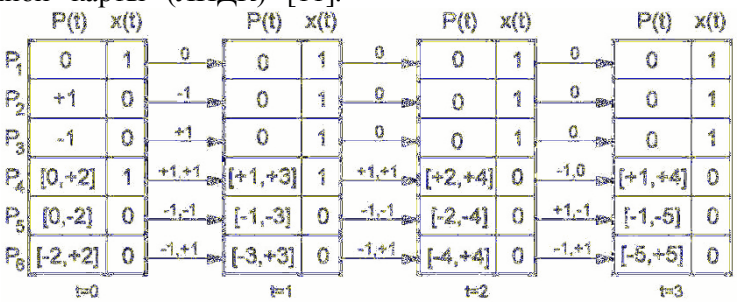


Рис. 5. Пример линейной проекции дорожной карты

ЛПДК представляет собой последовательность таблиц, строки которых соответствуют параметрам p_i, а пары столбцов внутри таблицы – соответственно состоянию системы S(t) и векторной логической переменной X(t) в моменты t=0, 1, …, m. В клетки левого столбца таблицы вписываются значения параметров в точечном или интервальном. Параметру $p_i(t)$ ставится в соответствие логическая переменная $x_i(t)$, называемая индикатором (значения индикаторов вписываются в правый столбец таблицы). Переход от одного состояния задается функцией $\Phi_i(x_j(t))$, где i=0, 1, …, m – индексы моментов, выделенных на временной шкале, j=1, …, n – индексы индикаторов параметров системы. Связки, соединяющие соседние состояния t,t+1, изображаются стрелками, ведущими из строчек таблицы предыдущего состояния в соответствующие строчки последующего состояния. Стрелки (связки) помечаются числами, выражающими приращение (положительное, отрицательное или нулевое) значения параметров.

Как следует из названия, ЛПДК это модель, предназначенная только для построения дорожных карт. Однако, как и предыдущие модели она основывается на языке индикаторной логики. Можно сказать, что ЛПДК является дальнейшим упрощением триадной и бинарной моделей.

Заключение. Как видно, на сегодняшний день разработан целый ряд моделей, основанных на индикаторных сетях и индикаторной логике и позволяющих решать целый спектр задач. Применение того или иного подхода и выбор соответствующей модели в первую очередь обусловлен потребностями лица, проводящего моделирование. К примеру, если необходимо детально отследить работу специалистов и прохождение заявок по каналам системы массового обслуживания, то целесообразно использовать ООО-модель, а если нужно увидеть общую картину, то достаточно будет бинарной модели. Если основной целью построения дорожной карты является отслеживание показателей системы, тогда уместно применение линейной проекции дорожной карты, а если же важен порядок действий для достижения целей, то нужно использовать триадную или бинарную структуру. При этом при моделировании во всех случаях можно использовать математический аппарат индикаторных сетей, который можно принять за универсальный аппарат моделирования сложных сетевых систем.

**Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Белгородской области в рамках проекта № 14-41-08016 «р_офи_м».*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юдицкий С.А. Моделирование динамики многоагентных триадных сетей. М.: СИНТЕГ, 2012. 112 с.

2. Ивашкин Ю.А. Агентные технологии и мультиагентное моделирование систем: учеб. пособие. М: МФТИ, 2013. – 268 с.

3. Юдицкий С.А., Магергут В.З. Логическое управление дискретными процессами. М.: Машиностроение, 1987. 175 с.

4. Карасев О.И. Методология разработки технологических дорожных карт [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: http://cent-energy.ru/doc/rm/Karasev.pdf (дата обращения: 08.09.2015).

5. Хинчин А.Я. Работы по математической теории массового обслуживания; под ред. Б.В. Гнеденко. М.:Физматгиз, 1963. 236 с.

6. Юдицкий С.А., Магергут В.З., Чуев А.В. Бинарные сетевые дорожные карты процессов управления проектами // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2013. №4. С. 1-9.

7. Чуев А.В. Магергут В.З. Юдицкий С.А. Моделирование дискретных химико-технологических процессов на основе бинарных индикаторных сетей Петри / Математическое и компьютерное моделирование в биологии и химии. Перспективы развития: II Международная научная Интернет-конференция: материалы конф.: в 2 т. // Сервис виртуальных конференций Pax Grid; сост. Синяев Д.Н. (Казань, 24 сентября 2013 г.), Казань: ИП Синяев Д.Н., 2013. Т.2. С.102-108.

8. Чуев А.В., Магергут В.З., Юдицкий С.А. Построение бинарной имитационной модели процесса выращивания искусственных сапфиров / XXVIII - Международная научная конференция «Математические Методы в Технике и Технологиях ММТТ- 28», 2015, 7 с. (в печати).

9. Юдицкий С.А., Магергут В.З., Чуев А.В, Желтова Л.В. Моделирование виртуальных систем массового обслуживания на индикаторных сетях Петри // Современные системы искусственного интеллекта и их приложения в науке. Всероссийская научная интернет-конференция с международным участием: материалы конф. (Казань, 25 июня 2013 г.), Казань: ИП Синяев Д.Н., 2013. С.157-162.

10. Чуев А.В., Юдицкий С.А., Магергут В.З. Расширение концепции ООО-модели для систем массового обслуживания на примере многофункционального центра предоставления государственных и муниципальных услуг // Научные ведомости БелГУ. 2015. № 1(198), вып. 33/1. С. 85-93.

11. Юдицкий С.А. Оглядываясь назад. Моделирование. Медитация. Сопереживание. Сб. статей. 2013-2015. М: 2015. 104 с. (Гл. 2. Дорожные карты с принятием решений на основе гибридных индикаторных сетей).

Chuev A.V.

MODELING OF DIFFERENT TYPES OF COMPLEX SYSTEMS BASED ON INDICATOR NETWORKS

The article discusses the construction of network models of different nature systems. Considered the concepts of indicator Petri nets, multi-agent triad network, binary indicator network, OOO-model (the three "O" model), linear roadmap projection. Examples of the graph description of each of the concepts, described their scope, as well as examples of practical application. An example of the behavior tape, reflecting the dynamics of the network model. Recommendations on the choice of a network model, depending on the problems to be solved in the process of modeling. As a universal means of simulation in all cases applied mathematical apparatus of indicator networks.

Key words: *indicator Petri net, simulation, multi-agent triad network, binary indicator network, OOO-model, linear roadmap projection.*

Степовой А.А., аспирант,
Магергут В.З., д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

СГЛАЖИВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ СОВЕТУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЦЕМЕНТНОЙ ПЕЧЬЮ*

alekseji1991@yandex.ru

Описывается создание подсистемы обработки входных сигналов для советующей системы управления вращающейся цементной печью для обжига цементного клинкера. Исследованы характеристики методов скользящего среднего показывающие невозможность их применения в связи с большим запаздыванием сглаженных значений, приходящих в советующую систему, от исходных, что существенно сказывается на качестве управления объектом. В силу этого был предложен алгоритм сглаживания данных для решения задачи снижения случайных помех в сигналах, поступающих с датчиков. Суть метода состоит в прогнозе будущих значений технологической величины и последующей их аппроксимации полиномом k-й степени. Прогноз осуществляется комбинированным метод включающим в себя авторегрессионную модель и регрессионную модель на основе метода группового учета аргументов (МГУА). Представлена структурная схема разработанного алгоритма. Приведены результаты тестирования алгоритма на тестовых данных и характеристики разработанного алгоритма в сравнении с алгоритмами по методам простого и экспоненциального скользящего среднего. Показаны преимущества предложенного алгоритма.

Ключевые слова: метод «скользящего среднего», сглаживание, фильтрация, прогнозирование, запаздывание, авторегрессия, метод группового учета аргументов, помеха.

Введение. Наряду с управляющей подсистемой АСУ ТП одной из основных является информационная подсистема. Она предназначена для предоставления оперативной и достоверной информации о настоящем, прошлом и будущем технологического объекта управления. Основная функция данной подсистемы - сбор и первичная обработка информации. Эта функция является одной из основных функций АСУТП, на базе которой решаются все остальные задачи, и состоит из ряда операций. Первой является опрос чувствительных элементов с заданной частотой. Среди других следует назвать – фильтрация, сглаживание и прогнозирование.

Каждое измерение – это сумма полезного сигнала и помех различного вида: шумы, импульсные помехи, наводки. Погрешности - шумы возникают в контролируемом объекте вследствие несовершенства существующих измерительных преобразователей, случайного характера происходящих в них процессов, и в самих датчиках, в электронных каналах приборов. К наводкам можно отнести внешние радиопомехи, изменения условий окружающей среды и т.д. [1…3]. Импульсные помехи представляют собой апериодические выбросы малой длительности, моменты появления которых, их полярность и амплитуда носят случайный характер. Большое число источников помех позволяет во многих случаях предполагать их нормально распределенным.

Основная задача при обработке цифрового сигнала – получить на основании массива цифровых данных максимально точную оценку исходного полезного аналогового сигнала, породившего эти данные [4]. Еще более чувствительны к решению данной задачи интеллектуальные алгоритмы управления. Поэтому разрабатываемая советующая система управления вращающейся цементной печью [5] нуждается в дополнении подсистемой обработки входных сигналов, основу которой составит разрабатываемый в рамках данной работы алгоритм сглаживания. Далее все расчеты будут приводиться на примере температуры отходящих газов (T_{og}) в пыльной камере вращающейся цементной печи.

Распространенным методом воспроизведения зависимости процесса от времени в условиях его неопределенности изменения, является сглаживание скользящим средним. В нём каждый член ряда заменяется простым или взвешенным средним последних N соседних членов, где N – основной параметр - ширина окна или период скользящего среднего [6]. Среди скользящих средних наибольшую популярность получили методы простого скользящего среднего (simple moving average, англ. SMA) и экспоненциального сглаживания (exponential moving average, англ. EMA) [3, 7 ,8].

Для оценки эффективности работы алгоритмов сглаживания воспользуемся следующими характеристиками:

1. Степень “гладкости” временного ряда. В качестве критерия “гладкости” ряда Q примем выражение (1) [9], где n-размер выборки, $\Delta^{(2)}$ вторые разности:

$$Q = \frac{\left(\frac{1}{n-2}\sum_{t=1}^{n-1}(\Delta^{(2)}y_t)^2\right)^{1/2}}{\frac{1}{n}\sum_{t=0}^{n}y_t}. \quad (1)$$

Для сравнения нескольких алгоритмов сглаживания, будем брать отношение степени гладкости исходного (Q) и сглаженного (Q_{sym}) рядов – Q/Q_{sym}.

2. Среднеквадратическое отклонение (СКО) σ,

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - y_i^{sym})}, \quad (2)$$

где y_i– исходный ряд, y_i^{sym} – сглаженный ряд:

3. Время запаздывания (Δt) сглаженного сигнала относительно исходного – определяется по расположению максимума корреляционной функции на оси времени.

Расчёт указанных характеристик для EMA и SMA, в зависимости от ширины окна сглаживания приведен в таблице1.

Таблица 1

Характеристики алгоритмов сглаживания

SMA						EMA					
n	20	40	60	80	100	n	20	40	60	80	100
Δt	10	20	30	40	50	Δt	5	8	13	22	29
σ	1,10	1,31	1,50	1,61	1,67	σ	0,9	1,14	1,27	1,37	1,44
Q/Qsym	18,75	37,05	56,02	74,24	93,29	Q/Qsym	13,52	26,65	39,81	53,01	66,18

Основным недостатком данных алгоритмов является большая величина запаздывания сглаженного ряда относительно исходного. Так чтобы достичь приемлемого уровня сглаживания необходимо принять ширину окна усреднения равную 100 точкам. При этом величина запаздывания составит 50 минут для SMA и 29 минут для EMA. Поэтому использование данных алгоритмов в советующей системе управления приведет к снижению качества выдаваемых советов вследствие значительной потери оперативности управления.

Постановка задачи. Необходимо разработать такой алгоритм сглаживания, чтобы при достаточной степени "гладкости" запаздывание сглаженного ряда отсутствовало или было минимальным. За необходимую степень "гладкости" ряда (Q) примем отношение степени гладкости исходного (Q) и сглаженного (Q_{sym}) рядов - $Q/Q_{sym} \geq 66$, что соответствует сглаживанию алгоритмом EMA при ширине окна усреднения равного 100 (табл. 1). При этом СКО (σ) должна быть не выше чем у EMA.

Решение задачи. Для компенсации задержки сглаженного ряда относительно исходного воспользуемся прогнозом будущих значений временного ряда.

Прогнозирование является важной частью систем управления технологическими процессами [10]. Предсказывая значения ключевых переменных процесса и используя их для решения задачи управления, можно определить оптимальное время, вид и длительность управляющего воздействия [11].

Для построения основной модели поведения технологической величины (в данном случае температуры отходящих газов – T_{og}) воспользуемся комбинацией двух алгоритмов: авторегрессией (модель временных рядов, в которой значения временного ряда X в данный момент линейно зависят от предыдущих значений этого же ряда) и регрессионная модель на основе метода группового учета аргументов (МГУА) [12]. Использование комбинации двух видов моделей обусловлено тем, что авторегрессионная модель точнее при краткосрочном прогнозе, но с увеличением глубины прогнозирования её точность падает, т.к. при прогнозе далее, чем на одну точку необходимо прогнозировать от предыдущих спрогнозированных значений. В то же время регрессионная модель на основе МГУА точнее при больших значениях глубины прогноза. Данные утверждения описываются далее в таблице 2.

Для прогноза с помощью регрессионной модели на основе МГУА воспользуемся инерционностью рассматриваемого объекта управления. Данный факт приводит к тому, что при изменении факторов модели изменение зависимой переменной происходит с некоторым запаздыванием. Поэтому значения факторов в текущий момент времени объясняют поведение зависимой переменной в будущие моменты времени. Учет динамики в регрессионном анализе производят в виде транспортного запаздывания, которое определяется как время нахождения максимума взаимно корреляционной функции X и Y – $R_{yx}(\tau)$.

Таким образом найдя (среди всех факторов) фактор (x_i) с наименьшей величиной запаздывания относительно отклика (y), мы можем вести прогноз на данную величину. В нашем случае, согласно расчетам, глубина прогноза составит 120 точек (мин.).

Математически задача корреляционно-регрессионного анализа сводится к поиску ана-

литического выражения, которое как можно лучше отражало бы связь факторных признаков (x_i) с результативным – откликом y, т.е. необходимо найти функцию:

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n). \quad (3)$$

Так в системе «цементная печь – колосниковый холодильник» насчитывается около 40 технологических величин. Все они так или иначе воздействуют друг на друга и могут быть использованы в качестве факторов нашей модели.

В качестве зависимой переменной (отклика) – Y, рассмотрим температуру отходящих газов. Для остальных технологических величин (откликов), алгоритм их расчета будет аналогичен, за исключением различия получаемых регрессионных моделей.

С целью получения математической модели статистические данные были сняты на предприятии ЗАО «Осколцемент». Объём выборки составил 41000 точек. Расстояние между точками соответствует одной минуте. Обучение методов производилась на 75 % данных. На оставшихся 25 % производилось тестирование алгоритмов.

Для расчета степени значимости факторов поочередно заменим переменные в модели их средним значением и измерим СКО «новой» модели. После этого рассчитаем степень влияния каждого фактора (в %) на результирующую СКО. Далее поочерёдно удаляем самые незначащие факторы, до тех пор, пока удаление фактора приведет к значительному изменению точности модели. Таким образом в результирующей модели остаётся 19 факторов: физико-химический состав шлама (процентное содержание окислов – Al_2O_3, Fe_2O_3, PPP, KH, SiO_2, CaO, влажность – W, растекаемость – R, модули n и p), температура вторичного воздуха, положение шламовой заслонки, положение шибера дымососа, температура аспирационного воздуха, нагрузка электродвигателей холодной и горячей решеток колосникового холодильника, расход газа, количество двойных ходов горячей решетки колосникового холодильника, положение газовой заслонки. Полученная с помощью МГУА регрессионная модель содержит 201 коэффициент и имеет следующие характеристики: Средний модуль ошибки (MAE) – 1,26; СКО - 1,61; Коэффициент детерминации (R^2) – 0,42; Коэффициент корреляции – 0,65.

При выборе порядка авторегрессионной модели, т.е. на основе скольких предыдущих значений будет вычисляться будущее значение было установлено, что увеличение количества предыдущих значений, используемых для расчета следующего значения больше 60 не приводит к увеличению точности модели. Поэтому используем авторегрессию порядка – 60.

Точность построенной модели (при глубине прогноза - 1) - RMSE – 0,42 °C.

Приведем точность описанных моделей в зависимости от глубины прогноза (табл. 2):

Таблица 2

СКО (в °C) прогноза моделей прогнозирования

N	1	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90
Авторегрессионная модель	0,41	1,04	1,35	1,48	1,55	1,62	1,70	1,85	1,93	1,96	1,99	2,01	2,02
МГУА	1,61												

Как видно для прогноза ближних значений необходимо воспользоваться авто регрессионной моделью (до 25 точки), а далее моделью на основе МГУА.

Для повышения точности прогноза применим процедуру предварительной обработки временных зависимостей [13].

Первое что нужно учесть это выбросы в данных. Редкие, но сильные события могут внести ложные зависимости в уравнение. Поэтому желательно проверять наличие выбросов в данных. Для проверки данных на наличие выбросов воспользуемся эмпирическим правилом, которое состоит в том, что беспокойство требуется проявлять только тогда, когда наблюдение (или наблюдения) лежат вне интервала, заданного средним значением ± 3 стандартных отклонения (правило трех сигм).

После удаления выбросов поступающие данные подвергают медианной фильтрации [14] (для сглаживания выбросов, не обнаруженных предыдущим алгоритмом). Для того чтобы выявить общую тенденцию изменения значений технологической величины в течение анализируемого интервала времени, проводится сглаживание временного ряда методом EMA. Использование этого метода позволяет исключить случайные колебания и получить сглаженные значения уровней временного ряда.

На основе всего вышесказанного построим схему подсистемы обработки входных данных (рис. 1) для создаваемой советующей системы управления вращающейся цементной печью.

Сам алгоритм сглаживания заключается в следующем (рис. 2). При прогнозе на n точек вперед, создается массив из 2n точек, первая половина которого [0 ,…, n-1] заполняется последними известными значениями временного ряда, вторая половина массива заполняется спрогнозированными значениями. После этого полученный ряд аппроксимируется полиномом k-степени (k-подбирается экспериментально).

В результате в средней точке массива x[n], получаем сглаженное значение. Для достижения большей гладкости сглаженного ряда производится постобработка с помощью экспоненциального сглаживания с небольшим окном усреднения (3–4).

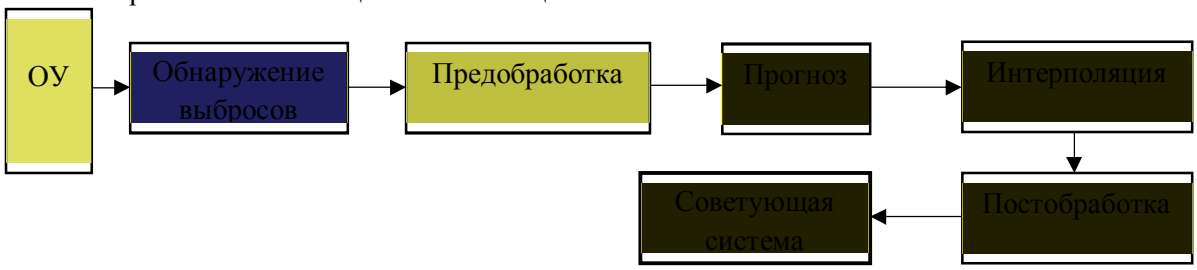


Рис. 1. Подсистема обработки входных данных

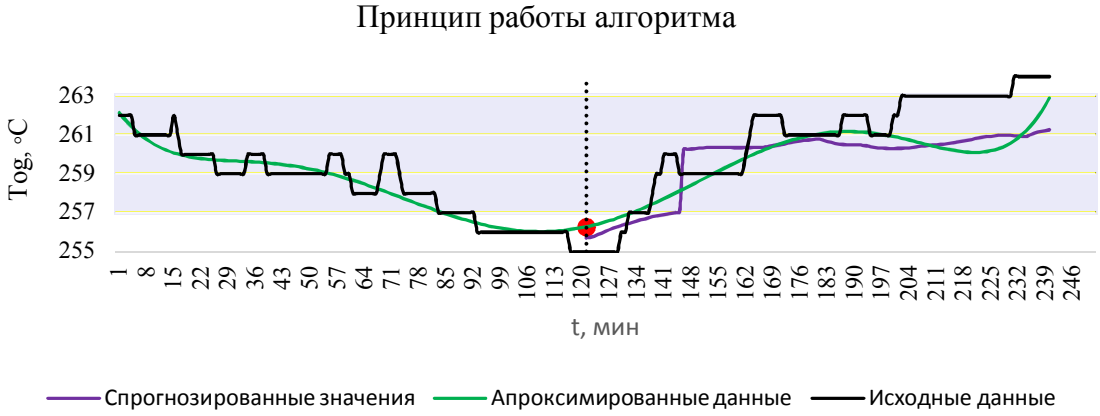


Рис. 2. Принцип работы разрабатываемого алгоритма сглаживания

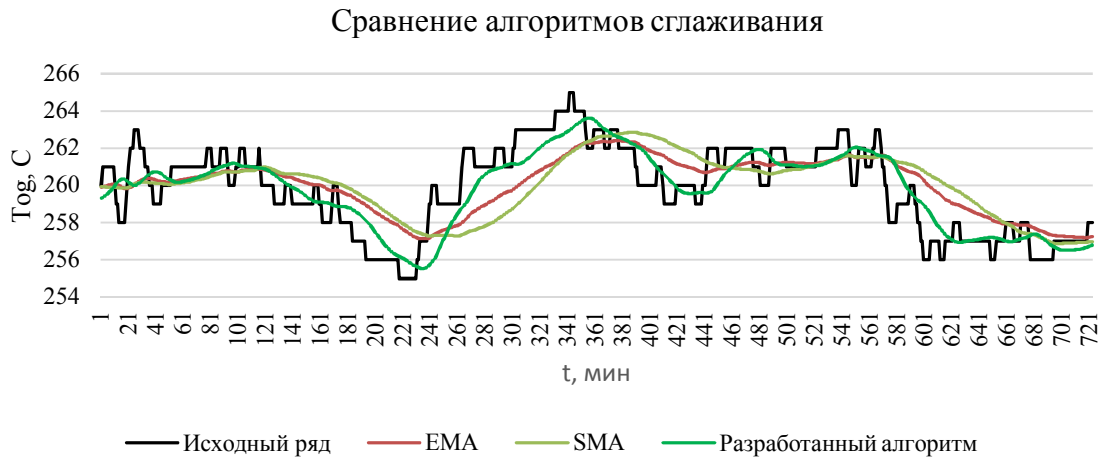


Рис. 3. Сравнение алгоритмов сглаживания

Такая структура фильтра позволяет варьировать большое число параметров (ширина окна медианного и экспоненциального фильтров в блоке предобработки, порядок полинома аппроксимации, ширина окна экспоненциального фильтра в блоке постобработки), для достижения тех или иных характеристик фильтра.

На графике ниже (рис. 3) приведен пример работы разработанного алгоритма в сравнении с алгоритмами EMA и SMA (ширина окна усреднения 100).

Параметры фильтра: Блок предобработки - Медианный фильтр (ширина окна 9), EMA (ширина окна 40). Степень полинома аппроксимации – 6. Блок постобработки – EMA (ширина окна 3).

Характеристики представленного алгоритма в сравнении с EMA и SMA (табл. 3):

Таблица 3

Характеристики алгоритмов сглаживания

	Разработанный алгоритм	**EMA**	**SMA**
Δt	11	29	50
σ	1,22288	1,44	1,67
Q/Qsym	75,2066	66,18	93,29

Выводы. Как видно из таблицы с помощью разработанного алгоритма удалось достичь се-

рьезного сокращения запаздывания сглаженного ряда (соответственно на 18 и 39 мин.) при сопоставимых показателях степени гладкости ряда и меньших значениях СКО, что говорит о меньших искажениях сглаженного ряда. Разработанные регрессионные модели позволяют с приемлемой точностью прогнозировать будущие значения технологической величины на 120 точек (2 часа), что нивелирует оставшееся запаздывание сглаженного ряда и позволяет значительно повысить оперативность и эффективность управления.

**Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Белгородской области в рамках проекта №14-41-08016 «р_офи_м».*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Олссон Г., Пиани Д. Цифровые системы автоматизации и управления. СПб.: Невский диалект, 2001. 557 с.

2. Коротаев В.В. Точность измерительных оптико-электронных приборов и систем: учеб. пособие. СПб.: НИУ ИТМО, 2011. 41 с.

3. Халимон В.И., Комаров П.И., Жуковец Ю.Э. Автоматизированный выбор программного фильтра: методические указания к лабораторной работе. СПб.: СПбГТИ(ТУ). Каф. систем автоматизированного проектирования и управления, 1999. 35 с.

4. Каламбет Ю.А., Мальцев С.А., Козьмин Ю.П. Фильтрация шумов: окончательное решение проблемы // Аналитика. 2011. №1. С. 50-56.

5. Магергут В.З. Копылов А.С. Степовой А.А. Нейро - нечеткое управление вращающейся печью для обжига цементного клинкера // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. №11. 2014 г. С. 8-13

6. Киян М.А., Фабричева Е.В., Подладчиков В.Н. Применение алгоритмов сглаживания для предварительной обработки статистических солнечных данных // System Research & Information Technologies. 2014. № 2. С. 68–76.

7. Файнзильберг Л.С. Адаптивное сглаживание шумов в информационных технологиях обработки физиологических сигналов // Математические машины и системы. 2002. № 3. С. 96–104.

8. Балакирев В.С., Дудников Е.Г., Цирлин А.М. Экспериментальное определение динамических характеристик промышленных объектов управления. М.: Энергия, 1967. 232 с.

9. Губанов В.А. Выделение тренда из временных рядов макроэкономических показателей // Научные труды: Институт нар. хоз. прогнозирования РАН. 2005. № 3. С. 25-40.

10. Белоусов А.В., Кошлич Ю.А., Быстров А.Б. Перспективы применения современных статистических и детерминированных методов прогнозирования в системах мониторинга энергопотребления // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. №4. С. 192-196.

11. Самбурский Г. А., Лукьянов О.В., Храпов И.В. Подход к построению гибридных систем прогнозирования на основе нейронных сетей // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2011. Т.17. № 4. С. 932-935.

12. Зайченко Ю.П. Нечёткие модели и методы в интеллектуальных системах. Уч.пособ. для студентов высших учебных заведений. – К.: «Издательский Дом "Слово"», 2008. С. 344.

13. Опарин К.Ю. Автоматизированная система стабилизации физических свойств зеленого тарного стекла ЗТ-1: Автореф. дис. канд. техн. наук. Тверь, 2000. 20 с.

14. Мироновский Л.А., Слаев В.А. Алгоритмы оценивания результата трех измерений. СПб.: Профессионал, 2010. 192 с.

Stepovoy A.A. Magergut V.Z.

PREDICTION SMOOTHING AND INPUT TO THE BOARD OF ROTATING CEMENT CONTROLS OVEN

It describes the establishment of the subsystem processing the input signals for the Board of Management of the rotating cement kiln for firing cement clinker. The characteristics of the moving average method showing the impossibility of their use due to the large lag smoothed values coming in the council system, from source, which significantly affects the quality of management of the facility. Because of this smoothing algorithm was proposed to solve the problem of data reduction pomehv random signals from the sensors. The method consists in the prediction of future values of the process size and their subsequent polynomial approximation k-ystepeni. The forecast by the combined methods include autoregressive model and a regression model based on the method of group account of arguments (GMDH). The block diagram of the algorithm. The results of testing the algorithm on the test data and the characteristics of the algorithm compared with the algorithms of the method is simple and exponential moving srednego.Pokazany advantages of the proposed algorithm.

***Key words**: method of "moving average," smoothing, filtering, prediction, lag, autoregression, group method of data, a hindrance.*

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Кущев Л.А., д-р техн. наук, проф.,
Суслов Д.Ю., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА АНАЭРОБНОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ В БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВКАХ*

suslov1687@mail.ru

Проведен анализ работ зарубежных и российских ученых, посвященных теоретическому описанию и разработке математических моделей процессов и аппаратов для получения биогаза. Определены основные направления развития моделирования процесса получения биогаза в результате анаэробной ферментации. Предложена зависимость скорости роста микроорганизмов от температуры и установлен характер влияния температуры биомассы на эффективность процесса анаэробной ферментации в мезофильном режиме.

Ключевые слова: *моделирование, биогаз, микробиология, анаэробная ферментация.*

Введение. Одним из важнейших направлений развития народного хозяйства Российской Федерации является технологическая модернизация систем и оборудования химической и смежных отраслей промышленности. При этом важную роль играет дальнейшее развитие теоретического описания процессов и аппаратов различных производств.

В последнее время большое внимание уделяется исследованию биотехнологических процессов и разработке оборудования для их осуществления [1, 2]. Одним из таких процессов является процесс получения биогаза в результате анаэробной ферментации органических отходов.

Методика. В работе использовались методы моделирования микробиологических процессов, протекающих при анаэробной ферментации в биореакторе получения биогаза.

Основная часть. Проведен анализ работ зарубежных и российских ученых, посвященных теоретическому описанию и разработке математических моделей процессов и аппаратов, применяемых для получения биогаза при анаэробной ферментации органических отходов.

Определены основные направления развития моделирования процесса получения биогаза путем анаэробной ферментации:

– модели, основанные на уравнениях химических реакций, протекающих при анаэробном брожении;

– модели, основанные на эмпирических уравнениях, разработанных авторами при проведении экспериментальных исследований;

– модели, основанные на микробиологических зависимостях Моно и Конто, которые описывают влияние температуры и концентрации субстрата на эффективность процесса.

К первому направлению относятся работы Басвелла, Мюллера, Бойля и др. авторов. Басвелл и Мюллер [3, 4] разработали модель на основе уравнений химических реакций, которая позволяет определить количество получаемого биогаза, в зависимости от химического состава исходного субстрата:

$$C_nH_aO_b + (n - \frac{a}{4} - \frac{b}{2})H_2O \Leftrightarrow (\frac{n}{2} - \frac{a}{8} + \frac{b}{4})CO_2 + (\frac{n}{2} + \frac{a}{8} - \frac{b}{4})CH_4, \quad (1)$$

где $C_nH_aO_b$ – органическое вещество; H_2O – вода; CO_2 – углекислый газ; CH_4 – метан; *a, b* и *n* – безразмерные коэффициенты.

Бойль предложил уравнение на основе модели Басвелла и Мюллера, с введением новых компонентов – азота и серы [5]:

$$C_aH_bO_cN_dS_e + (a + \frac{b}{4} - \frac{c}{2} + \frac{3\cdot d}{4} + \frac{e}{2})H_2O \rightarrow (\frac{a}{2} + \frac{b}{8} - \frac{c}{4} - \frac{3\cdot d}{8} - \frac{e}{4})CH_4 + (\frac{a}{2} - \frac{b}{8} + \frac{c}{4} + \frac{3\cdot d}{8} + \frac{e}{4})CO_2 + dNH_3 + eH_2S \quad (2)$$

Второе направление развития моделирования процесса получения биогаза включает работы, основанные на эмпирических зависимостях, которые не учитывают параметров, оказывающих существенное влияние на эффективность процесса получения биогаза.

Хилл [6] разработал динамическую модель для определения скорости выхода метана при переработке органических отходов животноводческих и птицеводческих предприятий, в соответствие с которой скорость получения метана G (лл$^{-1}$день$^{-1}$) определяется:

$$\begin{cases} G = \gamma \cdot B_0 \cdot \sigma \cdot I, \\ I = 0,5 + (\frac{1}{2,5}) Arc\tan\left[\frac{(\tau - \sigma)}{0,11}\right], \end{cases} \quad (3)$$

где γ – выход метана из органического вещества; B_0 – биоразлагаемость для данного типа отходов; σ – доза загрузки; I – индекс производительности.

Автором введен новый параметр τ = 9,21 г/л сут., а также предложены значения некоторых параметров при переработке отходов КРС: выход метана из органического вещества γ = 0,5 л/г и биоразлагаемость B_0 = 0,483 г/г.

Сэфили и Вестерман [7] предложили зависимость выхода метана от температуры брожения при переработке отходов в психрофильном температурном режиме, при этом для выхода метана предложено эмпирическое выражение:

$$CH_4 = 0,216 + 0,00934 \cdot T, \quad (4)$$

где CH_4 – выход метана, м^3/кг ОС; T – температура процесса ферментации,°С.

В работе [8] предлагается выражение для определения массового выхода метана в зависимости от времени брожения при переработке свиного навоза:

$$CH_4^м = (5 \times 10^{-1}) \cdot \tau^2 + 0,0266\tau - 1,4, \quad (5)$$

где $CH_4^м$ – масса метана, мг; τ – время, ч.

Андара и Эстабан [9] разработали кинетическую модель процесса получения биогаза при переработке твердой фракции свиного навоза.

$$\begin{cases} \frac{B}{B_0} = (\frac{X_0}{Y \cdot S_0}) e^{\mu \cdot t}, \\ \frac{(B_0 - B)}{B_0} = e^{(-K \cdot t)} \end{cases}, \quad (6)$$

где B – выход метана, м^3/кг; B_0 – выход метана при бесконечном времени ферментации, м^3/кг; X_0 – начальная концентрация микроорганизмов, г/л; Y – константа роста микроорганизмов; μ – скорость роста микроорганизмов, день$^{-1}$; t – время, сут; K – кинетический коэффициент, день$^{-1}$.

Также авторами предлагаются значения кинетического коэффициента в зависимости от наличия систем перемешивания: при перемешивании биомассы в реакторе K = 0,75 день$^{-1}$; для режима без перемешивания K = 0,048 день$^{-1}$.

В работах [10, 11] описывается процесс получения биогаза в биореакторах, работающих в режиме идеального вытеснения. В работе [10] предложено эмпирическое выражение для определения объемной скорости выхода биогаза в зависимости от концентрации субстрата и гидравлического времени удержания.

$$BG_M = \frac{0,5(S_{b0} - S_{b1})}{HRT}, \quad \text{ммм} \quad (7)$$

где S_{b0} – концентрация органических веществ в исходном субстрате, г/л; S_{b1} – концентрация органических веществ в перебродившем субстрате, г/л; HRT – гидравлическое время брожения, сут.; BG_M – объемная скорость выхода метана, л/л сут.

При этом необходимо знать концентрацию органических веществ в перебродившем субстрате. Т.е. данная модель воспроизводима только при наличии экспериментальных исследований.

К третьему направлению можно отнести работы, использующие микробиологические зависимости Моно и Конто, и модели основанные на этих уравнениях.

Для описания процесса получения биогаза применяется модель Моно [12, 13], которая отражает зависимость удельной скорости роста микроорганизмов от концентрации субстрата:

$$\mu = \mu_м \frac{S}{K_S + S}, \quad (8)$$

где $\mu_м$ – максимальная удельная скорость роста микроорганизмов, сут$^{-1}$; S – концентрация субстрата, кг/м^3; K_S – константа Моно, при которой скорость роста составляет половину от максимальной.

Также в разработке моделей за основу берут выражения, основанные на модели Моно. Например, модель Эндрюса, в которой введена функция ингибирования повышенными концентрациями субстрата [14]:

$$\mu = \mu_м \frac{S}{K_S + S + \frac{S^2}{K_i}}, \quad (9)$$

где K_i – коэффициент ингибирования.

Модель Мозера также основана на модели Моно – с введением коэффициента, учитывающего сигмоидальный характер зависимости скорости роста от концентрации субстрата [15]:

$$\mu = \mu_м \frac{S^K}{K_S + S^K}, \quad (10)$$

где K – новый в уравнении Моно параметр, $K > 1$.

В работе [12] применяется модель Моно с введением дополнительного коэффициента, учитывающего иммобилизацию метагенной микрофлоры на поверхности анаэробного биофильтра:

$$\mu = \mu_м \frac{S}{K_S + S} F_{АБ}, \quad (11)$$

где $F_{АБ}$ – коэффициент иммобилизации на анаэробном биофильтре.

Однако, недостаток модели Моно – невозможность описания процесса во времени и то,

что она применима не для всех видов субстрата. Необходимо отметить также, что модель Моно и другие уравнения, основанные на ней, не описывают стадий процесса и применительно к метановому брожению могут быть отнесены к формально кинетическим моделям, описывающим процесс только по биомассе и субстратам – без рассмотрения количества выхода биогаза.

Модель Конто описывает скорость роста микроорганизмов в зависимости от концентрации субстрата и концентрации клеток бактерий. По сравнению с моделью Моно она учитывает эффект ингибирования процесса и применяется как для периодических, так и для непрерывных процессов [16].

$$\mu = \mu_м \frac{S}{K_S X + S}, \qquad (12)$$

где X – концентрация клеток бактерий.

В работах Вавилина и соавторов [17, 18] используется модель Конто для теоретического описания отдельных стадий процесса получения биогаза при переработке твердых бытовых отходов.

Из существующих уравнений, описывающих процесс получения биогаза, наибольшего внимания заслуживает кинетическая зависимость Конто и основанная на ней модель Чена и Хашимото, характеризующая скорость выхода биогаза, в зависимости от основных параметров процесса анаэробной ферментации отходов животноводства [18]:

$$V = \frac{B_0 \cdot S_0}{\tau} \cdot (1 - \frac{K}{\mu_m \cdot \tau - 1 + K}), \qquad (13)$$

где B_0 – предельный выход биогаза из единицы органического вещества заданного состава при бесконечном времени экспозиции, м^3/кг; S_0 – концентрация субстрата, кг/м^3; τ – продолжительность брожения, сут; K – кинетический параметр; μ_m – максимальная удельная скорость роста микроорганизмов, сут$^{-1}$.

При этом параметр K определяется из эмпирического уравнения, предложенного Хашимото [19, 20]:

$$K = 0,6 + 0,0206 e^{(0.051 \cdot S_0)}. \qquad (14)$$

Для определения параметра μ_m Хашимото и соавторы предложили уравнение [18]:

$$\mu_m = 0,013 \cdot T - 0,129. \qquad (15)$$

Согласно данному выражению зависимость максимальной удельной скорости роста микроорганизмов от температуры имеет линейный характер. Однако в результате анализа работ установлено, что влияние температуры на выход биогаз имеет квадратичный характер. Следовательно, существует необходимость в уточнении уравнения для определения максимальной удельной скорости роста микроорганизмов.

В результате проведения комплекса теоретических и экспериментальных исследований нами получено выражение (16), представляющее зависимость максимальной удельной скорости роста микроорганизмов от температуры в мезофильном режиме (рис. 1):

$$\mu_m = \mu_0 + \mu_1 \cdot T + \mu_2 \cdot T^2, \qquad (16)$$

где T – температура биомассы в биореакторе, К; μ_0, μ_1, μ_2 – температурные коэффициенты.

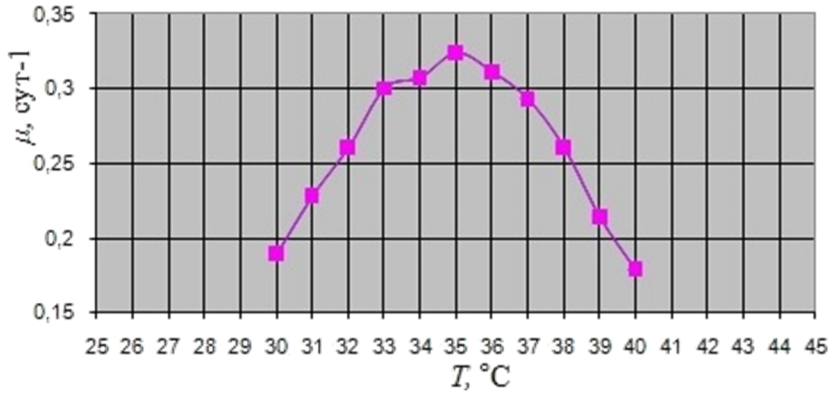


Рис. 1. График зависимости скорости роста микроорганизмов от температуры

Экспериментальные исследования по изучению скорости роста микроорганизмов в мезофильном температурном режиме (T = 30…40°С) проводились на биогазовой установке с биореактором объемом 130 л, оснащенном системой перемешивания барботажного типа. В качестве исходного субстрата использовался свиной навоз влажностью 90 %. Частота перемешивания биомассы в биореакторе составляла 3 сут$^{-1}$.

Из графика следует (рис. 1), что при увеличении температуры биомассы с 30°С до 35°С максимальная удельная скорость роста микроорганизмов повышается до 0,32 сут$^{-1}$, а при дальнейшем увеличении температуры до 40°С – снижается. Можно сделать вывод, что график зависимости максимальной удельной скорости роста микроорганизмов от температуры имеет ярко выраженный экстремум при значении температуры 35°С.

В результате обработки экспериментальных данных были получены значения температурных коэффициентов μ_0 = -6,29658, μ_1 = 0,3816, μ_2 = 0,0055.

Выводы. В результате проведения комплекса теоретических и экспериментальных исследований установлен характер влияния температуры биомассы на эффективность процесса анаэробной ферментации в мезофильном режиме. Предложена зависимость скорости роста микроорганизмов от температуры и определены значения коэффициентов входящих в него. Полученные зависимости позволяют определить скорость и удельный выход биогаза и могут быть использованы при проектировании промышленных биогазовых комплексов.

**Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Белгородской области в рамках проекта № 14-48-08039 «р_офи_м».*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Abdurahman N.H., Rosli Y.M., Azhari N.H., Tam S.F. Biomethanation of palm oil mill effluent (POME) by membrane anaerobic system (MAS) using POME as a substrate. World academy of science, Engineering and technology, 2011. 75. P. 419-424.

2. Шаптала В.Г., Шаптала В.В., Суслов Д.Ю. Вопросы моделирования и расчета барботажных реакторов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. №5. С. 189-192.

3. Гюнтер Л.И., Гольдфраб Л.Л. Метантенки. М.: Стройиздат, 1991. 128 с.

4. Buswell A. M., Mueller H. F. Mechanism of methane fermentation. Industrial and engineering chemistry. 1952. V. 44. N. 3. P. 550-552.

5. Boyle, W. C. Energy Recovery from sanitary landfills. In: microbial energy conversion. edited by: H. G. Schlegel & J. Barnea, 1977. P. 119-138.

6. Hill, D. T. A comprehensive dynamic model for animal waste methanogenesis. Transactions of the ASAE. 1982. P. 1374-1380.

7. Safely L.M., Westerman P.W. Performance of a low temperature lagoon digester. Bioresource technology. 1992. V. 41. P. 167-175.

8. Hobbs P. J., Johnson R., Chadwick D. A novel technique to determine organic processes in pig waste. Journal of the science of food and agriculture. 1999. V. 79. P. 199-205.

9. Andara A. R., Esteban J.M.L. Kinetic study of the anaerobic digestion of the solid fraction of piggery slurries. Biomass and Bioenergy. 1999. V. 17. P. 435-443.

10. Jewell W.J. et al. Anaerobic fermentation of agricultural residue: Potential for improvement and implementation - Final report. Technical report EY-76-S-02-2981-7. Cornell University / US Department of Energy. 1978.

11. Minott S.T. Feasibility of fuel cells for energy conversion on the dairy farm. Thesis. Cornell University, Ithaca, NY. 2002.

12. Бадмаев, Ю. Ц. Интенсивная технология анаэробной переработки навозных стоков свиноводства в условиях Республики Бурятия: автореф. дис. канд. техн. наук. Улан-Удэ, 2006. 22 с.

13. Кафаров В.В., Винаров А.Ю., Гордеев Л.С. Моделирование биохимических реакторов. М., Лесная пром-сть, 1979. 344 с.

14. Andrews J.F. Kinetic models of biological waste treatment processes. Biotechnol. Bioengng. Symp. 1971. V. 2. P. 5-33.

15. Дворецкий Д.С., Дворецкий С.И., Муратова Е.И., Ермакова А.А. Компьютерное моделирование биотехнологических процессов и систем. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. 80 с.

16. Contois D.E. Kinetic of bacterial growth, relationship between population density and specific growth of continuous cultures. Journal of general microbiology. 1959. V. 21. P. 40-50.

17. Vavilin V.A., Lokshina L.Ya., Jokela J.P.Y., Rintala J.A. Modeling solid waste decomposition. Bioresource Technology. 2004. V. 94. P. 69-81.

18. Kalyuzhnyi S., Veeken A.H.M., Hamelers B.V.M. Twoparticle model of anaerobic solid state fermentation. Water Sci. Technol. 2000. V. 41 N.3. P. 43-50.

19. Hashimoto A. G. Methane from Cattle Waste: Effects of temperature, hydraulic retention time, and influent substrate concentration on kinetic parameter. Biotechnology and bioengineering. 1982. V. 24. P. 2039-2052.

20. Chen Y. R., Hashimoto A. G. Kinetics of methane fermentation. Biotechnology and bioengineering symposium. 1978. N. 8. P. 269-282.

Kuschev L.A., Suslov D.Yu.

THEORETICAL DESCRIPTION OF THE ANAEROBIC FERMENTATION IN BIOGAS PLANTS

The analysis of the works of Russian and foreign scientists devoted to theoretical description of the development of mathematical models and processes and apparatus for the production of biogas. The main directions of development of process modeling biogas resulting from the anaerobic fermentation. Proposed dependence of the rate of growth of microorganisms on the temperature and nature of the effect of temperature is set to the efficiency of biomass anaerobic mesophilic fermentation.

Key words: *modeling, biogas, microbiology, anaerobic fermentation.*

Бессмертный В.С., д-р техн. наук, проф.,
Ильина И.А., аспирант,
Лесовик В.С., д-р техн. наук, проф.,
Борисов И.Н., д-р техн. наук, проф.,
Бондаренко Н.И., аспирант,
Бондаренко Д.О., аспирант
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ДЕГИДРАТАЦИИ ГИДРОСИЛИКАТОВ ПРИ ПЛАЗМЕННОЙ МОДИФИКАЦИИ СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА

vbessmertnyi@mail.ru

Плазмохимическая модификация стеновых строительных материалов автоклавного твердения является перспективным направлением получения защитно-декоративных покрытий. При высокотемпературном воздействии плазменного факела происходит оплавление поверхностного слоя и процессы дегидратации в глубинных слоях. До настоящего времени кинетика дегидратации гидросиликатов в силикатном кирпиче в условиях неизотермического нагрева не изучалась.

В статье исследованы кинетические параметры процесса дегидратации с использованием дифференциальной методики неизотермической кинетики. Впервые установлено, что процесс дегидратации гидросиликатов в силикатном кирпиче характеризуется стадиями, условно разбитыми на несколько самостоятельных интервалов. Каждая стадия дегидратации гидросиликатов описана отдельным кинетическим уравнением. Наиболее энергетически затратной является третья стадия, где энергия активации достигает своего максимального значения.

Ключевые слова: *силикатный кирпич, кинетика, дегидратация гидросиликатов, энергия активации, плазмохимическая модификация.*

Президентская программа «Доступное жильё – гражданам России» требует существенного увеличения высококачественных стеновых строительных материалов с высокими эксплуатационными и эстетико-потребительскими свойствами.

Различные защитно-декоративные покрытия, такие как коллоидно-цементные составы, полимерцементные растворы на основе эпоксидных и формальдегидных смол, лакокрасочные материалы, полимерные мастичные покрытия и др., существенно уступают по показателям долговечности и надёжности стекловидным покрытиям.

Покрытия, нанесённые на лицевую поверхность стеновой керамики, бетонов, теплоизоляционных материалов, стеновых строительных материалов автоклавного твердения существенно повышают архитектурно-художественные достоинства зданий и сооружений [1, 2, 3, 4].

Одним из перспективных технологий получения стекловидных покрытий на основе строительных и композиционных материалах является плазмохимическая модификация их лицевой поверхности [5, 6, 7, 8].

В настоящее время силикатный кирпич, наряду с другими стеновыми и композиционными строительными материалами, остаётся одним из востребованных строительных материалов и его выпуск из года в год неуклонно возрастает. С целью повышения его конкурентоспособности отечественная промышленность выпускает окрашенный в массе силикатный кирпич. Глазурованный силикатный кирпич является более эффективным и привлекательным для потребления.

При плазмохимической модификации на лицевой поверхности силикатного кирпича образуется стекловидное покрытие цвета морской волны. За счёт высоких температур плазмы, порядка 5000 °С, происходит дегидратация гидросиликатов и кальцита полиморфные превращения кварца в поверхностном слое силикатного кирпича. Это существенно снижает его эксплуатационные свойства, в частности, прочность сцепления покрытия с основой.

В ранее цитируемых работах [9, 10] отмечалось о негативном влиянии процессов дегидратации гидросиликатов на прочность сцепления и морозостойкость при плазмохимической модификации силикатного кирпича. Однако, кинетические закономерности процессов дегидратации гидросиликатов в силикатном кирпиче до настоящего времени не исследовались и не нашли должного отражения в современной научной литературе.

Для исследования кинетики дегидратации гидросиликатов использовали дифференциальную методику неизотермической кинетики [11].

С этой целью образцы тонкомолотого силикатного кирпича нагревали до 1000 °С при скоростях нагрева 5 и 10 °С/мин и исследовали кривые потери массы.

Дифференциально-термогравиметрический анализ образцов силикатного кирпича проводили на термоанализаторе SETARAM TGA 92-24 в инертной атмосфере с протоком высокочистого аргона ОХС с расходом газа 3…5 л/г. Инертная атмосфера исключает процессы возможного окисления компонентов силикатного кирпича. Кривые ДТА силикатного кирпича на рис. 1.

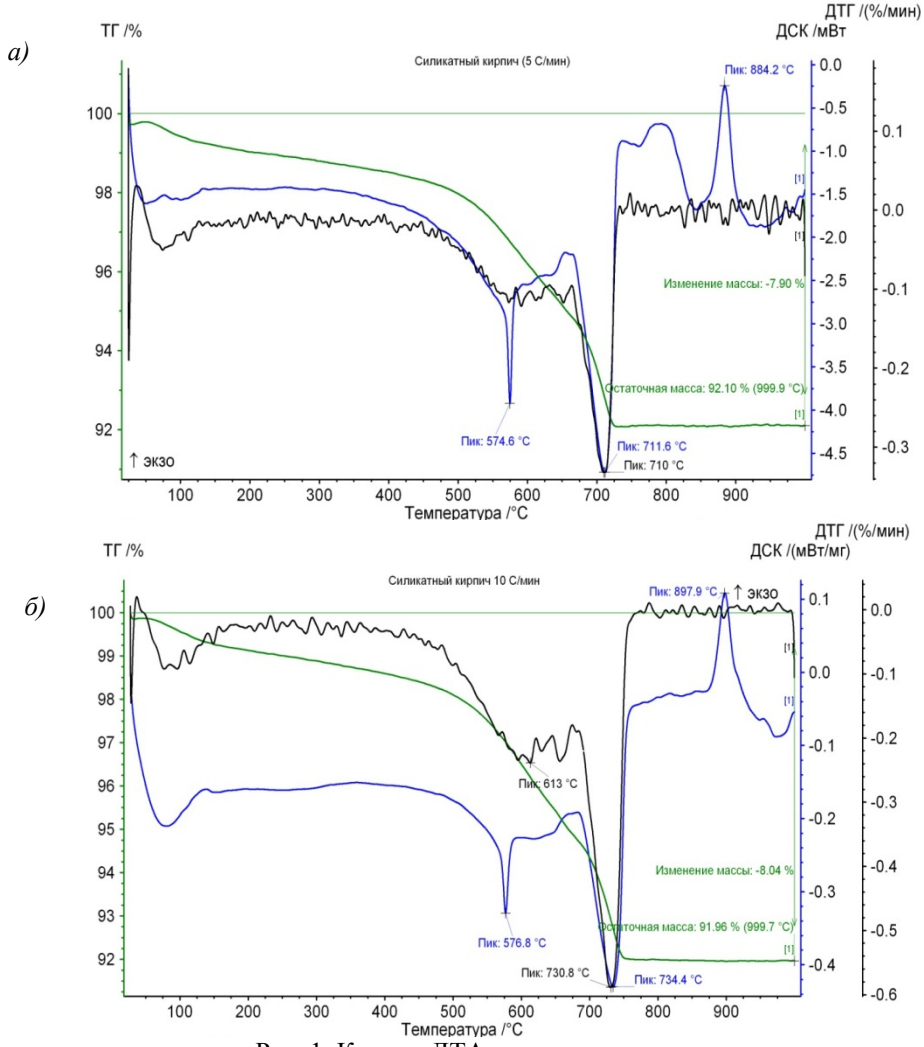


Рис. 1. Кривые ДТА силикатного кирпича:
а – скорость нагрева 5 °С/мин; б – скорость нагрева 10 °С/мин

Для расчёта энергии активации процессов дегидратации в силикатном кирпиче в неизотермических условиях строили графики зависимости температуры от времени, скорости потери массы от температуры и скорости потери массы от времени при скоростях нагрева 5 °С/мин и 10 °С/мин.

При скорости нагрева 5 °С/мин процессы дегидратации заканчиваются при ~725 °С, а при скорости нагрева 10 °С/мин – при ~750 °С. Таким образом, можно сделать вывод, что с повышением скорости нагрева процессы дегидратации в неизотермических условиях могут заканчиваться при более высоких температурах.

Установлено, что процесс дегидратации можно разделить на четыре стадии (табл. 1).

Таблица 1

Четыре условных стадии процесса дегидратации гидросиликатов в силикатном кирпиче

№п/п	Наименование	m, %	Температурный интервал при скорости 5°С/мин	Температурный интервал при скорости 10°С/мин
1	Первая стадия	0…12	100…215	100…250
2	Вторая стадия	12…26	215…495	250…510
3	Третья стадия	26…71	495…676	510…695
4	Четвёртая стадия	71…100	676…720	695…743

Энергию активации рассчитывали по выражению

$$E = \frac{R \cdot \ln \dfrac{\omega_1}{\omega_2}}{\left(\dfrac{10^3}{T_2} - \dfrac{10^3}{T_1}\right)} \quad (1)$$

где ω_1 и ω_2 – скорости процесса дегидратации при скоростях 5 °С/мин и 10 °С/мин.

Как показано рядом исследователей [12…14], при исследовании сложных процессов не удаётся описать всю кинетическую кривую одним кинетическим уравнением.

Для определения K_0 (предэкспоненциального множителя) и значения «n» в формальном уравнении кинетики $(1–\alpha)^n$ строили систему уравнений.

Для нахождения «n»формального уравнения кинетики $(1–\alpha)^n$ составляли систему точек 1 и 2 (рис. 2).

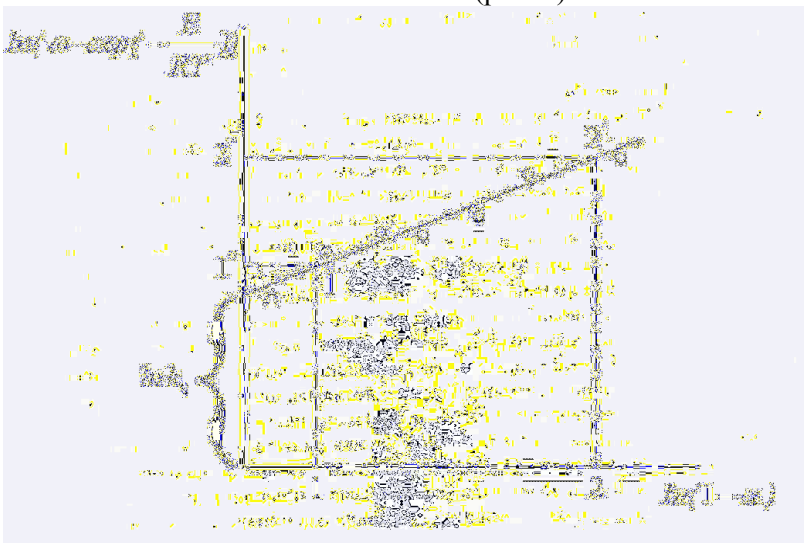


Рис. 2. График для нахождения механизма процесса дегидратации гидросиликатов

Относительно точек 1 и 2 решали систему уравнений относительно «n»:

$$\begin{cases} \ln\left[\omega_1 \cdot \exp\left(-\dfrac{E}{R \cdot T_1}\right)\right]_1 = \ln K_0 \pm n \cdot \ln\left(1-\alpha_1\right) \\ \ln\left[\omega_2 \cdot \exp\left(-\dfrac{E}{R \cdot T_2}\right)\right]_2 = \ln K_0 \pm n \cdot \ln\left(1-\alpha_2\right) \end{cases} \quad (2)$$

Решая систему (М) помимо «n» определяли lnK_0, а затем K_0.

Формальное уравнение кинетики скорости процесса, в том числе и процесса дегидратации гидросиликатов в силикатном кирпиче, основано на применении Закона действия масс:

$$\frac{d\alpha}{d\tau} = \frac{d\left(1-\alpha\right)}{d\tau} = k \cdot \left(1-\alpha\right)^n \quad (3)$$

где n – показатель степени, величина формально аналогичная порядку реакции в газах и жидких системах.

Интегрируя выражение (3), получаем:

$$\frac{1-\left(1-\alpha\right)^{1-n}}{1-n} = k \cdot \tau \quad (4)$$

По методу Уилкинстона функцию (4) записывают в биноминальный ряд, предварительно выразив уравнение (3) в виде:

$$\left(1-\alpha\right)^{1-n} = 1-\left(1-n\right)\cdot k \cdot \tau \quad (5)$$

откуда

$$\left(1-\alpha\right)^{1-n} = 1-\left(1-n\right)\cdot \alpha - \frac{n}{2}\cdot\left(1-n\right)\cdot\alpha^2 \quad (6)$$

Интегрирование формального уравнения кинетики в общем виде при разделении переменных в выражении (3) приводит к следующему:

$$\int \frac{d\alpha}{\left(1-\alpha\right)^n} = -\int \frac{d\left(1-\alpha\right)}{\left(1-\alpha\right)^n} = -\int \left(1-\alpha\right)^{-n} \cdot d\left(1-\alpha\right) = -\frac{\left(1-\alpha\right)^{1-n}}{1-n} = k \cdot \tau \quad (7)$$

Нами определены кинетические параметры процесса дегидратации гидросиликатов в силикатном кирпиче (табл. 2).

На первой стадии, протекающей в интервале температур 100…250 °С, кажущаяся энергия активации процессов дегидратации весьма незначительна и составляет 4,04 кДж/моль. Это свидетельствует о весьма неустойчивой химической связи воды в структуре гидросиликатов

кальция. В этом температурном интервале дегидратирует до 12 % гидросиликатов кальция.

Вторая стадия протекает в интервале температур 215…510 °С и на её приходится до 14 % гидросиликатов кальция. Кажущаяся энергия активации на данной стадии составляет 50,42 кДж/моль, что свидетельствует о более устойчивой химической связи молекул воды в структуре гидросиликатов кальция.

Таблица 2

Кинетические параметры процесса дегидратации гидросиликатов в силикатном кирпиче

Стадии дегидратации	Потеря массы, %		Энергия активации Е, кДж/моль	K_0, °С$^{-1}$	$(1-\alpha)^n$	n	F(α)
	г	%					
I	0,1…1,0	0…12	4,04	0,49	$(1-\alpha)^{0,34}$	0,34	$\frac{d\alpha}{d\tau} = 4{,}9\cdot10^{-1}\cdot e^{-\frac{4{,}04}{8{,}314\cdot T}}\cdot(1-\alpha)^{0{,}34}$
II	1,0…2,0	13…26	50,42	$2{,}09\cdot10^{-2}$	$(1-\alpha)^{1,98}$	1,98	$\frac{d\alpha}{d\tau} = 2{,}09\cdot10^{-2}\cdot e^{-\frac{50{,}42}{8{,}314\cdot T}}\cdot(1-\alpha)^{1{,}98}$
III	2,0…5,5	27…71	152,59	$9{,}8\cdot10^{-2}$	$(1-\alpha)^{0,58}$	0,58	$\frac{d\alpha}{d\tau} = 9{,}8\cdot10^{-2}\cdot e^{-\frac{152{,}59}{8{,}314\cdot T}}\cdot(1-\alpha)^{0{,}58}$
IV	5,5…7,75	72…100	114,88	$26\cdot10^{-2}$	$(1-\alpha)^{1,3}$	1,3	$\frac{d\alpha}{d\tau} = 2{,}6\cdot10^{-1}\cdot e^{-\frac{114{,}88}{8{,}314\cdot T}}\cdot(1-\alpha)^{1{,}3}$

На третью стадию, протекающую в температурном интервале 495…695 °С, приходится 45 % гидросиликатов кальция, а также кальцита.

В связи с этим, кажущаяся энергия активации процессов дегидратации на III стадии достаточно высока и составляет 152,59 кДж/моль. Это согласуется с данными по дегидратации карбоната кальция, где кажущаяся энергия активации в среднем равна 146…203 кДж/моль и близка по значению нами полученной [15].

На четвёртую стадию, протекающую в интервале температур 676…743 °С, приходится 29 % недегидратированных гидросиликатов кальция и вероятно остатков карбоната кальция с более совершенной кристаллической структурой. Энергия активации в данном температурном интервале составляет 114,88 кДж/моль.

Таким образом, с использованием дифференциальной методики неизотермической кинетики впервые исследованы кинетические параметры процессов дегидратации гидросиликатов в силикатном кирпиче в условиях неизотермического нагрева.

Это позволит регулировать технологические параметры плазмохимической модификации силикатного кирпича.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бессмертный В.С., Бондаренко Н.И., Стадничук В.И., Вдовина С.Ю. Получение защитно-декоративных покрытий на изделиях из бетона методом плазменного напыления // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. №2. С. 121–123.

2. Лесовик В.С., Пучка О.В., Вайсера С.С., Елистраткин М.Ю. Новое поколение строительных композитов на основе пеностекла // Строительство и реконструкция. 2015. №3 (59). С. 146–154.

3. Dalai S.,Vijayalakshmi S., Shrivastava P., Sivam S.P., Sharma P. Effect of co loading on the hydrogen storage characteristics of hollow glass microspheres (HGMS). International Journal of Hydrogen Energy. 2014. Т.39. №7. С. 3304–3312.

4. Пучка О.В., Сергеев С.В., Калашников Н.В. Высокоэффективные теплоизоляционные стеклокомпозиты на основе техногенного сырья. Плазмохимические методы нанесения покрытий на поверхность пеностекла. Белгород: Изд. БГТУ. 2013. 187 с.

5. Нарцев В.М., Прохоренков Д.С., Осипенко Н.В., Зайцев С.В., Евтушенко Е.И. Исследование свойств TIOX-покрытий формируемых с использованием вакуум-плазменных технологий // Фундаментальные исследования. 2012. №11. С. 1195–1200.

6. Пучка О.В., Минько Н.И., Лесовик В.С. Высокоэффективные теплоизоляционные конструкционные материалы нового поколения / Научные и инженерные проблемы строительно-технологической утилизации техногенных отходов: сб. материалов конф. // Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. (Белгород, 15–23 марта 2014 г.), Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. С. 166–173.

7. Бессмертный В.С., Бондаренко Н.И., Лесовик В.С., Кротова О.В., Гащенко Э.О. Энергосберегающая технология получения стеклометаллических композиционных микрошариков методом плазменного распыления // Вестник

Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. №1. С. 146–148.

8. Бессмертный В.С., Пучка О.В., Кеменов С.А., Бондаренко Н.И. Плазмохимическая модификация стеновых строительных материалов с отходами обогащения железистых кварцитов КМА // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. №5. С. 21–24.

9. Федосов С.В., Акулова М.В, Щепочкина Ю.А., Подлозный Э.Д., Науменко Н.Н. Плазменное оплавление строительных композитов. М.: Изд. АСВ, Иваново: ИГАСУ. 2009. 228 с.

10. Громов Ю.Е., Лежепёков В.П., Северинова Г.В. Индустриальная отделка фасадов зданий. М.: Изд. Стройиздат. 1980. 70 с.

11. Гропянов В.М., Аббакумов В.Т. Неизотермический метод исследований кинетики спекания материалов, контролируемой двумя механизмами // Порошковая металлургия. 1976. №7. С. 36–41.

12.Браун М., Доллимор Д., Галвей А. Реакции твёрдых тел. М.: Изд. Мир. 1983. 60 с.

13. Бережной А.С. Многокомпонентные системы окислов. Киев: Изд. Наука думка, 1970. 544 с.

14. Третьяков Ю.Г. Твердофазные реакции. М.: Изд. Химия, 1978. 174 с.

15. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. М.: Изд. Высш. школа. 1981. 335 с.

Bessmertniy V. S., Ilina I. A., Lesovik V. S., Borisov I. N., Bondarenko N. I., Bondarenko D. O.

KINETIC PARAMETERS OF DEHYDRATION OF HYDROSILICATES IN PLASMA MODIFICATION OF SILICA BRICK.

Plasma-chemical modification of wall building materials autoclave curing is a promising way of obtaining protective-decorative coatings. During high-temperature exposure of the plasma torch melting occurs of the surface layer and the dehydration processes in deep layers. To date, the kinetics of dehydration of hydrosilicates in silicate brick in conditions of non-isothermal heating was not investigated. The article studies the kinetic parameters of the dehydration process using differential methods of non-isothermal kinetics. First established that the process of dehydration of hydrosilicates in silicate brick is characterized stages conventionally broken down into several separate intervals. Each stage of dehydration of hydrosilicates individual described by a kinetic equation. The most energetically costly and is the third stage, where the activation energy reaches its maximum value.

***Key words**: silicate brick, kinetics, of the dehydration of hydrosilicates, activation energy, plasma-chemical modification.*

Алмобарак Фалак, магистрант
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ АДСОРБЦИИ ИОНОВ НИКЕЛЯ НА ГЛИНИСТЫХ СОРБЕНТАХ

Malakalbashar88f@hotmail.com

Изучены процессы адсорбции и десорбции ионов никеля на природных глинистых минералах с высоким содержанием монтмориллонита, а также подвергшихся модификации с помощью СВЧ-излучения и термической обработки. Установлено, что модификация с помощью СВЧ-излучения увеличивает предельную адсорбцию на порядок по сравнению с природной глиной.

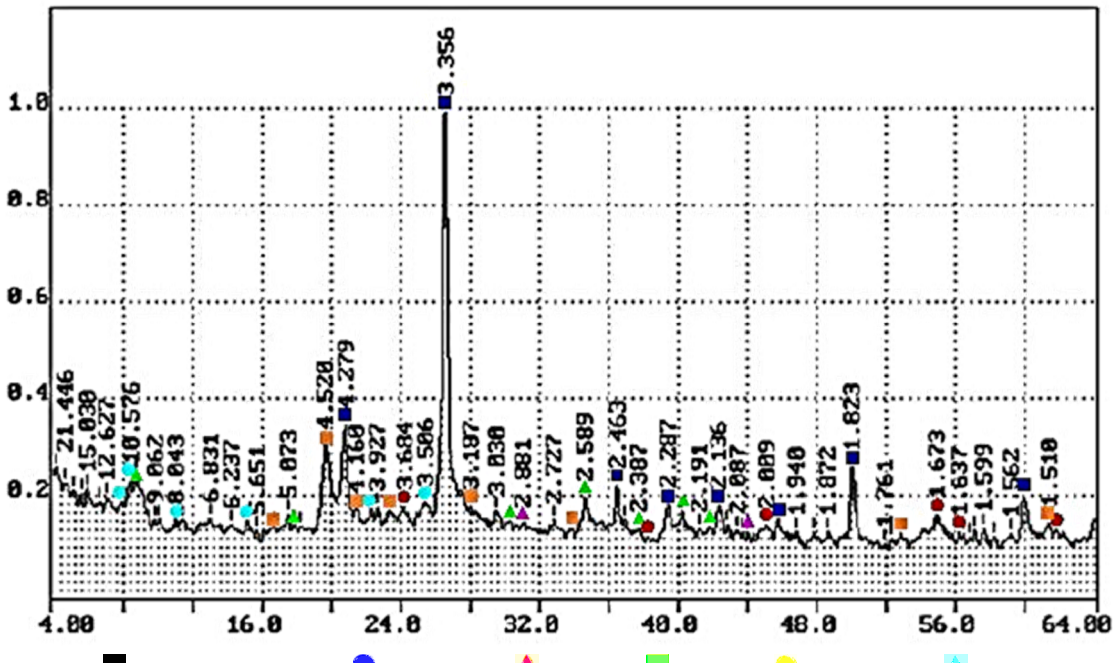
Ключевые слова: *адсорбция, десорбция, тяжелые металлы, ионы никеля, очистка сточных вод.*

Тяжелые металлы (никеля) относятся к числу распространенных и весьма токсичных загрязняющих веществ. Они широко применяются в различных промышленных производствах, поэтому, несмотря на очистные мероприятия, содержание соединения тяжелых металлов в промышленных сточных водах довольно высокое.

Адсорбционный метод применяют для глубокой очистки сточных вод от растворенных органических веществ после биохимической очистки, а также в локальных установках, если концентрация этих веществ в воде невелика и они биологически не разлагаются или являются сильнотоксичными.

Адсорбция из водных растворов электролитов происходит, как правило, таким образом, что на твердом адсорбента из раствора адсорбируются преимущественно ионы одного вида. Преимущественная адсорбция из раствора или аниона, или катиона определяется природой адсорбента и ионов[1, 2].

Состав природной и модифицированной глины исследовался с помощью метода рентгенофазового анализа. Этот анализ основан на том, что каждое индивидуальное кристаллическое соединение дает специфическую рентгенограмму с определенным набором линий (дифракционных максимумов) и их интенсивностью. Анализ спектров облегчен тем, что был известен приблизительный химический состав исследуемой глины: каолинит-монтмориллонитовая глина.



■– монтмориллонит; ●– каолинит; ▲ – иллит; ■ – кварц; ● - галлуазит; ▲ - доломит

Рис. 1. Рентгенограмма каолинит-монтмориллонитовой глины,модифицированной СВЧ-излучением

Седиментационный анализ проводился для исследуемых образцов глины и обработанной СВЧ-излучением.На основании полученных результатов строились дифференциальные кривые распределения частиц глины по радиусам (рис. 2).

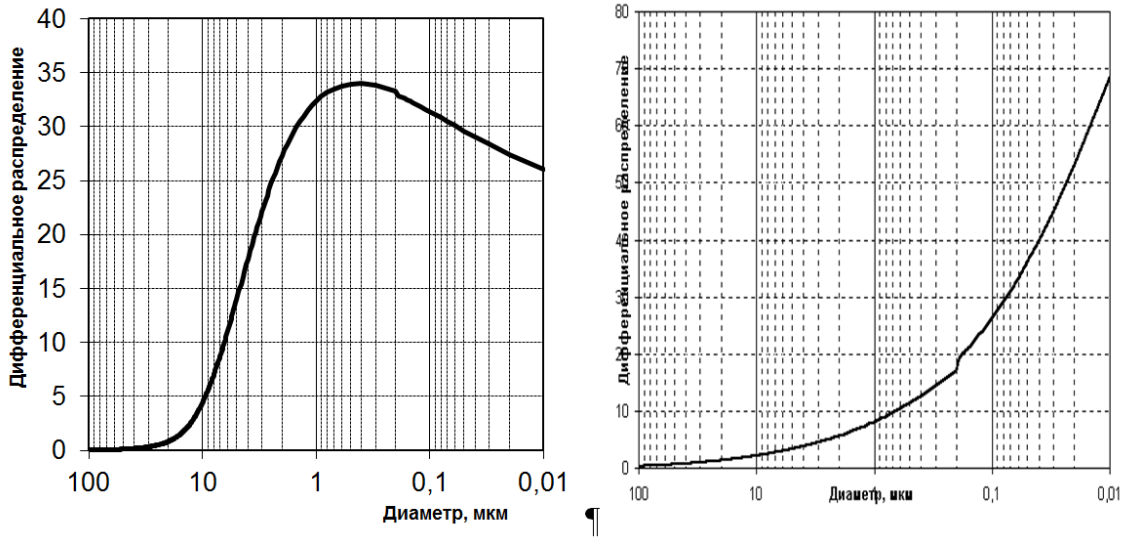


Рис. 2. Дифференциальная кривая распределения по радиусам частиц природной каолинит-монтмориллонитовой глины (а) и модифицированной СВЧ-излучением (б)

Установлено, что в образцах исходной глины преимущественной фракцией полидисперсной системы являются частицы радиусом 5…10 мкм [1…3], после обработки большая часть частиц имела размер менее 0,01 мкм.

На основании изучения процессов адсорбции и десорбции, проведенных по стандартным методикам, нами были построены изотермы адсорбции и десорбции ионов никеля на исходной и модифицированной глине при различных параметрах СВЧ-поля и времени обработки (рис. 3).

Анализ изотерм адсорбции на природной глине показывает, что предельная адсорбция ионов никеля составляет $12 \cdot 10^{-3}$ г/г при равновесной концентрации 0,0004 мг/л, при физическом характере адсорбции [3].

Анализ изотерм адсорбции ионов никеля на глине, модифицированной СВЧ-излучением в течение 10 и 20 минут показал, что предельная адсорбция ионов никеля составляет $300 \cdot 10^{-3}$ и $410 \cdot 10^{-3}$ г/г при равновесной концентрации 0,0197 и 0,0096 мг/л соответственно. Изотермы десорбции показывают, что характер адсорбции химический.

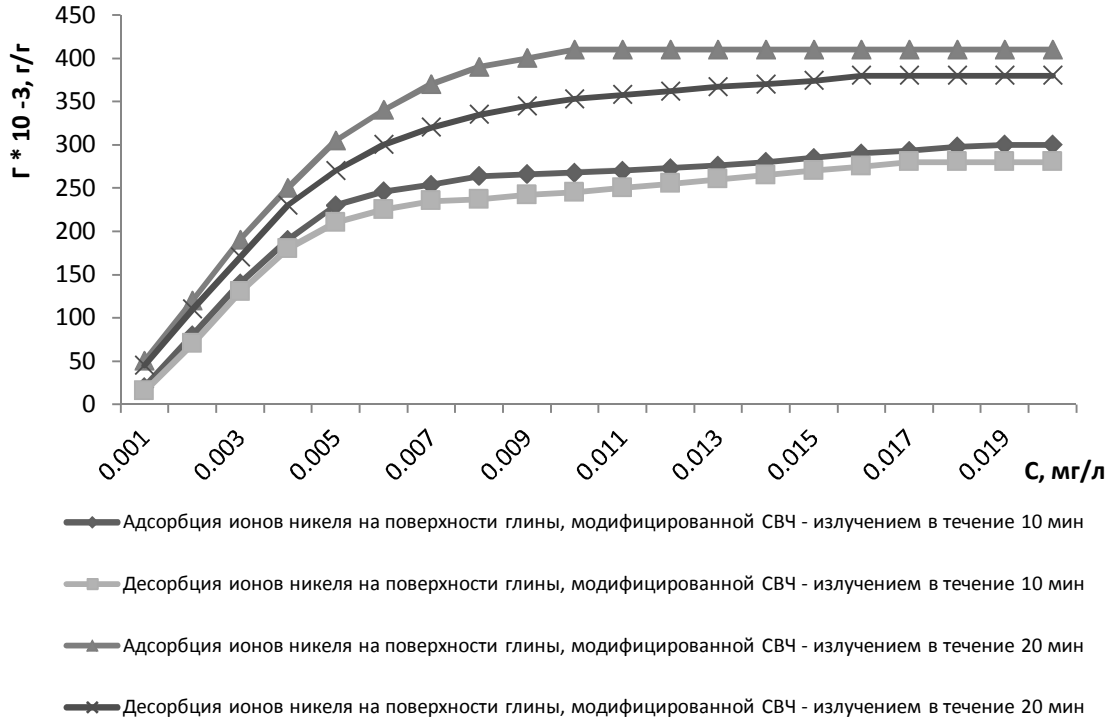


Рис. 3. Изотермы адсорбции и десорбции ионов никеля на глине, модифицированной СВЧ – излучением в течение 10 и 20 мин

По полученным данным был сделан вывод о том, что глина, обработанная СВЧ – излучением в течение 10 мин и 20 мин, обладает более высокой сорбционной емкостью по сравнению с природной. Таким образом показано, что модификация поверхности глинистых минералов с помощью СВЧ–излучения является эффективным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шаповалов Н.А. , Прохина А.В., Латыпова М.М. Наиболее эффективный метод удаления из сточных вод растворенных органических соединений // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова 2010. №2. С. 179-181.

2. Прохина А.В, Латыпова М.М. .Инновационные пути модернизации базовых отраслей промышленности ,энергр-и ресурсосбережение , охрана окружающей природеой среды : сборник трудов II Межотраслевой научно-практической конференции молодых ученых и спецалистов , 27-28 марта 2013 г. , г . Харьков /гп((УкрНТЦ ((Энергосталь)). НТМТ, 2013. С. 501.

3. Когановский А.М. Адсорбация и ионный обмен в процессах водоподготовки и очистки сточных вод / Когановский А.М. К. Наукова думка, 1983. 238 с.

Almobarak Falak

THE STUDY OF ADSORPTION OF NICKEL IONS ON CLAY SORBENTS

The processes of adsorption and desorption of nickel ions on natural clay minerals with high montmorillonite content and subjected to modification by microwave and heat treatment. It was established that the modification of using microwave radiation increases on the order of limiting adsorption compared with natural clay.

***Key words**: adsorption, desorption, heavy metals, nickel ions, sewage treatment.*

Тарасова Г.И., д-р техн. наук, проф.,
Шевага О.Н., аспирант
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБРАТНЫХ ЭМУЛЬСИЙ И МЕХАНИЗМ ИХ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕРМОЛИЗНЫМ ДЕФЕКАТОМ $ТД_{600}$*

taga307@yandex.ru

Вопросы получения, стабилизации и регулирования физико-химических свойств дисперсных систем, в частности обратных (гидрофобных) эмульсий, относятся к числу наиболее актуальных проблем. Статья посвящена изучению взаимосвязи изменения дзета-потенциала обратных эмульсий и механизма их стабилизации термолизным дефекатом $ТД_{600}$. Исследованы электрокинетические характеристики модельных эмульсий вода - соляровое масло от pH, агрегативной устойчивости и времени хранения. В качестве эмульгатора-стабилизатора обратных эмульсий предложен термолизный дефекат $ТД_{600}$. Он представляет собой тонкодисперсный порошок черного цвета, основа $CaCO_3$ с поверхностным слоем углерода – сажи. Структура, строение и физико-химические свойства термолизного дефеката представлены в ранее опубликованных работах.

***Ключевые слова**: обратные эмульсии, механизм стабилизации, твердый эмульгатор-стабилизатор $ТД_{600}$, двойной электрический слой (ДЭС), дзета-потенциал (ξ).*

Введение. Стабилизация эмульсий возможна с помощью высокодисперсных порошков. Порошки с достаточно гидрофильной поверхностью (глина, кремнезем и др.) стабилизируют прямые эмульсии. Гидрофобные порошки (сажа, гидрофобизированный аэросил и др.) способны к стабилизации обратных эмульсий. Частицы порошка на поверхности капель эмульсий располагаются так, что большая часть их поверхности находится в дисперсионной среде. Для обеспечения устойчивости эмульсий необходимо плотное покрытие порошком поверхности капли. Если степень смачивания частиц порошка-стабилизатора средой и дисперсной фазой сильно различается, то весь порошок будет находиться в объеме фазы, которая его хорошо смачивает, и стабилизирующего действия он оказывать не будет [1].

С точки зрения коллоидной химии важнейшей электрокинетической характеристикой эмульсионных систем является величина дзета – потенциала (ζ) [2], которая характеризует агрегативную устойчивость системы в целом, и косвенно может служить характеристикой механизма процесса стабилизации эмульсий. Причина, по которой ζ - потенциал является важным параметром при коагуляции, заключается в том, что он дает представление о величинах электростатических сил отталкивания, а, следовательно, и об устойчивости коллоидных систем, в частности, эмульсий [3].

Обратные эмульсии обладают электрокинетическим зарядом, большой удельной поверхностью дисперсной фазы и твердого эмульгатора - стабилизатора, следовательно, в характеристике всей системы велика роль именно поверхностных явлений. Влияние этих явлений возрастает с разбавлением модельных эмульсий, изменением pH среды и времени их хранения [4].

В практике получения и стабилизации обратных эмульсий электрокинетические явления пока не нашли широкого распространения, однако измерение этих величин позволит внести существенный вклад в развитие теории стабилизации коллоидных систем.

Теоретическая часть. Дзета – потенциал является мерой электростатического взаимодействия (отталкивания или притяжения) между частицами, а также одним из основных параметров, влияющих на стабильность дисперсных систем. Измерение ζ – потенциала позволяет глубже понять и лучше контролировать механизмы диспергирования, агрегации или флокуляции, и может применяться для улучшения свойств дисперсий, коллоидных растворов, эмульсий и суспензий на этапах разработки и производства.

На величину электрокинетического потенциала по современным представлениям оказывают влияние многие свойства коллоидных систем: 1) концентрация ионов в растворе: чем больше концентрация ионов, тем большее количество противоионов накапливается в твердом слое и тем меньше их будет в диффузной области; 2) заряд противоионов: чем больше заряд противоионов, тем сильнее они притягиваются к заряженной поверхности твердого тела, тем тоньше диффузный слой и соответственно меньше величина ζ – потенциала; 3) полярности противоионов: чем больше поляризуемость противоионов, тем больше дополнительные силы притяжения и тем тоньше становится слой Гельмгольца; 4) лиофильность: оболочка из молекул растворителя снижает силу взаимодействия между поверхностью твердого тела и про-

тивоионами. Чем прочнее сольватная оболочка, тем толще диффузный слой и тем больше ζ – потенциал [3].

Как известно, в дисперсных системах на поверхности частиц (на границе раздела частица – дисперсионная среда) возникает двойной электрический слой (ДЭС). Двойной электрический слой представляет собой слой ионов, образующийся на поверхности частицы в результате адсорбции ионов из раствора или диссоциации поверхностных соединений [5].

При движении частицы двойной электрический слой разрывается. Место разрыва при перемещении твердой и жидкой фаз друг относительно друга называется плоскостью скольжения. Плоскость скольжения лежит на границе между диффузными и адсорбционными слоями, либо в диффузном слое вблизи этой границы. Потенциал на плоскости скольжения называют электрокинетическим или дзета - потенциалом (ζ-потенциал).

Другими словами, ζ - потенциал – это разность потенциалов дисперсионной среды и неподвижного слоя жидкости, окружающего частицу**.**

Теории двойного электрического слоя широко используются для интерпретации поверхностных явлений.

Для молекул и частиц, которые достаточно малы, высокий ζ – потенциал будет означать стабильность, т.е. дисперсия будет устойчива по отношению к агрегации или коалесценции. Чем больше электрокинетический потенциал, тем устойчивее система.

Величина и знак ζ – потенциала определяются из данных потенциалов течения, электрофореза или электроосмоса.

Целью данной работы является изучение электрокинетических характеристик обратных эмульсий и механизма их стабилизации термолизным дефекатом ТД$_{600}$.

Эксперимент. Значения ζ – потенциала на частицах ТД$_{600}$ определяли методом электрофореза по методике [6], измерив скорость движения частиц и зная градиент потенциала приложенного электрического поля, рассчитали электрофоретическую подвижность частиц $U_{эф}$ (это путь, проходимый частицей за 1 секунду в поле с градиентом потенциала 1 В/см).

$$U_{эф} = \frac{h_ч}{tH} = \frac{U}{H} = \frac{Ul}{E_{вн}}, \quad (1)$$

где – $h_ч$ – путь, пройденный частицами, см; t – время, сек; $E_{вн}$ – разность потенциалов внешнего электрического поля, В; l – расстояние между электродами, см; H – градиент потенциала на единицу длины, В/см.

Согласно теории Смолуховского, электрофоретическая подвижность связана с ζ – потенциалом и вязкостью соотношением:

$$U_{эф} = \frac{\zeta D D_0}{\eta}, \quad (2)$$

или

$$\zeta = \frac{U_{эф}\eta}{DD_0} \quad (3)$$

В данном случае $U_{эф}$ измеряется в $\left[\frac{м/сек}{В/м}\right]$.

Таким образом, измерение электрофоретической подвижности позволяет рассчитать ζ – потенциал.

Стабилизация эмульсии зависит от природы эмульгатора, соотношения фаз В/М, размера капель, размера и заряда твердых частиц эмульгатора [7].

Для частиц ТД$_{600}$ величина ζ- потенциала равна – 26,6 мВ, т.е. частицы, заряжены отрицательно.

На рис. 1 показана зависимость ζ – потенциала модельной эмульсии с Ф = 0,5 от pH и различной концентрации ТД$_{600}$.

Обсуждение результатов. С ростом концентрации ТД$_{600}$ (рис. 1) величина ζ – потенциала плавно возрастает, а затем при концентрации 3 моль/м^3 происходит перезарядка поверхности капель, ζ - потенциал равен нулю, заряды скомпенсированы. Это говорит о том, что завершено построение адсорбционного слоя эмульгатора на поверхности капли воды и при дальнейшем увеличении концентрации эмульгатора выше 3 моль/м^3, ζ – потенциал возрастает до 28 мВ, затем его величина выходит на плато, что обусловлено окончанием процесса адсорбции ТД$_{600}$ на межфазной границе вода - соляровое масло.

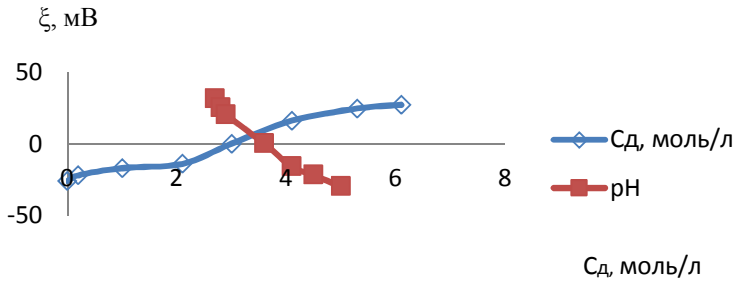


Рис. 1. Зависимость ζ - потенциала модельной эмульсии от концентрации ТД$_{600}$ и pH

Следует отметить, что при концентрации $ТД_{600}$ равной 3 моль/м^3 получаем стабильную эмульсию со временем жизни τ = 300 ч. При дальнейшем увеличении концентрации эмульгатора до 5 моль/м^3 эмульсия переходит в пастообразное состояние со временем жизни более одного года. Это можно объяснить тем, что $ТД_{600}$ переходит в дисперсионную среду соляровое масло и за счет гидрофобной ассоциации создает прочную коагуляционную структуру по всему объему эмульсии. Иначе говоря, эмульгатор-стабилизатор выступает в роли утяжелителя обратной эмульсии.

На рис. 2 показана предполагаемая схема механизма стабилизации обратных эмульсий твердым эмульгатором. Молекулы эмульгатора $ТД_{600}$ сосредотачиваются на поверхности раздела фаз вода - соляровое масло толщиной δ, равной 1 – 2 мкм. Заряд на каплях воды создается за счет ДЭС возникающего при адсорбции $ТД_{600}$ на каплях воды, т.е. в роли потенциалопределяющих ионов выступают отрицательно заряженные частицы твердого эмульгатора.

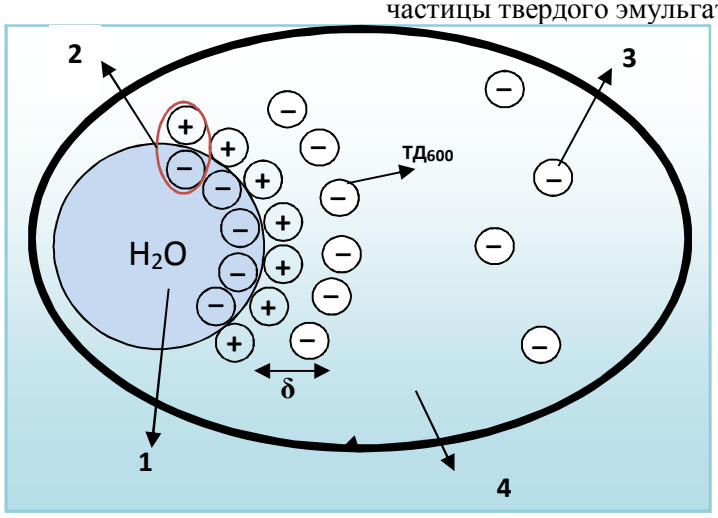


Рис. 2. Схема механизма стабилизации обратных эмульсий твердым эмульгатором $ТД_{600}$: 1- капля воды; 2-диполь воды; 3 - частицы $ТД_{600}$; 4 - дисперсионная среда – соляровое масло; δ - толщина оболочки эмульгатора

Выводы. Таким образом, на основании проведенных исследований было установлено:

1. Для получения стабильной эмульсии вода – соляровое масло необходимо использовать твердый эмульгатор термолизный дефекат ($ТД_{600}$).

2. Наилучшие результаты стабильности были получены при использовании $ТД_{600}$ с концентрацией 3 моль/м^3, при этом ζ - потенциал равен 28 мВ. Затем его величина выходит на плато, что обусловлено процессом адсорбции $ТД_{600}$ на межфазной границе вода –соляровое масло.

3. При концентрации $ТД_{600}$ 3 моль/м^3 получаем стабильную эмульсию со временем жизни τ = 300 ч. При дальнейшем увеличении концентрации эмульгатора до 5 моль/м^3 эмульсия переходит в пастообразное состояние со временем жизни более одного года, а ζ - потенциал при этом остается постоянным.

** Работа выполнена в рамках Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова на 2012-2016 годы № А – 7/15.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Клейтон В. Эмульсии. Их теория и технические применения. М.: Изд. Иностранной литературы, 1950. 679 с.

2. Чудинова Н.Н. Синтез и коллоидно-химические характеристики косметических эмульсий, стабилизированных смесями ПАВ: дис…. канд. хим. наук. М, 2014. 133 с.

3. http://www.photocor.ru/theory/zeta-potential/

4. Шаповалов Н.А., Ломаченко В.А., Ломаченко Д.В., Яшуркаева Л.И., Гребенюк А.А. Влияние СБ-3 и комплексных добавок на агрегативную и седиментационную устойчивость цементных суспензий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. № 4. С. 156-158.

5. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. М.: Химия, 1982. 400 с.

6. Айвазов Б.В. Практикум по химии поверхностных явлений и адсорбции. М.: Высшая школа, 1973. 86 с.

7. Тарасова Г.И., Шевага О.Н. Исследование свойств обратных эмульсий, стабилизированных термолизным дефекатом/ В сб. XXII Межд. науч.-практ. конф. «КАЗАНТИП-ЭКО-2014». Харьков, 2014. С. 244–247.

Tarasova G. I., Shevaga O. N.

ELECTROKINETIC CHARACTERIZATION OF MODEL EMULSIONS AND THEIR STABILIZATION MECHANISM THERMOLYSIS DEFECATE TD_{600}

Questions produce, stabilize and regulate the physicochemical properties of disperse systems, in particular reverse (hydrophobic) emulsions, are among the most pressing problems. The paper studies the relationship changes the zeta potential of inverse emulsions and their stabilization mechanism thermolysis defecate TD_{600}. Investigated electrokinetic characteristics of model emulsions water - diesel oil on the pH, aggregate stability and storage time. As an emulsifier, stabilizer inverse emulsions proposed thermolysis defecate TD_{600}. Structure and physico-chemical properties of thermolysis defecate presented in previously published papers.

Key words: *inverse emulsion stabilization mechanism, a solid emulsifier-stabilizer TD_{600}, electric double layer (EDL), the zeta potential (ξ).*

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Всяких М.В., канд. экон. наук, доц.,
Самхарадзе А.К., студент
Белгородский государственный национальный исследовательский университет

РЫНОК АВТОКРЕДИТОВАНИЯ В РОССИИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

samharadze.a@yandex.ru

В статье уделяется внимание сущности и роли автокредитования в экономике России, приводится понятие автокредитования, а также основные формы автокредитов и их особенности. Сформулированы основные преимущества и недостатки автокредитов в России. Также, в статье представлены результаты анализа рынка автокредитования, характеризующих динамику его развития за последние несколько лет, приводятся основные причины изменения положения рынка автокредитования в экономике страны.

Ключевые слова: *автокредитование; процентная ставка; первоначальный взнос.*

Автомобиль для современного человека выступает неотъемлемым элементом благополучия в повседневной жизни, инструментом труда, способом формирования имиджа и здесь каждый определяет, что в большей степени дает ему личный транспорт. Рассматривая данный элемент более широко, то есть, беря во внимание отрасль автомобилестроения и сопутствующий ей рынок сбыта, можно говорить о неразрывной связи между сложившейся ситуацией в экономике государства и объемами текущих продаж и их динамики. Учитывая, что автомобильная отрасль страны тесно связана со многими секторами промышленности, влияет на активность в финансовом сегменте экономики, инвестиционную активность и, в конечном счете, на уровень потребительских цен и качество жизни населения в целом, то колебания объемов сбыта новых автомобилей являются достоверными индикаторами, позволяющими спрогнозировать кризисные явления в экономике. Поэтому, производя обоснованное стимулирование продаж транспорта путем развития рынка автокредитования в стране, власти способны управлять ходом событий в обозримой перспективе.

По данным аналитического агентства «Автостат» российский рынок автокредитования до последнего времени демонстрировал уверенный рост. Но в 2014 году рынок автокредитования показал снижение темпов роста (рис. 1) [4].

На протяжении всего 2014 г. люди, защищая свои средства от обесценивания, вкладывали их в товары длительного пользования, недвижимость и, конечно же, автомобили. Поэтому все же наблюдался спрос на автокредиты, которые выдавали практически все банки по сравнительно небольшой процентной ставке. Но количество автокредитов так и не достигло значений прошлого года: по сравнению с 2013 годом уменьшение составило 236,2 тыс. шт. или 22,29%.

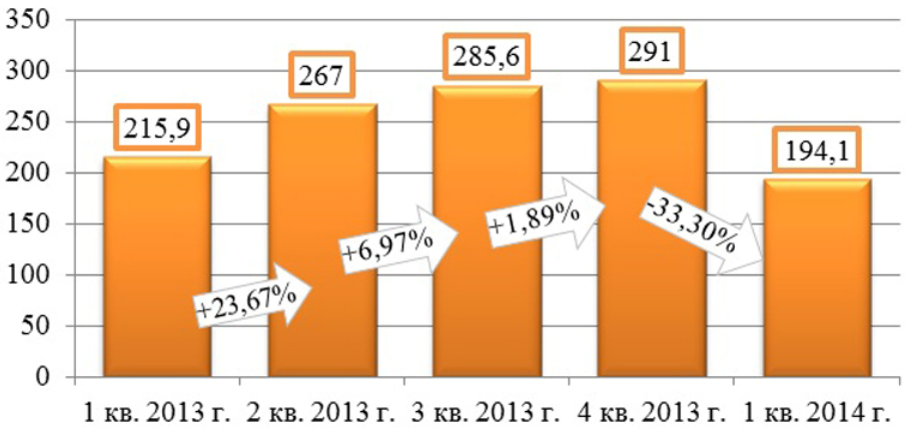


Рис. 1. Динамика российского рынка автокредитования, 2013 – 2014 гг., тыс. шт.

После повышения Центробанком ключевой ставки до 17 % годовых и резкого нарастания инфляции автодилеры и кредиторы пересмотрели свои бизнес-модели, увеличив процентную

ставку по автокредитам. Но с начала года Центробанк уже дважды понизил ключевую ставку (02 февраля 2015 г. с 17 % до 15 % и 16 марта 2015 г. до 14 % годовых), а процентная ставка по автокредитам осталась на прежнем уровне.

В итоге на фоне очевидной положительной динамики автокредитования в 2014 г. на этом рынке стали проявляться другие тенденции. По данным Национального бюро кредитных историй (НБКИ), количество выданных кредитов на рынке сокращается, тогда как средняя сумма займа увеличивается [8].

Проблема снижения спроса на автокредиты связана, в первую очередь, с завершением годовой программы льготного автокредитования и отменой программы утилизации старых автомобилей.

Оживить продажи автомобилей в кредит способна государственная программа субсидирования автокредитов. И здесь необходимо вмешательство государства. Для этого с 1 апреля 2015 года возобновлена государственная программа субсидирования автокредитов, которая будет действовать до 31 декабря 2015 года. По условиям данной программы процентная ставка привязана к ставке рефинансирования ЦБ РФ. Государство намерено компенсировать заемщикам часть их расходов по автокредитам на уровне около 9,5…10 %.

Одним из решений по повышению привлекательности автокредитов желательно еще и установление льготного налогообложения для производителей автомобилей на территории РФ с целью снижения их стоимости.

Во-вторых, на уменьшение количества выданных автокредитов повлиял начавшийся в 2014 году финансовый кризис, который сопровождался снижением курса рубля, повышением инфляции, увеличением размера ключевой ставки ЦБ, и, соответственно, повышением процентной ставки по кредитам.

С помощью корреляционного анализа попытаемся определить, существует ли такая зависимость вообще или анализируемые признаки статистически независимы? Для этого исследуем связь между количеством выданных автокредитов и размером ключевой ставки ЦБ РФ с момента ее введения и до конца 2014 года.

Динамика выдачи автокредитов по кварталам за интересующий нас период представлена аналитическим агентством «Автостат» (табл. 1) [4].

Таблица 1

Динамика выдачи автокредитов 2013 – 2014 гг.

Период	4 кв. 2013 г.	1 кв. 2014 г.	2 кв. 2014 г.	3 кв. 2014 г.	4 кв. 2014 г.
Автокредиты, шт.	291000	194100	205700	206100	217500

Из табл. 1 видно, что количество выданных автокредитов за анализируемый период, уменьшилось на 73500 шт. или на 25,26 %.

Данные о размерах ключевой ставки ЦБ РФ предоставлены компанией «Консультант-Плюс» [6]. Для удобства расчетов определим усредненные значения ключевой ставки Центробанка по кварталам (табл. 2).

Данные таблицы свидетельствуют о повышении среднего размера ключевой ставки ЦБ РФ с 01 октября 2013 г. до 31 декабря 2014 г.

Таблица 2

Усредненные значения ключевой ставки ЦБ РФ за 2013 – 2014 гг.

Период	Ключевая ставка (усредненное значение), %, годовых
4 квартал 2013 г.	5,5
1 квартал 2014 г.	6,25
2 квартал 2014 г.	7,25
3 квартал 2014 г.	7,75
4 квартал 2014 г.	11,25

Отобразим уменьшение количества выданных автокредитов и повышение размера ключевой ставки (усредненные значения по каждому кварталу) за период с 4 квартала 2013 года и по 4 квартал 2014 года включительно на графике (рис. 3).

Далее определим, существует ли связь между величиной ключевой ставки (факторный признак X) и количеством выданных автокредитов (результативный признак Y).

Степень, сила или теснота корреляционной связи определяется по величине коэффициента корреляции [1]:

$$r_{xy}=\frac{\overline{xy}-\overline{x}\cdot\overline{y}}{\sigma_x\cdot\sigma_y}=\frac{\overline{xy}-\overline{x}\cdot\overline{y}}{\sqrt{\overline{x^2}-\overline{x}^2}\cdot\sqrt{\overline{y^2}-\overline{y}^2}}. \quad (1)$$

Составим корреляционную таблицу значений (табл. 3).

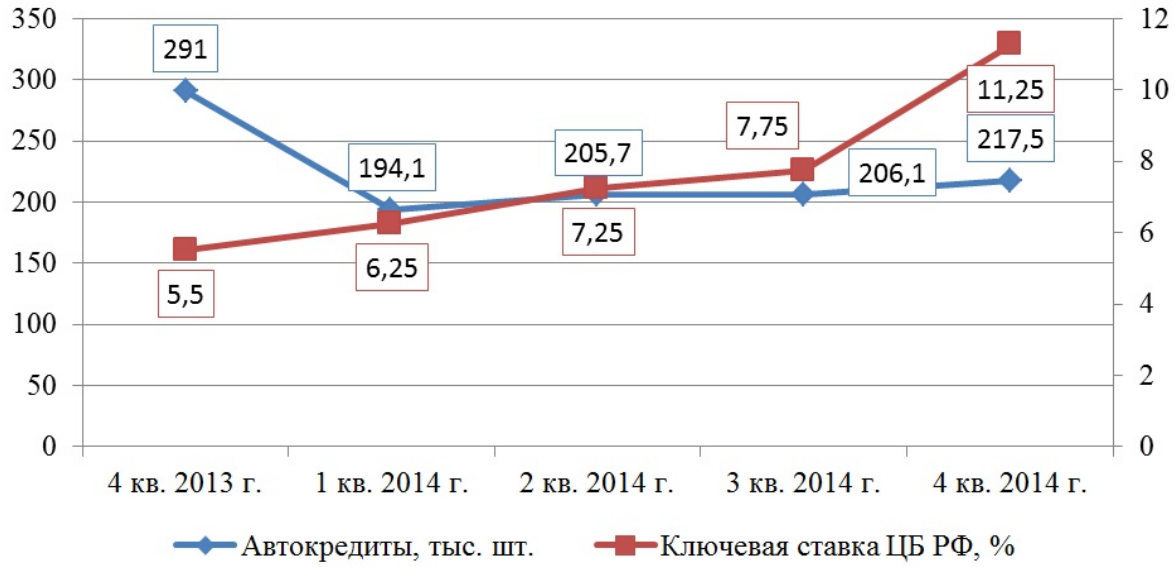


Рис. 3. Динамика выдачи автокредитов, тыс. шт. и изменение ключевой ставки, % за 2013 – 2014 гг.

Таблица 3

Показатели для определения коэффициента корреляции

Период	x, %	y, тыс. шт.	xy	x2	y^2
4 кв. 2013 г.	5,50	291,00	1600,50	30,25	84681,00
1 кв. 2014 г.	6,25	194,10	1213,13	39,06	37674,81
2 кв. 2014 г.	7,25	205,70	1491,33	52,56	42312,49
3 кв. 2014 г.	7,75	206,10	1597,28	60,06	42477,21
4 кв. 2014 г.	11,25	217,50	2446,88	126,56	47306,25
Итого:	38	1114,40	8349,10	308,50	254451,76
Среднее значение	7,6	222,88	1669,82	61,7	50890,35

Подставим полученные значения в формулу 1:

$$r_{xy} = \frac{1669,82 - 7,6 \cdot 222,88}{\sqrt{\left(61,7 - (7,6)^2\right)} \cdot \sqrt{\left(50890,35 - (222,88)^2\right)}} = \frac{-24,648}{69,152} = -0,36.$$

Знак (-) свидетельствует об обратной связи – когда с увеличением значения одного признака уменьшается значение другого и наоборот. Значение коэффициента корреляции -0,36 говорит об умеренной связи.

Таким образом, увеличение размера ключевой ставки ЦБ РФ не главный фактор снижения количества кредитных договоров на приобретение автомобилей, что говорит о спекулятивном отношении самих кредиторов в повышении процентных ставок по автокредитам, ссылаясь при этом на государственное регулирование денежно-кредитной политики в виде увеличения ключевой ставки.

В-третьих, проблема снижения спроса на автокредиты связана с ростом стоимости самих автомобилей.

Динамика средневзвешенной цены автомобиля и размер средней заработной платы за период с 2010 г. по октябрь 2014 г. представлены аналитическим агентством «Автостат» (рис. 4) [5].

На основании этих данных можно сказать, что темп роста на автомобили с 2010 г. по 2014 г. не превышал темп роста средней заработной платы за этот же период. Поэтому автокредиты выдавались с каждым годом все больше и больше. Но за 9 месяцев 2014 г. темп роста средней заработной платы оказался ниже темпа роста цены на автомобиль на 4,1 %. Это свидетельствует о том, что у людей не стало хватать средств на покупку автомобилей, в том числе и при использовании заемных средств.

Рис. 4 Сравнение динамики зарплат и цен на автомобили

Учитывая данный факт, кредиторам необходим индивидуальный подход к каждому клиенту, благодаря которому можно рассчитывать индивидуальную процентную ставку по автокредиту для каждого заемщика, и, конечно, следует при этом учитывать возможности самого кредитора.

В решении данного вопроса можно применить множественный регрессионный анализ для выявления взаимосвязи процентной ставки по кредиту (зависимой переменной) и индивидуальными параметрами клиента (независимыми переменными) с помощью специальной программы.

В качестве независимых переменных лучше всего использовать такие, как срок кредитования – X_1, сумма кредита – X_2, процент первоначального взноса – X_3, наличие зарплатных карт в кредитном учреждении – X_4, наличие вкладов в банке-кредиторе – X_5 и др. Причем, такие переменные факторы, как X_4 и X_5 невозможно измерить количественно, поэтому им можно присваивать значения «0» в случае наличия того или иного признака и «1» – в случае отсутствия признаков.

В общем виде модель множественной линейной регрессии можно представить следующим образом:

$$y=\beta_0+\beta_1 x_1+\ldots+\beta_i x_i+\varepsilon, \quad (2)$$

где y – зависимая переменная; $x_1 \ldots x_i$ – объясняющие переменные; $\beta_0 \ldots \beta_i$ – коэффициенты регрессии; ε – ошибка измерений [2].

Например, после обработки конкретных данных переменных $x_1 \ldots x_5$ и зависимой переменной y с помощью специальной программы Statistica v6.0 можно получить эконометрическую модель вида:

$$y=13{,}56+0{,}0031x_1+0{,}0024x_2+$$
$$+0{,}0045x_3-0{,}028x_5,$$

где коэффициенты регрессии $\beta_0 \ldots \beta_5$ характеризуют следующее: процентная ставка по автокредиту увеличится на 0,0031 % при увеличении срока кредитования на 1 месяц; на 0,0045 % – при отсутствии первоначального взноса и на 0,0024 % при увеличении суммы по кредиту на 1 руб.; процентная ставка по автокредиту уменьшиться на 0,028 % – при наличии вклада банке-кредиторе (при условии, когда заемщик не имеет зарплатной карты в кредитном учреждении). Реальные же значения коэффициентов регрессии в эконометрической модели будут зависеть от условий и возможностей кредитования конкретного кредитного учреждения.

Важным аспектом в решении каких-либо задач является прогнозирование тенденции развития исследуемого явления, так как процесс прогнозирования предполагает, что закономерность развития, действующая в прошлом, сохранится и в прогнозируемом будущем. Такие прогнозы основаны на экстраполяции данных. Одним из методов экстраполяции является прогнозирование на основе среднего абсолютного прироста, при котором для получения прогноза на «i» шагов вперед (i – период упреждения), достаточно воспользоваться следующей формулой:

$$\hat{y}_{n+1}=y_n+i\cdot\bar{\Delta}, \quad (3)$$

$$\bar{\Delta}=\frac{y_n-y_1}{n-1}, \quad (4)$$

где y_n –конечный уровень ряда; $\hat{y}_{n+1}$ – прогнозная оценка значения (n+1) уровня ряда; $\bar{\Delta}$ – значение среднего абсолютного прироста [3].

По данным делового общенационального аналитического ресурса «Эксперт Online» Медиахолдинга «Эксперт» средний размер задол-

женности по автокредитам: в 2012 году … 226,4 тыс. руб., в 2013 году … около 323,1 тыс. руб., в 2014 году … 385,97 тыс. руб. [7].

Используя формулы 3 и 4, спрогнозируем величину среднего размера долга по автокредитам по имеющимся данным:

$$\overline{\Delta}=\frac{y_{2014}-y_{2012}}{3-1}=\frac{385{,}97-226{,}4}{2}=\frac{159{,}57}{2}=79{,}785 \text{ тыс. руб.}$$

$$\hat{y}_{2015}=y_{2014}+1\cdot 79{,}785=465{,}755 \text{ тыс. руб.},$$

$$\hat{y}_{2016}=y_{2014}+2\cdot 79{,}785=545{,}54 \text{ тыс. руб.},$$

$$\hat{y}_{2017}=y_{2014}+3\cdot 79{,}785=625{,}325 \text{ тыс. руб.}$$

Таким образом, если меры по снижению кредиторской задолженности по автокредитам не будут приниматься, то это может привести к высокому давлению на капитал банков. Аналогичным образом можно спрогнозировать и количество автокредитов, которые будут выданы в будущем.

Также с целью повышения эффективности системы автокредитования банкам необходимо принимать меры по совершенствования системы качества обслуживания клиентов, расширения клиентской базы, созданию более привлекательных условий кредитования, а именно: снижению доли первоначального взноса; не «навязывания» дополнительных услуг по страхованию, что позволит избежать лишних переплат; исключения скрытых комиссий; использования комплексного подхода.

В целом, рынок автокредитования продолжает развиваться, хоть и замедленными темпами. Многие проблемные вопросы остаются неурегулированными, но их своевременное решение с использованием экономико-статистических анализов, предложенных в данной статье, может вновь способствовать в будущем стимулированию развития кредитных организаций и авторынка в России в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горемыкина Т. К. Общая теория статистики. М.: МГИУ, 2007. 144 с.

2. Кремер Н. Ш. Эконометрика. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2010. – 328 с.

3. Шмойлова Р. А. Теория статистики. М.: Изд. Центр ЕАОИ. 2008. 296 с.

4. Автостат [Электронный ресурс]: аналитическое агентство // В 2014 году банки выдали автокредитов на 22 процента меньше. URL: http://www.autostat.ru/news/view/20036/ (Дата обращения: 12.04.2015).

5. Автостат [Электронный ресурс]: аналитическое агентство // Динамика средних цен на автомобиль и зарплат в РФ за 2008-2014 годы. URL: http://www.autostat.ru/news/view/18552/ Динамика средних цен на автомобиль и зарплат в РФ за 2008-2014 годы (Дата обращения: 12.04.2015).

6. КонсультантПлюс [Электронный ресурс]: Официальный сайт компании //Справочная информация: «Ключевая ставка, установленная Банком России». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_law_12453/?frame=1#p269 (Дата обращения: 12.04.2015).

7. Эксперт Online [Электронный ресурс]: деловой общенациональный аналитический ресурс // Безвозвратные автокредиты. URL:http://expert.ru/2014/11/21/bezvozvratnyie-avtokredityi/ (Дата обращения: 12.04.2015).

8.RussianAutomotiveMarketResearch [Электронный ресурс]: маркетинговое агентство // Тренды и перспективы Автокредитования, 2014. URL:http://www.napinfo.ru/page/id/14052 (Дата обращения: 12.04.2015).

Vsyakih M.V., Samharadze A.K.

CAR LOAN MARKET IN RUSSIA: PROBLEMS AND PROSPECTS

The article focuses on the nature and role of car loans in the Russian economy, given the concept of car loans, as well as the basic forms of car loans and its features. The basic advantages and disadvantages of car loans in Russia. Also, the article presents the results of the analysis of the loan market, characterizing the dynamics of its development over the past few years, are the main reasons for changing the position of the loan market in the economy.

Key words: *car loans; interest rate; down payment.*

Демура Н.А. доц.,
Ярмоленко Л.И. ст. преп.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

УПРАВЛЕНИЕ ЗАТРАТАМИ КАК НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

ndemura@mail.ru

Установлено, что в современной экономической литературе существуют различные подходы к классификации затрат: первый заключается в проведении детальной классификации, второй – укрупненной. Была систематизирована и предложена классификация затрат в системе управления экономическим развитием предприятия, основные принципы и функции системы управления затратами. Была предпринята попытка дать определение управления затратами в системе экономического развития предприятия.

Ключевые слова: *экономическое развитие, система управления затрат, классификация затрат*

Сегодняшнее промышленное предприятие сталкивается с необходимостью соизмерения затрат с финансовым результатом с учетом конкурентной непредсказуемости. Преодолеть ее с наименьшим риском возможно, на наш взгляд, при условии правильной организации системы управления затратами, что даст возможность предприятию максимизировать прибыль вследствие сокращения затрат на производство и продажу продукции, увеличения рыночного спроса на нее, ресурсосбережения и т.п.

Абсолютное большинство современных отечественных экономистов [1…4, 10, 12, 14, 15, 18 и др.] при описании методов по планированию, учету, анализу и контролю затрат, трактует термин «затраты» как экономическую категорию, определяющую выраженные в денежной форме расходы предприятий, предпринимателей, частных производителей и других хозяйствующих субъектов на производство, обращение и сбыт продукции.

При этом данное определение чаще всего полностью отождествляется с понятием «издержки», которое преимущественно используется в переводных зарубежных литературных источниках. Понятие «издержки», «затраты» одни отечественные экономисты разграничивают применительно к стандартам бухгалтерского учета [4], нормативным документам [12], другие [1, 2, 15] считают эти термины тождественными применительно к механизму управления. В отечественной литературе советского периода преимущественно употреблялось понятие «себестоимость» [3, 14].

Понимание поведения затрат – первый шаг в их планировании и контроле.

В рамках системы управления классификация затрат должна быть увязана со спецификой конкретных задач предприятия. Необходимо учитывать факторы затрат, применять для решения конкретных задач различные типы классификации. При принятии оперативных решений – учитывать ограниченное число факторов, для стратегических решений – использовать широкую классификацию. Соглашаясь с мнением исследователей [1, 5, 11, 16], мы считаем, что необходимо разграничить направленность классификации: для целей исчисления себестоимости; для принятия решений; для контроля и регулирования.

На наш взгляд, необходимо выделить принципы классификации затрат: целесообразность; гибкость; экономическая однородность; периодичность возникновения; однородность состава; зависимость от места возникновения; взаимосвязь с производством, реализацией; способ включения в себестоимость; степень охвата планом; общность производственного назначения.

В условиях отечественной практики управления классификация должна отражать информацию для эффективного принятия управленческих решений и соответствовать правовым нормам и правилам. Задача разработки такой калькуляции на отечественном промышленном предприятии на сегодняшний день приобретает все большую актуальность. Для конкретного предприятия нужно построить систему классификации затрат в первую очередь руководствуясь принципом эффективности.

В целом, классификация затрат должна быть гибкой, взаимоувязанной по определенным критериям, факторам затрат, позволяющей на основе организации рациональной системы учета принять наиболее эффективное управленческое решение [7, 8].

Классификация затрат в отечественных и зарубежных литературных источниках имеет общие и отличительные черты. Сравнительная классификация затрат в России и за рубежом предложена в Таблице 1.

Классификации у зарубежных авторов отличаются большей детализацией признаков и практической направленностью. В западном

учете отсутствует единая классификация для всех отраслей экономики. Отличительная черта таких классификаций – их условность, упрощенность, смешение различных признаков группировки затрат, частая подмена одного понятия другим (например, косвенные, накладные и постоянные затраты). Это можно объяснить прагматизмом западного учета, т.к. все направлено на создание условий для удобства практического применения. В отечественной экономической литературе в силу характера законодательных актов, нормативных документов, отраслевых инструкций, особенностей анализа и бухгалтерского учета преимущественно применялась классификация затрат по экономическому содержанию и целевому назначению.

Если ранее совпадения западной и отечественной классификаций затрат прослеживалась по позициям: отношения к технологическому процессу; способа отнесения на себестоимость изделия; отношения к объему производства; в определенной содержательной направленности: по функции управления и по периоду, то на сегодняшний день вычленяются и приобретают большое значение классификации для целей принятия управленческих решений.

На выбор наиболее приемлемых и отвечающих внутренним запросам предприятия видов классификации затрат влияет, по нашему мнению: оценка эффективности принятия решений на основе информации по применяемым видам классификации затрат, с учетом времени, трудоемкости и финансовых средств на калькулирование; трудности при группировке некоторых видов затрат смешанной природы, что может вызвать искажение информации для принятия решения.

Группировка факторов затрат будет тем точнее, чем больше признаков классификации используется. Однако, очень широкая группировка, на наш взгляд, не является целесообразной. Она потребует значительных финансовых вложений, усилий со стороны разработчика, времени, излишне перегрузит информацией, отвлекающей при принятии решения, не обеспечит прозрачность модели. Поэтому, целесообразно учесть наиболее существенные признаки классификации: по структуре объекта исследования (экономические; социальные; организационные; психологические; технологические), затем по учету при принятии решений (релевантные; нерелевантные). Дальнейшую группировку проводить в зависимости от иерархии и полномочий лица, принимающего решение, характера решения (оперативное, стратегическое), конкретной ситуации, при этом использовать различный набор признаков классификации факторов.

В работах западных и отечественных исследователей нет единства в степени детализации классификации затрат. Большинство теоретиков придерживаются мнения о расширенной классификации, практиков напротив – об укрупненной.

В западной системе управления затратами для принятия управленческих решений используется разнообразная информация о затратах. Для принятия различных решений нужна различная степень детализации классификации. Поэтому в западной системе учета так много признаков группировки затрат. И это оправдано для стратегических решений. Для принятия оперативных решений нужна укрупненная группировка, обеспечивающая быстроту получения информации (три группы; максимально 10 видов затрат [6, 13].

В работах большинства отечественных экономистов (теоретиков и практиков) прослеживается единство в классификации затрат по достаточно широкому перечню признаков (семь и более групп затрат), из которых выбираются оптимальные для конкретной ситуации и наиболее эффективные для конкретного предприятия.

На сегодняшний день прослеживается тенденция интеграции западных принципов классификации затрат в отечественной практике. Изменения, произошедшие в законодательной сфере, должны позволить адаптировать лучший мировой опыт в классификации затрат на российских предприятиях и преодолеть возникающие трудности. Прежде всего в распределении неоднозначных затрат (например, косвенных).

По нашему мнению, требуется оптимизация классификации. Для различных целей необходима различная детализация в классификации затрат, различные сроки и объем подачи управленческой отчетности.

Специфика производства определяет структуру затрат, при этом одни затраты имеют больший удельный вес (материалоемкое, топливоемкое, энергоемкое, фондоемкое, трудоемкое производство) и, следовательно, являются более значимыми, другие сравнительно незначительны, поэтому могут учитываться укрупнено.

На наш взгляд, управление затратами затрагивает все основные элементы системы управления организацией и выделяется в отдельный обособленный объект, функционально взаимосвязанный со всеми составляющими системы управления организацией.

Таблица 1

Сравнительная классификация затрат в России и за рубежом

Отечественные авторы [1…4, 9, 10, 12, 15, 18]		Зарубежные авторы [13, 14 и др.]	
Признак классификации	Подразделения затрат	Признак классификации	Подразделения затрат
1.По экономическому содержанию	элементы затрат; статьи расходов	1.По степени усреднения	общие; средние (затраты на единицу)
2.По отношению к технологическому процессу	основные; накладные	2.По отношению к технологическому процессу	основные (прямые материалы; прямая заработная плата); накладные (первичные; вторичные)
3.По составу	одноэлементные; комплексные	3.По направлению учета (по компонентам)	затраты для определения стоимости запасов продукции; затраты на производство по данным, о которых принимаются решения; затраты по данным, о которых осуществляется контроль и регулирование
4.По способу отнесения на себестоимость продукта	прямые; косвенные	4.По способу отнесения на себестоимость изделия	прямые; косвенные (накладные)
5.По роли в процессе производства	производственные; непроизводственные	5.По функции управления	производственные; коммерческие; административные
6.По целесообразности расходования	производительные; непроизводительные	6.По отношению ко времени возникновения (по составу)	прошлые (фактические); сметные (будущие, плановые, прогнозные)
7.По возможности охвата планом	планируемые; непланируемые	7.По местам возникновения	центры затрат (затраты по местам возникновения); зоны (центры) ответственности
8.По отношению к объему производства	переменные (пропорциональные; дегрессивные; прогрессивные); условно – постоянные (средние; остаточные; стартовые)	8.По отношению к объему производства (динамики, соответствующей функциональным изменениям)	переменные (решающие; не определяющие решение); постоянные (решающие (полезные; «холостые»); не определяющие решение); прочие (смешанные)
9.По периодичности возникновения	текущие; единовременные	9.По отношению к периоду (на период генерирования прибыли)	периодические затраты (затраты на период; затраты определенного периода); затраты на изделие (затраты на продукт)
10.По отношению к готовому продукту	затраты на незавершенное производство; затраты на готовый продукт	10.По степени усреднения	полные затраты; затраты, включаемые в удельную (среднюю) себестоимость
11.По отношению к бухгалтерскому и налоговому законодательству	расходы от продаж; прочие расходы	11.По степени воздействия на общую сумму затрат	полностью регулируемые; частично регулируемые (произвольные); слабо регулируемые (заданные)
12.Для целей оценки запасов произведенной продукции	входящие; истекшие	12.По значимости (по отношению к объему поставок)	вмененные; релевантные; безвозвратные
13.Для целей учета и управления	затраты для определения стоимости запасов продукции; затраты по которым принимаются решения; затраты по которым осуществляется контроль и регулирование	13.По видам работ	затраты на погрузочно- разгрузочные работы; затраты на транспортные работы; затраты на сортировку; затраты на складирование; затраты на физико- химические анализы и др.

В общем виде ряд исследователей [2, 9, 10, 14, 18] под управлением затратами понимает совокупность мер, включающих следующее:

– использование специальных методов для определения реальных затрат;

– систематическое определение отклонений и анализ причин их возникновения;

– принятие конкретных мер по улучшению структуры затрат;

– четкую фиксацию возможностей экономии затрат.

По мнению Мацкевичуса И.С., Кальчинскаса Г.П. в узком смысле управление представляет собой целенаправленное изменения состояния некоторого объекта, ведущее к достижению поставленной цели [14].

В целом механизм хозяйствования предприятия определяется степенью управления затратами. Наиболее прозрачно на наш взгляд, основные элементы системы управления затратами предложены в работе Карповой Т.П. [9].

Требования управления определяют отдельное изучение методики учета затрат в производстве и необходимости разработки для предприятий системы контроля за себестоимостью продукции производственных подразделений на основе расширения аналитичности применяемых в учете группировок затрат.

Анализ литературных источников показывает, что авторы [10, 15, 17] выделяют принципы формирования затрат, управленческого учета, а не системы управления затратами в целом. Для организации учета затрат и принятия управленческих решений представляется необходимым выделить основные принципы системы управления затратами.

1. Эффективности – предполагает сопоставление результатов от деятельности системы с затратами на ее организацию. При этом должны быть учтены факторы, влияющие на затраты.

2. Постоянства – предполагает постоянное отслеживание информации о затратах независимо от времени подачи информации для принятия решений.

3. Периодичности – предполагает определение сроков и частоты подачи информации.

4. Сопоставимости – обеспечивает сравнение затрат по одному и тому же объекту за разные периоды времени, сравнение затрат по разным объектам за одинаковый период времени, сравнение запланированных затрат с фактическими, анализ средних затрат в динамике.

5. Структурируемости – предполагает структурировать затраты по видам для проведения анализа принятия решений и выявления базы распределения затрат (например, при распределении косвенных затрат).

6. Контролируемости – предполагает обеспечить контроль уровня одноэлементных затрат или комплексных затрат по центрам ответственности.

7. Динамичности – предполагает своевременное использование управляющего воздействия при возникновении отклонений или оперативной необходимости.

8. Согласованности – предполагает взаимосвязь и взаимодействие задач управления затратами с другими системами управления предприятием.

9. Сбалансированности – предполагает единство процессов планирования и контроля на различных этапах производства и реализации.

10. Нормируемости – предполагает применение при планировании научно – обоснованных норм затрат.

11. Существенности – предполагает формирование информации по затратам для принятия решений в зависимости от характера и цели пользователя.

12. Понятности – предполагает соответствие информации возможностям и знаниям пользователя, его иерархического (служебного) положения в системе.

13. Достоверности – предполагает формирование достоверной информации.

14. Объективности – предполагает непредвзятость и нейтральность со стороны подателя (составителя) данных о затратах.

Исходя из предложенных принципов системы управления затратами функции ее следующие:

1. Учет затрат на производство и реализацию продукции (формирование информации в системе финансового, налогового и управленческого учета).

2. Калькулирование себестоимости для целей управления различного уровня.

3. Нормирование затрат.

4. Анализ затрат по центрам, отклонений от норм.

5. Сбор, обработка количественной и качественной информации для оперативного принятия управленческих решений.

6. Планирование затрат текущее и перспективное, интегрированность планов по затратам на оперативном и стратегическом уровне.

7. Контроль затрат.

8. Оптимизация затрат, выявление их резервов, организация снижения затрат по центрам и сферам деятельности.

В результате анализа различных точек зрения ученых-экономистов по данному вопросу, а также накопленного практического опыта можно сделать вывод о том, что затраты непосред-

ственно определяют конечный результат деятельности предприятия и являются главным резервом его текущего и стратегического развития. Следовательно, управление ими в условиях жесткой конкуренции является одним из эффективных путей повышения конкурентоспособности предприятия и обеспечивает его экономическое развитие.

Определенный уровень затрат формируется под влиянием эффективности использования ресурсов, что зависит от степени развития рыночной экономики, но в тоже время сами затраты влияют и определяют это развитие. Управление затратами в системе управления экономическим развитием предприятия при этом будет пониматься как совокупность подсистем нормирования, учета, планирования, анализа, контроля, регулирования, нацеленных на достижение оперативных и стратегических задач предприятия и обеспечивающих его экономическое развитие.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Адамов В.Е., Ильенкова С.Д., Сиротина Т.П. Экономика и статистика фирм: Под ред. д-ра экон. наук, проф. С.Д. Ильенковой. 2-е изд. М.: Финансы и статистика, 1998. 240 с.

2. Ананькина Е.А., Данилочкина Н.Г. Управление затратами. М.: «Издательство ПРИОП» ИВАКО Аналитик, 1998. 64 с.

3. Безруких П.С., Кашаев А.Н., Комисарова И.П. Учет затрат и калькулирование в промышленности. М.: Финансы и статистика, 1989. 223 с.

4. Вахрушина М.А. Бухгалтерский управленческий учет. М.: ЗАО «Финстатинформ», 1999. 359 с.

5. Демура Н.А. К вопросу о классификации факторов экономического роста и развития // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 5. С. 130-134.

6. Демура Н.А. К вопросу об оценке экономического развития предприятия // Социально-гуманитарные знания. 2013. №12. С. 357-364.

7. Демура Н.А. Основные подходы к управлению развитием предприятия // Социально-гуманитарные знания. 2014. №8. С. 266-273.

8. Демура Н.А. Стратегическое управление экономическим развитием // Социально-гуманитарные знания. 2013. №12. С. 365-371.

9. Карпова Т.П. Управленческий учет: Учебник для вузов. М.: Аудит, ЮНИТИ, 1998. 350 с.

10. Кузнецова И.А., Мухин А.Н. К вопросу о классификации затрат на промышленных предприятиях. Губкин: ИП Уваров В.М., 2008. 259 с.

11. Кузнецова И.А., Яценко Н.Г., Мухин А.Н. Некоторые вопросы распределения косвенных затрат. Белгород: Изд-во БГТУ, 2007. 179 с.

12. Лебедев В.Г., Дроздова Т.Г., Кустарев В.П. Управление затратами на предприятии / Под общ. ред. Г.А. Краюхина. СПб.: Издательский дом «бизнес – пресса», 2000. 277 с.

13. Манн Р. Майер Э. Контроллинг для начинающих / Пер. с нем. Ю. Г. Жукова; под ред. и с предисл. д-ра экон. наук В. Б. Ивашкевича.- 2-е изд., перераб. и доп. М.: Финансы и статистика, 1995. 304 с.

14. Мацкевичуса И.С., Кальчинскаса Г.П. Управление затратами в АСУП. М.: Финансы и статистика, 1989. 221 с.

15. Николаева С. А. Особенности учета затрат в условиях рынка: система «директ – костинг»: Теория и практика. М.: Финансы и статистика,1993. 128 с.

16. Рудычев А.А. Стратегическое развитие промышленного предприятия: теория, методология, практика. Белгород: Изд-во БГТУ, 2006. 192 с.

17. Рудычев А.А., Гетманцев А.А. Проблемы оценки инновационного потенциала промышленного предприятия // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. № 4. С. 131-132.

18. Рудычев А.А., Слабинская И.А., Доможирова О.В., Гавриловская С.П. Проблемы оптимизации затрат на предприятиях с комплексным использованием сырья. Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. 143 с

Demura N.A., Yarmolenko L.I.

COST MANAGEMENT AS A PREREQUISITE FOR ECONOMIC DEVELOPMENT ORGANIZATIONS

It is established , that in modern economic literature there are different approaches to classification of costs: the first is to carry out a detailed classification of the second - enlarged. It was systematized and the classification of costs in the management of economic development of the enterprise, the basic principles and functions of cost management system. An attempt was made to give a definition of cost management in the economic development of the enterprise.

Key words: *economic development, costs, cost management system, the classification of costs.*

Слабинская И.А., д-р экон. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

СОВРЕМЕННАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ФИНАНСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ

slabinskaja@intbel.ru

В статье раскрыта сущность финансовой устойчивости и факторы ее определяющие. Изложены разные точки зрения экономистов и практиков по вопросу понимания финансовой устойчивости. Рассмотрены методы оценки финансовой устойчивости и информационное обеспечение.

Ключевые слова: *устойчивость, стабильность, финансовая устойчивость, структура капитала, факторы финансовой устойчивости, методы оценки финансового состояния, информационные ресурсы, классификация признаков финансовой устойчивости.*

Одной из важнейших целей управления организацией является создание условий для ее стабильного и устойчивого развития. При этом залогом выживаемости и основой стабильности хозяйствующего субъекта в рыночных условиях служит его финансовая устойчивость.

В ходе всей финансово-хозяйственной деятельности осуществляется непрерывный кругооборот капитала, изменяются структура средств, наличие и потребность в финансовых ресурсах, а значит и финансовое состояние организации, проявлением которого является платежеспособность, способность к расширенному воспроизводству и финансовая устойчивость. То есть финансовая устойчивость является неотъемлемой характеристикой финансового состояния организации и без него теряет свой экономический смысл. При этом следует отметить, что если платежеспособность – это внешнее проявление финансового состояния, то финансовая устойчивость – его внутренняя сторона, отражающая сбалансированность денежных потоков, доходов и расходов, средств и источников формирования.

До сих пор понятие «устойчивость» не имеет единого определения и трактования. Наиболее общее определение принадлежит Брюнланду Г.Г. и впервые оно было употреблено Всемирной комиссией по окружающей среде и развитию, где под устойчивостью понималась «возможность настоящего поколения удовлетворять свои потребности без ущемления возможности будущих поколений удовлетворять их потребности». В других сферах этот термин используют для обозначения долгосрочного роста, обеспечивающего жизнеспособность и стратегию выживаемости организации в будущем.

В то же время – это довольно противоречивая категория, вокруг которой до сих пор идет много разговоров и споров. Многие экономисты и практики считают, что устойчивость, в современном понимании, вообще недостижима. При этом положительный эффект дискуссий вокруг данного понятия заключается в том, что они помогают организациям сосредоточиться на долгосрочных последствиях принимаемых ими решений. Согласно общей теории систем, способность системы сохранять свои параметры и нормально функционировать, несмотря на влияние различных воздействий, называется устойчивостью системы. Применительно к финансам организации это определение звучит следующим образом: устойчивое состояние системы финансов – это такое состояние, которое способно сохраняться неизменным под воздействием влияния различных факторов.

Ниже мы более подробно остановимся на разных толкованиях финансовой устойчивости. Так, большая часть ученых экономистов оценивают устойчивость организации как финансовое состояние предприятия, хозяйственная деятельность которого обеспечивает в нормальных условиях выполнение всех его обязательств перед работниками, другими организациями, государством благодаря достаточным доходам и соответствию доходов и расходов.

С точки зрения Канке А.А., финансовая устойчивость – это определенное состояние счетов организации, гарантирующее ее постоянную платежеспособность. Она служит характеристикой, свидетельствующей о стабильном превышении доходов над расходами, свободном маневрировании денежными средствами и эффективном их использовании в бесперебойном процессе производства и продажи продукции.

Вахрушина М.А. считает, что под финансовой устойчивостью следует понимать способность наращивать достигнутый уровень деловой активности и эффективности бизнеса, гарантируя при этом платежеспособность, повышая инвестиционную привлекательность в границах допустимого уровня риска. Похожего мнения придерживается Алексеева А.И., которая рассматривает финансовую устойчивость организации как такое состояние ее финансовых ресурсов, их распределение и использование, которое обеспечивает развитие организации на основе роста прибыли и капитала при сохранении платежеспо-

собности и кредитоспособности в условиях допустимого риска [4].

Савицкая Г.В. характеризует финансовую устойчивость как способность субъекта хозяйствования функционировать и развиваться, сохранять равновесие своих активов и пассивов в изменяющейся внутренней и внешней среде, гарантирующее его постоянную платежеспособность и инвестиционную привлекательность в границах допустимого уровня риска.[4].

Следует отметить, что многие экономисты утверждают, что устойчивое финансовое состояние достигается при достаточном уровне собственного капитала, рентабельности с учетом операционного и финансового риска, хорошем качестве активов, достаточности ликвидности, стабильных доходах и широких возможностях привлечения заемных средств.

Для обеспечения же финансовой устойчивости организация должна обладать достаточно гибкой структурой капитала, уметь рационально его использовать так, чтобы обеспечить постоянное превышение доходов над расходами с целью сохранения платежеспособности и создания благоприятных условий и возможностей для самофинансирования.

Донцова Л.В. и Никифорова Н.А. считают, что финансовая устойчивость – это характеристика стабильности финансового положения предприятия, обеспечиваемая высокой долей собственного капитала в общей сумме используемых им финансовых средств [8].

Селезнева Н.Н., А.Ф. Ионова определяют финансовую устойчивость организации как состояние ее финансовых ресурсов, их распределение и использование, которое обеспечивает развитие организации на основе роста прибыли и капитала при сохранении платежеспособности в условиях допустимого уровня риска [11].

Банк В.Р., Банк С.В., Тараскина А.В. финансовую устойчивость предприятия рассматривают как такое состояние его финансовых ресурсов, их распределение и использование, которые обеспечивают в условиях допустимого риска бесперебойное функционирование, достаточную рентабельность и возможность рассчитаться по обязательствам в установленные сроки [1].

Бендерская О.Б. и Слабинская И.А. понимают финансовую устойчивость как способность предприятия сохранять нормальное финансовое состояние в условиях воздействия отрицательных факторов. При этом финансовая устойчивость предприятия выступает как одно из проявлений сложившегося финансового состояния, признак отличного финансового состояния предприятия (при условии, что у предприятия имеется платежеспособность и способность к расширенному воспроизводству) [3].

Бочаров В.В. характеризует содержание финансовой устойчивости прежде всего эффективным формированием и использованием денежных ресурсов, необходимых для нормальной производственно-коммерческой деятельности [5].

Гиляровская Л. Т., Вехорева А.А. считают, что финансовая устойчивость отражает стабильное превышение доходов над расходами и состояние финансовых ресурсов, которое обеспечивает свободное маневрирование денежными средствами организации и путем их эффективного использования способствует бесперебойному процессу производства и продажи продукции, расширению и обновлению. Она отражает соотношение собственного и заемного капитала в результате текущей, инвестиционной и финансовой деятельности, соотношение мобильных и иммобилизованных средств организации, достаточное обеспечение запасов собственными источниками [7].

Согласно мнению Шеремет А.Д., сущностью финансовой устойчивости является такое состояние финансов, которое гарантирует его постоянную платежеспособность и отражает уровень риска деятельности [14].

Бочаров В.В. и ряд других авторов под финансовой устойчивостью прежде всего понимают обеспеченность запасов источниками их формирования и содержания [5].

Соглашаясь с точкой зрения вышеперечисленных экономистов, мы считаем, что финансовая устойчивость характеризует стабильность деятельности организации в свете долгосрочной перспективы и прежде всего связана с формированием финансовой структуры организации, степенью ее зависимости от внешних кредиторов, инвесторов и других контрагентов. Финансовая устойчивость хозяйствующего субъекта – это его способность непрерывно осуществлять основные и прочие виды деятельности в условиях возможного риска и изменяющейся среды бизнеса с целью максимизации благосостояния собственников, укрепления конкурентных преимуществ организации с учетом соблюдения интересов работников и общества.

Если положение организации финансово устойчиво и платежеспособно, то она имеет ряд преимуществ перед своими конкурентами в выборе поставщиков и подрядчиков, в подборе квалифицированных кадров, а также для получения кредитов и займов, привлечения инвестиций и т.д. Известно. что чем выше ее устойчивость, тем больше независимость организации от неожиданного изменения рыночной инфраструктуры и, следовательно, тем ниже возможный

риск оказаться на грани банкротства. И обратная ситуация, недостаточная финансовая устойчивость может привести к неплатежеспособности организации и отсутствию у нее средств для дальнейшего развития и расширения производства, а избыточная – будет препятствовать развитию, усиливая затраты содержанием излишних запасов и резервов. В этой связи определение финансовой устойчивости организации и ее границ, критериев и системы показателей, ее измеряющих и оценивающих, а также влияющих на нее факторов относятся к числу наиболее важных аналитических проблем в современных условиях.

Поэтому анализ финансовой устойчивости организации является важнейшим направлением анализа финансового состояния. Он обеспечивает своевременное поступление необходимой информации и является основой принятия своевременных решений. Данный анализ на ту или иную дату позволяет выяснить, насколько рационально организация управляла своими финансовыми ресурсами, куда в первую очередь были вложены источники собственных средств, как эффективно использовались заемные средства и др.

Следовательно, анализ финансовой устойчивости выполняет две основные функции: информационную и аналитическую, связанные с разработкой и обоснованием управленческих решений. Также он позволяет решать следующие важнейшие задачи:

– обнаружение скрытых резервов и разработка вариантов их мобилизации;

– обоснование вариантов стратегического развития организации.

В экономической литературе финансовую устойчивость оценивают по разным показателям. Ее индикаторы можно классифицировать на статичные и динамичные. Статичные признаки позволяют зафиксировать финансовое состояние на определенную отчетную дату. К ним можно отнести показатели, характеризующие структуру капитала, равновесие отдельных групп активов и пассивов, ликвидность баланса.

Динамичными же признаками финансовой устойчивости являются показатели деловой активности, которые проявляются в устойчивой тенденции генерирования прибыли, в ускорении оборачиваемости активов и капитала и эффективности их использования. При этом положительная динамика данных показателей обеспечивает устойчивое финансовое состояние в перспективе.

В современных условиях экономические субъекты сталкиваются с действием множества разнообразных факторов. Так, устойчивость организации зависит от различных внешних и внутренних факторов. К внутренним факторам относят:

– специфику производства и отраслевую принадлежность;

– структуру производства, оказываемых и выполняемых работ;

– имущественную принадлежность;

– состав и структуру финансовых ресурсов;

– состав и динамику доходов и расходов;

– величину оплаченного уставного капитала и собственных оборотных средств, находящихся в хозяйственном обороте.

К внешним факторам относят:

– фазу стабильного экономического цикла;

– уровень, динамика, колебания платежеспособного спроса;

– конкуренцию на рынке;

– банкротство должников, неплатежи;

– инфляцию, изменения цен и курса валют;

– экономическую (учетная, налоговая, финансово-кредитная, инвестиционная) политику.

В зависимости от того, как организация справляется с данными противодействиями, зависит ее конкурентоспособность на рынке. При этом способность быстро и гибко реагировать на изменения внутренней и внешней среды является ее конкурентным преимуществом, которое позволяет достигать поставленных целей.

В литературе достаточно подробно рассмотрены факторы финансовой устойчивости, классифицированные по следующим признакам:

– по важности результата (основные и второстепенные);

– структуре (простые и сложные);

– времени действия (постоянные и временные).

Для оценки финансовой устойчивости используются следующие методики:

– по обеспеченности запасов источниками их финансирования;

– соотношению финансовых и нефинансовых активов;

– соотношению собственного и заемного капитала;

– запасу финансовой устойчивости;

– набору финансовых коэффициентов.

Анализ коэффициентов является наиболее распространенным приемом экономического анализа в связи с простотой их расчетов и наглядностью получаемых результатов. Однако достаточно большое количество разработанных ныне коэффициентов в ряде случаев приводят не к однозначной оценке результатов анализа, что вызывает необходимость их систематизации и классификации при анализе различных направлений деятельности организации.

Важным информационным ресурсом для

обеспечения процессов управления деятельностью организации являются данные бухгалтерского учета, и бухгалтерской, управленческой и налоговой отчетности. При этом бухгалтерская информация в настоящее время достаточно широко используется для планирования, прогнозирования, выработки тактики и стратегии деятельности организации.

Таким образом, задача анализа бухгалтерской информации заключается в умении ее читать, понимать и интерпретировать в целях принятия необходимых управленческих решений. Такой анализ является необходимым условием успешного управления деятельностью организации, так как именно сегодня данные бухгалтерского учета создают наиболее достоверную базу для наиболее комплексной характеристики финансового положения организации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Банк В.Р., Банк С.В., Тараскина А.В. Финансовый анализ: учебное пособие. М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2005. 344 с.

2. Батьковский А.М. Совершенствование и анализ финансовой устойчивости предприятия // Аудит и финансовый анализ. 2011. № 5.

3. Бендерская О.Б., Слабинская И.А. Анализ и диагностика финансово-хозяйственной деятельности предприятия. Белгород: Изд-во БГТУ, 2011.

4. Бендерская О.Б., Чижова Е.Н. Устойчивость организации и механизма ее обеспечения: монография. СПб.: Химиздат, 2005. 244 с.

5. Бочаров В.В. Финансовый анализ. СПб.: Питер, 2006. 240 с.

6. Бурцев А.Л. Современные методы и приемы анализа и прогнозирование финансовой устойчивости организации // Аудит и финансовый анализ. 2010. № 1.

7. Гиляровская Л.Т., Вехорева А.А. Анализ и оценка финансовой устойчивости коммерческого предприятия. СПб.: Питер, 2003, 256 с.

8. Донцова Л.В., Никифорова Н.А. Анализ финансовой отчетности. М.: Дело и сервис, 2005. 368 с.

9. Кравченко Л.Н. Подходы к определению сущности финансовой устойчивости, ее виды и формы проявления // Белгородский экономический вестник, 2013. № 4 (72). С.84–91.

10. Савицкая Г.В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия: учебник. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2009. 536 с.

11. Селезнева Н.Н., Ионова А.Ф. Финансовый анализ: учебное пособие. М.: Юнити-Дана, 2001. 479 с.

12. Слабинская И.А., Кравченко Л.Н. Об особенностях методики финансового анализа неплатежеспособных организаций // Белгородский экономический вестник. 2012. № 1 (65). С. 82–88.

13. Слабинская И.А., Кравченко Л.Н. Анализ финансовой отчетности: учебное пособие. Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. 328 с.

14. Шеремет А.Д. Комплексный анализ хозяйственной деятельности. М.: ФИОР, 2009. 254 с.

Slabinskaya I.A.

MODERN INTERPRETATION OF FINANCIAL STABILITY OF THE ORGANIZATION

In the article essence of finansovy stability is exposed and factors its determining. The different points of economists and practical workers are expounded through question of understanding of financial stability and informative providing are considered.

***Key words**: stability, financial stability, capital structure, factors of financial stability, methods of estimation of the financial state, classification of signs of financial stability.*

Шаптала В.Г., д-р техн. наук, проф.,
Радоуцкий В.Ю., канд. техн. наук, проф.,
Ветрова Ю.В., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛ И СРЕДСТВ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

zchs@intbel.ru

Данная статья посвящена актуальной в настоящее время теме – оптимального распределения сил и средств, предназначенных для ликвидации чрезвычайных ситуаций. В статье разработаны: алгоритмы по поиску состава оптимальной группировки формирований по ликвидации чрезвычайных ситуаций, и алгоритм для отыскания плана ликвидации удовлетворяющего условию «минимальные затраты за приемлемое время».

Ключевые слова: *алгоритм, чрезвычайная ситуация, формирования, оптимальная группировка, план ликвидации, затраты.*

Введение. В настоящее время проблема моделирования развития чрезвычайных ситуаций (ЧС) и процессов управления её ликвидацией ведется по нескольким направлениям.

Широкое применение для моделирования оперативного управления в условиях ЧС получил системны подход и экспертные системы реального времени, которые используются в качестве инструмента интеллектуальной поддержки процесса принятия решений. Эти системы путем интерпретации старых знаний могут генерировать новые знания, распознавать ситуацию и формировать соответствующее управленческое решение [1].

Для моделирования ЧС и процессов управления в условиях ЧС применяется так же ситуационный метод, на на основе которого был разработан сценарный подход к прогнозированию развития ЧС. Сущность данного подхода состоит в предварительном расчете последствий и плана ликвидации чрезвычайных ситуаций [2].

Недостатком всех рассмотренных выше подходов является слабое внимание к динамике развития ЧС и недостаточный учет особенностей развития ЧС в моделях управления и ликвидации ЧС.

Поэтому для эффективной ликвидации ЧС необходима система оперативного управления аварийно спасательными работами, которая должна обладать следующими свойствами: высокая маневренность; способность быстро и адекватно реагировать на изменение ситуации; способность к адаптации путем изменения своей организационной структуры, алгоритмов принятия решений; способность быстро обрабатывать большие объемы информации [3].

Основная часть. Вопросы выбора оптимального состава сил и средств для ликвидации последствий ЧС, а так же вопросы оптимального распределения ликвидационных задач между отдельными формированиями остается до настоящего времени малоразработанными. Не разработаны так же методы анализа затрат, необходимых для ликвидации ЧС. Перспективным направлением решения этих задач является использование математического моделирования и информационных
технологий [4].

Пусть известны координаты (x_0, y_0) места ЧС, количественный показатель W необходимого объема работ по ликвидации ЧС, множество $C = \{C_1, C_2, \ldots, C_A\}$ формирований, предназначенных для ликвидации, функция λ ((x_0,y_0), …(x_k, y_k)), определяющая время в пути каждого формирования. Составим матрицу Λ, i-ая строка которой описывает характеристически i-го формирования.

$$\Lambda=\begin{vmatrix} w_1 t_1^0 x_1^k y_1^k z_1^p z_1^n \\ w_2 t_2^0 x_2^k y_2^k z_2^p z_2^n \\ - - - - - - \\ - - - - - - \end{vmatrix}, \qquad (1)$$

где w – производительность формирования в единичных объемах работы в час, t^0 – время приведения формирования в полную готовность с учетом времени на принятие решения;(x^k, y^k) – координаты местонахождения формирования;z^p – затраты формирования за 1 час ликвидационных работ;z^n – затраты формирования на 1 час пути.

Анализ особенностей протекания техногенных ЧС в учреждениях, и в том числе и в ВУЗах, показывает что обеспечить минимальные потери можно лишь при максимально быстром проведении аварийно-спасательных и других неотложных работ [5]. Отсюда следует, что в качестве критерия эффективности проведения ликвидации ЧС можно выбрать скалярный параметр «Время ликвидации» [6]. Оптимизация процесса ликвидации ЧС заключается в отыскании векто-

ра загрузки формирований $V = (v_1, v_2, \ldots, v_A)$ минимизирующего суммарное время $t_{общ}$ на выполнение ликвидационных мероприятий и необходимые для этого затраты:

$$t_{общ} \to \min \qquad (2)$$

$$Z_{общ} = \sum_{i=1}^{A} (z_i^{П} t_i^{П} + z_i^{P} \cdot \frac{V_i}{w_i}) \to \min \qquad (3)$$

при ограничениях:

$$V_i \geq 0;\ i = (1, A);\ \sum_{i=1}^{A} V_i = W \qquad (4)$$

Здесь $t_i^{П}$ – время, затраченное i-ым формированием на выдвижение к месту ЧС; w_i – производительность i-го формирования.

Зависимость общей производительности группировки ликвидационных формирований от времени имеет вид :

$$W_{сумм}(t) = \sum_{i \in M} w_i \qquad (5)$$

где M – множество номеров формирований, успевших прибыть на место ЧС к моменту времени t. Время $t_i^{П}$ прибытия i-го формирования к месту ЧС зависит от степени его готовности и расстояния, поэтому формирования включаются в работу не все сразу, а постепенно- по мере прибытия.

Характер зависимости $W_{сумм}(t)$ показан на рис. 1.

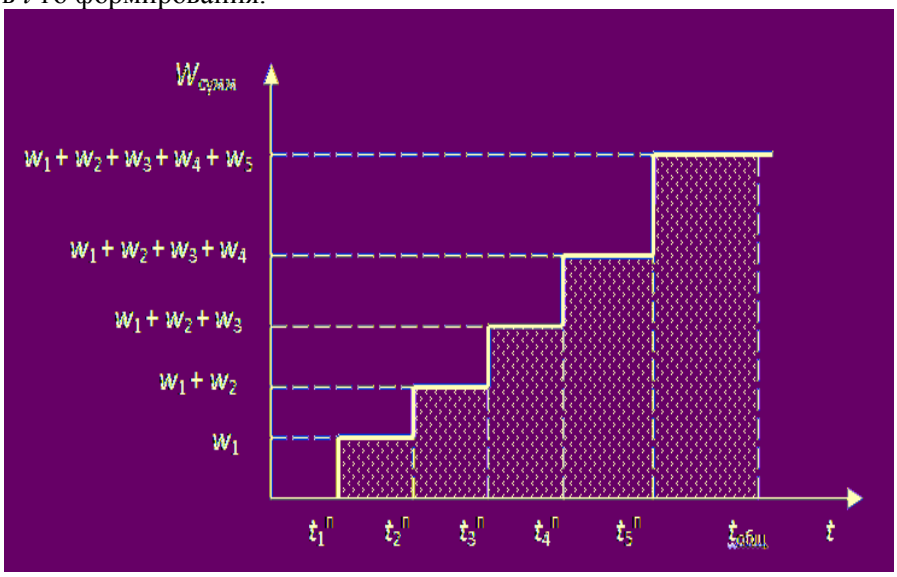


Рис. 1. Вид зависимости $W_{сумм}(t)$

Площадь ступенчатой фигуры $S(t)$ соответствует объему выполненной работы

$$W = S(t_{общ}) = \sum_{i \in M} w_i (t_{общ} - t_i^{п}) = \sum_{i \in M} w_i t_{общ} - \sum_{i \in M} w_i t_i^{п} = t_{общ} \sum_{i \in M} w_i - \sum_{i \in M} w_i t_i^{п}. \qquad (6)$$

Отсюда

$$t_{общ} = \frac{W + \sum w_i t_i^{п}}{\sum_{i \in M} w_i}. \qquad (7)$$

Предположим, что в ликвидации ЧС в ВУЗе могут участвовать пять аварийно-спасательных формирований, характеристики которых приведены в таблице 1. Минимизация $t_{общ}$ сводится к поиску множества M номеров формирований, наиболее эффективно участвующих в ликвидации ЧС в ВУЗе.

Таблица 1

Исходные данные по аварийно-спасательным формированиям

Формирование	Время прибытия $t_i^{п}$, мин.	Производительность, м^3/мин.	Затраты на выдвижение $z^{п}$, руб./мин.	Затраты на ликвидацию $z^{р}$, руб./мин.

Поиск состава оптимальной группировки формирований может быть выполнен по следующему алгоритму:

1. Проранжируем формирования в порядке возрастания времени их прибытия к месту ЧС. Получим упорядоченную последовательность формирований, в начале которой находится самое «близкое», а в конце – самое «дальнее» формирование.

2. Построим диаграмму, приведенную на рисунке 1.

3. Вычислим $S(t)$ для $t = t_1^{п} + \Delta t$, где $0 \leq \Delta t \leq t_2^{п} - t_1^{п}$. Получим $S(t) = w_1(t_2^{п} - t_1^{п})$ – объем ликвидационных работ, выполненных

первым прибывшим на место ЧС формированием.

4. Вычислим $S(t)$ для $t = t_2^{\text{п}} + \Delta t$, где $0 < \Delta t < t_3^{\text{п}} - t_2^{\text{п}}$. Получим $S(t) = w_1(t_2^{\text{п}} - t_1^{\text{п}}) + (w_1+w_2)(t_2^{\text{п}} - t_1^{\text{п}})$.

5. Аналогично продолжаем расчет $S(t)$ последовательно для периодов $t \in (t_i^{\text{п}}, t_{i+1}^{\text{п}})$ до момента, когда $S(t) \geq W$. Номер шага $n_{\text{м}}$, на котором будет выполнено данное условие, соответствует номеру последнего формирования, успешного к ликвидации ЧС.

6. Находим $t_{\text{общ}}$, подставив в формулу (7) номера формирований, участвовавших в ликвидации ЧС.

7. Искомый вектор загрузки формирований

$$V = (v_1, v_2, \ldots, v_{\text{A}})$$

примет вид:

$$v_i = \begin{cases} w_i\left(t_{\text{общ}} - t_i^{\text{П}}\right), & i \in M \\ 0, & i \notin M \end{cases} \qquad (8)$$

В случае, когда стратегия ликвидации ЧС определяется как «минимальные затраты за приемлемое время» распределение загрузки формирований ищется в соответствии с условиями:

$$t_{\text{общ A}} \leq t_{\text{фикс}}$$

$$Z_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^{\text{A}} \left(z_i^{\text{П}} t_i^{\text{П}} + z_i^{\text{П}} \frac{V_i}{w_i}\right)$$

$$V = \left\{ \begin{matrix} w_1\left(t_{\text{фикс}} - t_1^{\text{П}}\right),\ w_2\left(t_{\text{фикс}} - t_2^{\text{П}}\right), 0, \ldots, 0 \\ w_1\left(t_{\text{фикс}} - t_1^{\text{П}}\right),\ w_2\left(t_{\text{фикс}} - t_2^{\text{П}}\right),\ w_3\left(t_{\text{фикс}} - t_3^{\text{П}}\right), 0, \ldots, 0 \end{matrix} \right\}, \qquad (13)$$

Рассчитывая на каждом шагу W_i.

При выполнении условия $W_i \geq W$ переходим к шагу 4, имея в виду, что $\alpha = i$

4. Искомый вектор загрузки формирований $V = (v_1, v_2, \ldots, v_{\text{A}})$ тогда примет вид:

$$v_i = \begin{cases} W_i\left(t_{\text{фикс}} - t_i^{\text{П}}\right), i < \alpha \\ W - \sum_{i=1}^{\alpha-1} v_i, \quad i = \alpha \\ 0, \quad i > \alpha \end{cases} \qquad (14)$$

Оптимальность найденных векторов загрузки (8) и (14) доказывается тем, что при замещении любого формирования, входящего в найденную группировку, другим, не входящем в неё, происходит ухудшения плана ликвидации ЧС по соответствующим критериям.

Вывод. На основе проведенных выше алгоритмов может быть разработана информацион ная система поддержки решений по оптимальному распределению сил и средств, привлекаемых для ликвидации последствий ЧС в учреждениях высшего профессионального образования.

Общее время ликвидации ЧС должно быть зафиксировано, иначе решением задачи будет, назначение всего объема работ самому экономичному формированию.

Для отыскания плана ликвидации, удовлетворяющего условиям (9), может быть использован следующий алгоритм:

1. Проранжируем все формирования в порядке возрастания величины удельных затрат на ликвидацию ЧС, которые вычисляются по формуле:

$$Z_i^{\text{уд}} = \frac{z_i^{\text{П}} t_i^{\text{П}} + z_i^{\text{Р}} (t_{\text{фикс}} - t_i^{\text{П}})}{w_i\ (t_{\text{фикс}} - t_i^{\text{П}})}. \qquad (10)$$

Исходя из полученной таким образом упорядоченной последовательности формирований, подберем группировку формирований, способной за время $t_{\text{фикс}}$ выполнить объем работ W с минимальными затратами. Для этого :

2. Вычислим объем выполненных за время $t_{\text{фикс}}$ работ для распределения нагрузки:

$$V = (w_1\ (t_{\text{фикс}} - t_1^{\text{П}}), \ldots, 0), \qquad (11)$$

в котором номера формирований упорядочены по удельным затратам. Получим:

$$W_1 = v_1 = w_1\ (t_{\text{фикс}} - t_1^{\text{П}}). \qquad (12)$$

3. Если $W_1 < W$, то повторяем шаг 2 для векторов загрузки:

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Акимов В.А., Лесных В.В., Радаев Н.Н. Основы анализа и управления в природной и техногенных сферах. М.: ЗАО «Деловой экспресс». 2004. 437 с.

2. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры. М.: Физматлит. 2002. 320 с.

3. Шаптала В.Г., Радоуцкий В.Ю., Шаптала В.В. Основы моделирования чрезвычайных ситуаций. Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. 166 с.

4. Шаптала В.Г., Радоуцкий В.Ю., Шаптала В.В. Системы информационной поддержки принятия управленческих решений при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций органами управления ВУЗа // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. №3. С. 91-93.

5. Ямалов И.У. Моделирование процессов управления и принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций. М.: Лаборатория базовых знаний. 2009. 288 с.

6. Шаптала В.Г., Радоуцкий В.Ю. Математическое моделирование, как инструмент анализа и прогнозирования чрезвычайных ситуаций // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. №1. С. 161-164.

Shaptala V.G., Radoutskiy V.Y., Vetrova Y.V.

DEVELOPMENT OF ALGORITHMS OF OPTIMUM DISTRIBUTION OF FORCES AND MEANS INTENDED FOR ELIMINATION OF CONSEQUENCES OF EMERGENCY SITUATIONS

This article is devoted to a subject actual now – optimum distribution of forces and means intended for elimination of emergency situations. In article algorithms on search of structure of optimum group of formations in elimination of emergency situations, and algorithm for search of the plan of elimination meeting a condition "the minimum expenses for the acceptable time" are developed.

***Key words**: algorithm, emergency situation, formation, optimum grouping, elimination plan, expenses.*

Череповская Н.А., канд. экон. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

НОВЫЕ ПОДХОДЫ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ В СФЕРЕ БИОТЕХНОЛОГИЙ

cherepovskaya@bsu.edu.ru

В настоящее время на территории Белгородской области формируется перспективное направление в сфере биотехнологий. Их формирование в биотехнологический кластер позволит стать недостающим связующим звеном между уже функционирующими региональными отраслями и сформированными кластерами на территории региона. Данный кластер позволит сделать переход к непрерывному инновационному процессу отраслей, востребованных экономикой региона. В ходе исследований выявлены факторы необходимости использования биотехнологий на территории региона. Проведен анализ действующих проектов, отвечающих требованиям формирующегося биотехнологического кластера на территории области, который даст возможность промышленному производству перейти на качественно новый уровень, способствующий импортозамещению товаров и услуг.

Ключевые слова: *биотехнологии, биотехнологический кластер, инновационное развитие, импортозамещение, биоэнергетика.*

Введение. Для Белгородской области развитие биотехнологий определено как перспективное направление. На сегодняшний день при поддержке регионального правительства в процесс формирования биотехнологического кластера включены отрасли животноводства, и птицеводства, интенсивно развивающиеся на территории региона. Данный кластер позволит сделать переход к непрерывному инновационному процессу большинству отраслей, востребованных экономикой. Промышленное производство Белгородской области должно перейти на качественно новый уровень к экологически чистым и безотходным технологиям. Прогрессы технологий переработки информации, систем телекоммуникаций, финансовых технологий повлечет за собой дальнейшую глобализацию экономики, формирование единого мирового рынка товаров, услуг, капитала, труда.

Немаловажной причиной для создания биотехнологического кластера в Белгородской области является его востребованность на общенациональном уровне.

Российские производители на данный момент применяют биотехнологии, которые не отвечают современному мировому уровню [3].

По оценкам, мировой рынок биотехнологий в 2025 году достигнет уровня в 2 трил. долларов США, темпы роста по отдельным сегментам рынка колеблются от 5…7 до 30 % ежегодно. Доля России на рынке биотехнологий составляет на сегодняшний день менее 0,1 %, а по ряду сегментов (биоразлагаемые материалы, биотопливо) практически равна нулю.

Поэтому для Российской Федерации в сфере биотехнологий свойственна высокая импортозависимость, поскольку прослеживается отставание объемов производства от уровня спроса и темпов роста стран. Со стороны потребителей происходит увеличение спроса на традиционную биотехнологическую продукцию, такую, как лекарственные препараты, кормовые добавки, производство которых недостаточно для российского рынка.

На сегодняшний день потребителями продукции биотехнологии являются преимущественно высокоразвитые страны: США, Канада, Япония и Европейский Союз. Однако в последнее десятилетие присоединились развивающиеся страны: Китай, Индия, Бразилия, реализуют масштабные программы развития по всему спектру биотехнологий [2].

Именно биотехнологический кластер, отвечающий требованиям шестого технологического уклада, сможет стать недостающим связующим звеном между уже функционирующими региональными отраслями и сформированными кластерами, взаимодействие между которыми сегодня определяется личностными отношениями партнеров по бизнесу.

Информация о новых знаниях, технологиях ограничивается внутри кластера только тем направлением, на базе которого существует кластер. Происходит ограничение в доступе информации по причинам незаинтересованности или ограничения рамками поставленных задач, сложности получения информации или неиспользования рядом кластеров, расположенных на территории региона, совместно инфраструктуры. Хотя внутри кластера конкуренция между участниками обостряется, с целью производства продукции, отвечающей требованиям рынка, это не дает той важной составляющей для целостного видения инновационного развития экономики региона [4].

Основная часть. Важной причиной для создания биотехнологического кластера в Белгородской области является его исключительно

инновационная направленность. Возможность взаимодействия предприятий различных территориальных кластеров внутри биотехнологического кластера позволит не только повысить уровень инновационного развития региона, но и получить тот синергетический эффект для экономики, который традиционно ожидается для кластеризации.

Задачей функционирования биотехнологического кластера как инновационного станет объединение малых и крупных предприятий, различных корпораций, венчурных фондов, университетов и исследовательских центров. Биотехнологический кластер Белгородской области явится тем микроклиматом, в котором будет протекать активный, заинтересованный, высокоинтеллектуальный процесс создания инноваций, при условии привлечения необходимой инфраструктуры.

В результате тесного взаимодействия разных компаний и университетов произойдет синергетический эффект для экономики. Данный эффект предрасположен к созданию инноваций и позволит с высокой скоростью и достаточно эффективно участникам кластера в различных отраслях научным центрам, проектно-конструкторским организациям и предприятиям среднего и малого бизнеса применять высокие технологии. В свою очередь, это повлечет рост производства инновационного продукта, а спрос на него будет способствовать притоку денежных средств в регион.

Таким образом, создание и развитие биотехнологического кластера в Белгородской области вызвано следующими факторами:

1. необходимость решения ряда внутренних экономических проблем области (сложная экологическая ситуация, высокие цены на импортные ветеринарные препараты и добавки к комбикорму, дефицит воды и электроэнергии);

2. важность перехода к инновационному развитию экономики региона;

3. целесообразность создания связующего звена между функционирующими в регионе кластерами для получения синергетического эффекта кластеризации;

4. востребованность биотехнологического кластера и его продукции на общероссийском уровне.

Важно отметить, что в области уже реализуются отдельные проекты, которые могли бы стать логичной составляющей биотехнологического кластера. Так, в области получила институциональную поддержку региональная программа, создан Совет при Губернаторе области по биотехнологиям.

В данной сфере в области реализуется проект по развитию альтернативной энергетики и осуществляется поддержка проектов по использованию возобновляемых источников энергии. На сегодняшний день введены в эксплуатацию ветрогенераторы, солнечные батареи и биогазовая станция.

Развитие биоэнергетики в области создает благоприятные условия для привлечения инвестиций, ввода новых рабочих мест, а также позволяет решать вопросы дефицита электроэнергии, поскольку самостоятельное производство электроэнергии в регионе составляет всего 5%, а остальные объемы приходится закупать.

Белгородская область для решения вопроса о дефиците электрической энергии большое внимание уделяет современным разработкам в области возобновляемых и альтернативных источников электроэнергии. В 2012 году запущена первая в России биогазовая установка, которая в год будет перерабатывать около 75 тыс. тонн сырья, вырабатывать – 19,6 млн. кВтч электрической и 18,2 тыс. Гкал тепловой энергии, а также более 66,8 тыс. тонн высокоэффективных органических удобрений. Таким образом, биогазовая станция позволит улучшить экологию в регионе при помощи утилизации животноводческих отходов и не получать собственную электроэнергию [1].

На перспективу до 2020 года предусматривается в области строительство биогазовых станций до 200 единиц, с вырабатываемой мощностью электроэнергии – около 180 МВт.

ООО «АльтЭнерго» специализируется на проектах по использованию нетрадиционных источников энергии. Одним из первых в 2010 году стали ветроэлектрические установки, номинальной мощностью каждого генератора до 20 кВт. При этом параметры для ветрогенератора должны быть по высоте мачты - 18 метров, размаха лопастей - 10 метров, стартовой скорости ветра: 2,5 м/с, оптимальной скорости ветра – 11,5 м/с, номинальной скорости вращения лопастей турбины – 90 об./мин. А установка солнечных батарей, которые также будут вырабатывать электроэнергию, и сохранять экологию, очень просты для обслуживания, работают автономно и бесшумно с продолжительным сроком службы.

На сегодняшний день введен в строй в Белгородской области ЗАО «Завод Премиксов №1», который является биотехнологическим центром по выпуску аминокислот L–лизин сульфат, пшеничных кормов и пшеничной клейковине и входит в структуру холдинга «Приосколье». Предприятие является единственным в России по производству L–лизин сульфата, на основе

технологии глубокой переработки зерна пшеницы. Производство премиксов в год составляет более 17 тыс. тонн, из них около 30% производимой продукции предназначено для сбыта в другие регионы.

Выводы. В ходе исследования в сфере биотехнологий по внедренным и действующим проектам на территории Белгородской области выявлена актуальность и своевременность новых подходов. Это позволило обосновать необходимость внедрения биотехнологического кластера и сделать выводы:

1. биотехнологический кластер в Белгородской области будет являться недостающим в настоящее время связующим звеном между уже функционирующими региональными кластерами;

2. развитие биотехнологического кластера позволит максимально снизить существующие ограничения к доступу информации и будет способствовать перетоку новых знаний и технологий как внутри кластера, так и в действующих и вновь образованных кластерах на территории региона;

3. формирование биотехнологического кластера позволит получить синергетический эффект от кластеризации экономики региона, создаст предпосылки к образованию новых кластеров, отвечающих требованиям шестого технологического уклада;

4. биотехнологический кластер объединит перспективные направления развития технологий, создания новых конкурентоспособных товаров и услуг, способствующих импортозамещению;

5. создание биотехнологического кластера в Белгородской области – это переход к непрерывному инновационному развитию отраслей в регионе, способствующему формированию подготовки квалифицированных кадров, востребованных экономикой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1.Биогазовая станция «Байцуры» [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: http://www.biogas-rcb.ru/projects/otkryitie-stanczii/(дата обращения: 12.04.2015).

2.ВП-П8-2322. Комплексная программа развития биотехнологий в Российской Федерации на период до 2020 года: Правительством Российской Федерации от 24 апреля 2012 г.- N 1853п-П8. – Москва. – 2012. – С. 8 // Консультант – плюс: Законодательство: справочная правовая система [Электронный ресурс].

3.О Стратегии развития биотехнологии в Российской Федерации до 2020 года «Стратегия БИО-2020»: общее собрание Союза предприятий биотехнологической отрасли от 9 декабря 2010 года и Центральное Правление Общества биотехнологов России им. Ю. А. Овчинникова от 23 декабря 2010 года. – Москва. – 2010. – С. 27,52.

4.Растворцева С.Н., Череповская Н.А. Приоритеты и формы реализации кластерной политики в российских регионах. Белгород: Изд. КОНСТАНТА, 2013. 206 с.

Cherepovskaya N. A

NEW APPROACHES BELGOROD REGION IN THE FIELD OF BIOTECHNOLOGY

Currently on the territory of Belgorod region is formed a promising direction in the field of biotechnology. The formation of the biotech cluster will become the missing link between the already functioning regional industries and formed clusters in the region. This cluster will allow to make the transition to a continuous innovation process industries demanded by the economy of the region. The study revealed the factors having the use of biotechnology in the region. The analysis of existing projects that meet the requirements of the emerging biotechnology cluster in the region, which will allow industrial production to move to a qualitatively new level, contributing to import substitution of goods and services.

Key words: *biotechnology, biotech cluster, innovative development, import substitution, bioenergy.*

Щенятская М.А., канд. экон. наук,
Наумов А.Е., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ В ЖИЛИЩНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

kafeun@mail.ru

Экономическая эффективность инвестиционных вложений в недвижимость определяется количественными показателями, позволяющими выявить приоритетный объект инвестиций и определить общую эффективность портфеля инвестора. При оценке экономической эффективности инвестиционно-строительных проектов в жилищном секторе подчеркивается сравнительная значимость всех основных показателей оценки инвестиционной привлекательности. При всем возможном многообразии инвестиционных альтернатив, инвестор, работающий на рынке жилья, ограничен в своих инвестиционных решениях рядом технических показателей возводимого жилого объекта и земельного участка. Вследствие этого инвестор, как правило, реализует однотипные по объемно-планировочным и конструктивно-технологическим решениям жилые здания. Эти ограничения весьма строги законодательно и продиктованы сложившимся в крупных городах устойчивым разделением рынка, в связи с чем задача сравнения экономических показателей альтернативных инвестиционных проектов для жилищного инвестора формулируется как задача сравнения экономических показателей структурно и финансово схожих инвестиционных альтернатив. Предлагаемый показатель инвестиционной мощности количественно оценивает структуру финансового профиля проекта на всем горизонте планирования, выступая единым, обобщающим показателем, эффективно ранжирующим альтернативные инвестиционно-строительные проекты.

Ключевые слова: *инвестиции, инвестиции в объекты недвижимости, показатели экономической эффективности инвестиционного проекта, риски, рентабельность, финансирование, чистый дисконтированный доход.*

Введение. Жизненный цикл инвестиционно-строительного проекта состоит из трех основных этапов, имеющих под собой определенные изменения в характере деятельности инвестора и качественно меняющиеся совокупные инвестиционные риски: I этап – инвестиционная стоимость производства, II этап – возврат на инвестированный капитал, III этап – получение планового дохода (рис. 1). Инвестиционные проекты в жилищном строительстве обладают устойчивой спецификой распределения денежных потоков по жизненному циклу, связанной с технологическими особенностями возведения строительных объектов, предельной совокупной ресурсной базой и штатом привлекаемых подрядчиков, устоявшимися на рынке схемами реализации жилья, в том числе на условиях долевого участия.

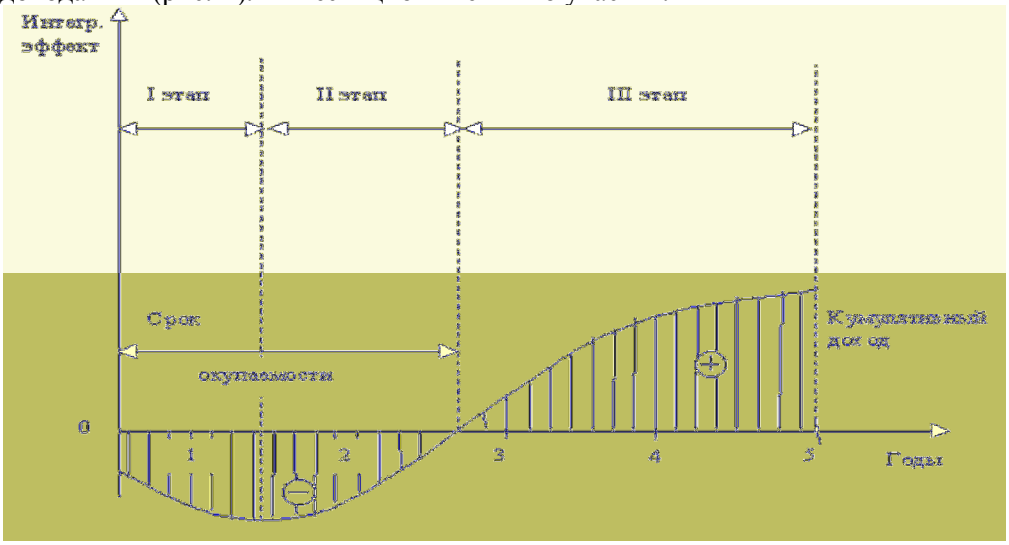


Рис. 1. Жизненный цикл инвестиционно-строительного проекта

В условиях демонстрируемых мировой и российской, в частности, экономикой признаков среднесрочной стабильности и начинающегося возобновления инвестиционной активности в

секторе жилищного строительства инвестор сталкивается с необходимостью оптимизации инвестиционного портфеля, в основе которого лежит сравнение экономической эффективности альтернативных проектов.

При анализе и выборе наиболее привлекательной инвестиционной альтернативы традиционно используются стандартные показатели эффективности, такие как чистая текущая стоимость (NPV), показатель рентабельности (DPI), внутренняя норма доходности (IRR) и срок окупаемости (DPP). Однако ни в среде аналитиков, ни среди практикующих инвесторов не сложилось однозначного и общепризнанного представления о приоритетах данных показателей при оценке экономической эффективности строительных проектов [1, 2].

Показатель NPV в отдельности не может характеризовать инвестиционную привлекательность проекта в полной мере, однако, в силу своей интуитивной доступности и материально ощутимого представления, может в ряде случаев считаться первоочередным в ряду показателей оценки экономической эффективности инвестиций. Одним из основных факторов, определяющих величину NPV проекта, является его масштаб, проявляющийся в объемах денежных потоков. В этой связи большее значение NPV не всегда соответствует более эффективному варианту капиталовложений.

Показатель рентабельности DPI унаследовал от NPV простоту в использовании и содержательность, однако не является аддитивным. В то же время именно показатель DPI дополняет NPV недостающей информацией об уровне доходности вкладываемого капитала, позволяя оценить эффективность инвестиций в сравнении со сложившейся отраслевой рыночной рентабельностью [3, 4].

Отсутствие зависимости от абсолютных размеров инвестиций и богатый интерпретационный смысл делают показатель внутренней нормы доходности *IRR* исключительно удобным инструментом измерения жизнеспособности и условий реализации проекта. В то же время IRR является относительным показателем и не может использоваться при сравнении альтернативных проектов в отрыве от NPV [5]. IRR указывает лишь на предельно допустимую ставку дисконтирования денежного потока при сохранении им итоговой неотрицательной величины. Некоторому значению ставки дисконтирования сравниваемых альтернативных проектов в пределах 0…IRR (т.н. «точке Фишера» $r_Ф$) может соответствовать переход отношения NPV проектов через единицу, т.е. смена лидерства конкурирующих альтернатив по инвестиционной привлекательности.

Показатель срока окупаемости DPP количественно характеризует ликвидность проекта и оборачиваемость инвестиционного капитала, в связи с чем достаточно информативен при схожих сроках реализации и планах денежных потоков инвестиционных альтернатив. В практике жилищного строительного инвестирования проекты с близкими инвестиционными условиями встречаются довольно часто, в связи с чем ориентирование на минимизацию срока окупаемости инвестированного капитала – не только жизнеспособная, но и весьма эффективная инвестиционная стратегия [6, 7].

Таким образом, при оценке экономической эффективности инвестиционно-строительных проектов в жилищном секторе подчеркивается сравнительная значимость всех основных показателей оценки инвестиционной привлекательности. NPV и IRR принципиально различаются содержательно и эффективно дополняют друг друга. Показатель DPI для большинства инвестиционных проектов в жилищном строительстве оказывает существенного влияние на инвестиционное восприятие альтернативных проектов при схожих технических параметрах и организационных условиях строительства. В жилищном инвестировании возрастает значение показателя DPP, как эффективного инструмента оценки ликвидности возводимой недвижимости.

Основная часть. Проведенный В. Галасюком в работе [8] анализ исключительности использования аддитивных (типа X–Y) и мультипликативных (типа X / Y, где X и Y – положительные и отрицательные денежные потоки) показателей оценки экономической эффективности капиталовложений установил невозможность выбора максимально доходного инвестиционного проекта по единому показателю во всех возможных случаях. Тот или иной показатель в определенной степени может считаться приоритетным, когда анализ на его основе обязательно учитывает значения и прочих показателей, но в меньшей степени. Для выбора приоритетного показателя оценки экономической эффективности, в наибольшей степени удовлетворяющего участников проекта, целесообразно придерживаться следующих подходов. В случае если инвестор обладает финансовыми ресурсами, позволяющими реализовать любой из альтернативных проектов, необходимо ориентироваться на показатель NPV как подтверждение большей величины задействованных ресурсов (экстенсивный путь получения прибыли). В случае наличия ограниченных ресурсов инвестора приоритетным являются показатели IRR и DPI как

следствия большей эффективности задействованных ресурсов (интенсивный путь получения прибыли). В случае инвестирования новых для инвестора проектов, связанных с диверсификацией деятельности или освоением новых направлений жилищного строительства, следует совместно рассматривать показатели IRR и DPP, характеризующие степень рискованности и ликвидности таких инвестиций.

При всем кажущемся возможном многообразии инвестиционных альтернатив, инвестор, работающий на рынке жилья, ограничен в своих инвестиционных замыслах рядом технических показателей возводимого жилого объекта (предельная этажность, эффективное конструктивное решение, востребованный класс недвижимости) и земельного участка (средняя площадь застройки, нормативные градостроительные требования). Вследствие этого инвестор, как правило, реализует однотипные по объемно-планировочным и конструктивно-технологическим решениям жилые здания [9]. Эти ограничения весьма строги законодательно и продиктованы сложившимся в крупных городах устойчивым разделением рынка, в связи с чем задача сравнения экономических показателей альтернативных инвестиционных проектов для жилищного инвестора формулируется как задача сравнения экономических показателей структурно и финансово схожих инвестиционных альтернатив.

Таким образом, следует признать, что целостную систему расчетов по оценке экономической эффективности инвестиционных проектов в жилищном строительстве строить на основании лишь одного исходного типа показателей экономической эффективности нецелесообразно. Более того, в такой ситуации совместное одномоментное сравнение показателей эффективности альтернативных инвестиционных проектов в большинстве случаев сталкивается с проблемой так называемого «конфликта показателей», когда по совокупности показателей ни одна из сравниваемых альтернатив не является безоговорочным лидером.

На наш взгляд, методологической основой проведения сравнительной оценки инвестиционных альтернатив в жилищном строительстве в условиях конфликта показателей эффективности инвестиционных альтернатив может служить предложенный Авиловой И.П. [10] показатель интегральной величины финансового профиля $\int_{t=0}^{t_{\max}} \mathrm{NPV}\ (t)$, названный «инвестиционной мощностью» проекта, где t – единичные периоды дисконтирования на финансовом профиле проекта, $t_{\max}$ – горизонт прогнозирования. Показатель позволяет комплексно и содержательно охарактеризовать совокупность интегральных экономических эффектов, генерируемых проектом на протяжении жизненного цикла, выступая одновременно аддитивной мерой объема инвестиций и мультипликативной мерой эффективности использования инвестиционного капитала.

Инвестиционная мощность интегрально и единым показателем количественно оценивает структуру финансового профиля проекта на всем горизонте планирования, что позволяет рассматривать показатель как единый, обобщающий вышеуказанные и позволяющий эффективно ранжировать инвестиционные альтернативы. На наш взгляд, целесообразно раздельно рассматривать инвестиционную мощность на I…II–м (области отрицательных NPV) и III–м этапах жизненного цикла инвестиций (области положительных NPV), соответственно негативную и позитивную инвестиционные мощности проекта, а также их соотношение, указывающее на обобщённую ликвидность проекта – меру возможности выхода инвестора из проекта с сохранением положительного инвестиционного сальдо.

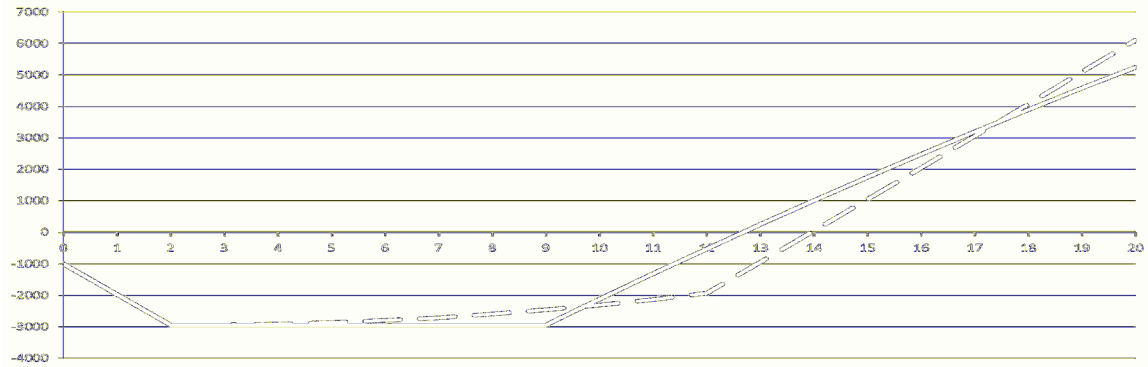


Рис. 2. Финансовые профили альтернативных инвестиционных проектов, схожих по условиям реализации и конфликтующих по показателям

Рассмотрим, для примера, два альтернативных инвестиционных проекта в жилищном строительстве, достаточно сходные по совокупному инвестиционному капиталу и интенсивно-

сти его освоения при одинаковой ставке дисконтирования и едином горизонте планирования (рис. 2). Такая ситуация весьма характерна для жилого застройщика, приобретшего земельный участок и находящегося в процессе выбора оптимального строительного объекта, в наибольшей степени реализующего градостроительный и инвестиционный потенциал территории. Как видно из табл. 1, содержащей традиционные показатели экономической эффективности проектов, инвестор не может однозначно определить приоритетную альтернативу, поскольку показатели конфликтуют.

Таблица 1

Показатели экономической эффективности сравниваемых инвестиционных альтернатив, согласно рисунку 2

Проекты	Показатели экономической эффективности проектов				Инвестиционная мощность проектов		
	NPV, тыс. руб.	DPI, %	IRR, %	DPP, мес.	позитивная	негативная	отношение
Проект 1 (сплошная линия)	**6112**	52,8	**10,3**	12,6	21454	-32587	66%
Проект 2 (пунктир)	5248	**57,3**	10,0	**13,9**	**22365**	**-30479**	**73%**

Определение позитивной и негативной инвестиционной мощностей, а также их отношения (правая часть табл. 1) достаточно показательно определяет наиболее привлекательную альтернативу – проект 2. Обобщенная ликвидность проекта 2, характеризуемая отношением инвестиционных мощностей, заметно выше, а более высокие значения инвестиционных мощностей проекта 2 характеризуют его совокупное рисковое окружение как в расходной (организационно-технологической), так и в доходной (финансово-экономической) частях жизненного цикла как более сбалансированное и управляемое.

Выводы. Подводя итог вышесказанному можно охарактеризовать предложенный интегральный показатель инвестиционной мощности как действенный и эффективный инструмент в арсенале аналитика, занимающегося сравнительной оценкой экономической эффективности инвестиционных альтернатив. В наибольшей степени этот показатель применим при поиске оптимального инвестиционного проекта в отрасли жилищного строительства, характеризуемой наличием альтернативных проектов схожих масштабов, интенсивности освоения инвестиционного капитала и конфликтующих традиционных показателей экономической эффективности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авилова И.П., Жариков И.С., Товстий В.П. О содержательной основе ставки дисконтирования метода NPV // Экономика и предпринимательство. 2013. № 12-1 (41). С. 641-643.

2. Авилова И.П., Рыкова М.А., Хай Д.З. Модификация показателей экономической эффективности инвестиционно-строительного проекта с использованием профилей риска получения доходов проекта // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. № 4. С. 133-137.

3. Мамзина Т.Ю., Наумов А.Е., Авилова И.П. Анализ и выбор наиболее привлекательного инвестиционно-строительного проекта с помощью расчета показателей экономической эффективности // Сборник научных трудов Sworld. 2014. Т. 23. № 2. С. 65-68.

4. Ралко О.Г., Наумов А.Е., Голдобин А.Н. К вопросу о выборе эффективности метода управления объектом недвижимости // В сборнике: Наука и образование в жизни современного общества сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 18 частях. 2013. С. 136-138.

5. Рыкова М. А. Эндогенный подход к квалиметрии рисков инвестиций в недвижимость // Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. 2009. № 1. С. 335-338.

6. Рыкова М. А. К вопросу об оптимизации денежных потоков инвестиционных проектов в недвижимость // Вестник ИНЖЭКОНа. Серия: Экономика. 2009. Т. 29. № 2. С. 382-384.

7. Рыкова М.А., Авилова И.П., Байдина О.В. Практические аспекты количественного учёта рисков при определении экономической эффективности инвестиционно-строительных проектов // Экономика и предпринимательство, 2014. №12 (ч. 4). С. 594-596.

8. Галасюк В.В. О невозможности использования одного из двух исходных типов критериев экономической эффективности затрат // Государственный информационный бюллетень о приватизации. 2000.№ 5. С. 78–80.

9. Мамзина Т.Ю., Наумов А.Е. Обобщение показателей чистого дисконтированного дохода и срока окупаемости инвестиционных альтерна-

тив // Сборник научных трудов Sworld. 2014. Т. 23. № 2. С. 63-65.

10. Авилова И.П. Повышение экономической эффективности инвестиционно-строительных проектов через управление технологическими рисками подрядчиков // Экономические науки. 2007. № 35. С. 177-180.

Shchenyatskaya M. A., Naumov A. E.

IMPROVING THE METHODOLOGY OF COMPARATIVE ASSESSMENT OF ALTERNATIVE INVESTMENT PROJECTS IN HOUSING CONSTRUCTION

Economic efficiency of investments in real estate is determined by quantitative indicators to identify priority investment object and determine the overall effectiveness of the portfolio of the investor. In assessing the cost-effectiveness of investment in the residential sector highlights the relative importance of the main indicators of evaluation of investment attractiveness. With all the variety of possible investment alternatives investors, operating on the housing market, limited in their investment decisions by a number of technical indicators of erected residential facility and land. Consequently, an investor usually sells the same type of space-planning and constructive-technological decisions in residential buildings. These restrictions are very strict and dictated by law, current sustainable division of the market, and therefore the problem of comparing the profitability of alternative investment projects for residential investor is formulated as a problem of comparing economic indexes of structurally and financially similar investment alternatives. Proposed indicator of the investing power estimates structure of the project's financial profile over the planning horizon, and performs as a single, general indicator effectively ranked alternative investments.

***Key words**: investments, investments in real estate, indicators of economic efficiency of the investment project, risks, profitability, financing, Net Present Value, internal rate of return.*

Пивко И.С., аспирант
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

О ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ИННОВАЦИЯМИ, УРОВНЕМ ЗРЕЛОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ И ЭТАПАМИ РАЗВИТИЯ РЫНКА*

pivkoirina@mail.ru

В современном динамично меняющемся мире перед руководителями предприятий стоит необходимость решения важнейшей проблемы — правильного выбора инноваций и обеспечение их успешной реализации. Для решения зачастую недостаточно корректно оценить инновацию как таковую, ее рыночные перспективы и соответствие стратегии развития предприятия. Необходимо сопоставить уровень зрелости предприятия, этап развития рынка, на котором будет реализована данная инновация, и непосредственно саму инновацию.

Ключевые слова: *управление инновациями, инновационный проект, уровень зрелости предприятия.*

Перед руководителем каждого предприятия, а особенно в непростой экономической ситуации, которая сложилась в настоящее время, стоит необходимость решить среди прочих проблему правильного выбора инновации и обеспечить ее успешную реализацию. Особенность заключается в том, что недостаточно провести оценку инновации как таковой на соответствие стратегии предприятия и оценить ее рыночные перспективы. В данной статье рассматривается взаимосвязь между уровнем зрелости предприятии, т.е. объекта инноваций, самой инновацией и рынком.

При управлении предприятием одним их ключевых вопросов является выбор инновационных проектов в соответствие со стратегией развития. Истории известны множество примеров компаний, которые смогли стать мировыми лидерами благодаря именно умелому управлению инновация: Microsoft, Sony, General Electric, Apple и т.д. В тоже время ошибочный выбор может привести не только к значительным потерям ресурсов и времени, но и краху всей компании. Статистические данные о внедрении инноваций свидетельствуют, что лишь от 6 % до 10 % инвестиций во вновь возникающие предприятия оказываются успешными., и лишь чуть более 60 % инвестиции в проекты крупных и сформировавшихся предприятий оправдывают себя. Согласно данным Федеральной службы государственной статистики РФ, удельный вес предприятий, внедряющих технологические инновации в течение 2005…2012 гг., находился в диапазоне 9,3…9,9 % [2]. Такой низкий показатель среднего инвестиционного успеха, а соответственно, и высокий уровень риска является одной их основных причин банкротства целого ряд предприятий.

Инновации оказывают влияния в той или иной мере на все сферы деятельности предприятия. В данной статье обратим внимание на инновации продуктов, технологий и услуг, которые разрабатываются непосредственно на самом предприятии.

Корректная оценка инновации на протяжении все жизненного цикла дает возможность высшему менеджменту компании получить большие конкурентные преимущества, используя меньшее количество ресурсов и неся при этом меньшие затраты. Корректная экспертная оценка увеличивает прибыльность инноваций, минимизирует потери и затраты, делает процесс управления предприятием и завоевания ранка легче и эффективнее.

Проанализировав профильную литературу [1, 3, 4], можно сделать вывод о том, что для инвестора оценка эффективности инвестиций в инновации базируется на оценке коммерческой эффективности проекта, включающей две основные составляющие:

- экономическую эффективность проекта, то есть характеристику его инвестиционной привлекательности;
- эффективность коммерциализации проекта, то есть оценку его жизнеспособности с точки зрения реализуемости проекта и финансовой прочности инициатора проекта в процессе воплощения.

После детального анализа данных характеристик принимается решение. В последствие текущие значения рассчитанных показателей служат метками успеха выбранной инновации.

Современная практика показывает, что для включения инновации в портфель инвестиций компании недостаточно данных параметров. Помимо всех достоинств инновации, реализуемости ее сотрудниками предприятия с помощью имеющихся ресурсов и размера и динамики рынка, необходимо учитывать стадию развития каждого из перечисленных компонентов, а также их соответствие друг другу.

Многие инновации признаются неудачными объектами для вложений именно оттого, что нарушается соответствие между 3 показателями:

инновация, зрелость предприятия и зрелость рынка. Качественный продукт или услуга могут просто не соответствовать данному рынку. Либо же уровень зрелости предприятия не позволяет позиционировать продукт на данном рынке. В тоже время при отдельном рассмотрении продукт, уровень развития предприятия и рынка могут быть очень перспективными и исходя только из этих данных без их взаимного сопоставления руководители зачастую принимают решение и включении инновации в инвестиционный портфель предприятия. Но их сочетание для внедрения инновации может оказаться нежизнеспособным, что приведет к потере вложенных средств и времени.

Целью данной статьи является описание обобщенного алгоритма выбора и анализа инновация для основных типов предприятий.

В рамках данной статьи будем рассматривать классификацию предприятий по трем уровням зрелости в разрезе доступа к капиталу. Для предприятий одного уровня зрелости организационные формы, типы менеджмента, риски и цели являются схожими и не зависят от сферы деятельности. Такие предприятия, как Северсталь, Газпром, Sony, Procter and Gamble и Ford являются яркими представителями крупного бизнеса и относятся к третьему уровню зрелости, имея сходный тип управления инновациями.

На первом уровне зрелости находятся малые инновационные предприятия. Источника инвестиций для таких предприятий могут быть льготные кредиты, государственное финансирование, гранты и частные инвестиции. Во главе таких компаний зачастую находятся сами авторы нового продукта, услуги либо технологии. Во время начального этапа своего становления компания должна достичь установления контакта с инвестором следующего раунда, разработать прототип своего первого инновационного продукта и соответствующую ему модель бизнеса. При успешном решении поставленных на данном этапе задач компании получает доступ к капиталу и перейдет на следующий уровень.

На втором этапе создаются стандарты принятия решений и корпоративные регламенты, строится иерархия управления и происходит разделение обязанностей и зон ответственности в соответствие с занимаемой должностью, четко формируются требования к навыкам и компетенциям. На втором этапе развития предприятие создает технологию серийного производства своего инновационного продукта, начинается формирование рынка и разработка дополнительных продуктов, которые будут предложены потребителям.

Важно отметить, что именно на данном этапе создается история для инвесторов следующего уровня. Для этого разрабатывается дееспособная инфраструктура бизнеса, масштабируемое производство и система контроля качества, формируются каналы продаж и механизмы поддержки клиентов. Разработка инновационного продукта интегрируется с финансовым, маркетинговым подразделением, с отделом управления качеством. В качестве примера такого взаимодействия можно рассмотреть технологическое изменения продукции, которое снижает стоимость его изготовления, либо доработку в соответствие с критериями качества и их адаптацию для определенного сегмента рынка. На втором этапе зрелости предприятия к инновационным продуктов и услуг добавляется инновации технологические, управленческие, маркетинговые, которые способствуют развитию стержневой инновации.

Успешное прохождение второго этапа позволяет перейти предприятию на новый, третий уровень. Доминирующее внимание уделяется охране труда, правам сотрудников, корпоративной культуре. Увеличивается роль личного престижа руководителя высшего звена и позиционирование предприятия во внешней среде. Значительно возрастает роль инновации в области корпоративного PR, индивидуализируются фирменный стиль и бренды, управленческих инноваций в области продаж и маркетинга, а также производства, в котором соотношение цена-качество должно соответствовать конкурентному уровню. Стабилизируется работа с представителями финансового рынка. Исследования и разработки на предприятиях этого уровня, как правило, уходят на второй план. Преуспевающее предприятие на данном этапе старается максимизировать прибыль и защитить свою долю рынка от конкурентов. Если же предприятие вышло на биржу, то перед менеджерами высшего звена появляется задача по максимизации стоимости акций компании.

Эволюция продуктов, услуг и технологий независимо от сферы бизнеса происходит по S-образной кривой и проходит 4 стадии развития.

На первом этапе инновации и научные открытия, как правило, отождествляются. Проходит проверка работоспособности данной идеи, при этом необходимость подобной инновации не ставится под сомнение, так как предыдущий продукт, услуга или технология уже изжили себя, а новые только начинают свое развитие.

Инновации данного типа разрабатываются в институтах либо на малых инновационных предприятиях, если им удалось найти инвестиции.

Когда инновация начала работать, она переходит на второй этап и приобретает уже, как правило, чисто инженерную направленность. Производительность или основные технические параметры инновации растут пропорционально вложенному капиталу, в том числе и интеллектуальному. Она обгоняет предшествующие ей товары и услуги и становится все более надежной и удобной в использовании. У данной инновации появляются сопутствующие продукты, которые повышают комфорт работы и расширяют возможности применения. При наличие определенного уровня спроса именно на этом уровне развития инновации могут делиться на разные виды, для работы в различных условиях или выполнения различных функций.

Когда ресурсы увеличения производительности исчерпаны и с помощью вспомогательных устройств продукт доведен до максимума производительности и удобства, он переходит на третий этап, в область дизайна продукта, независимо от того, что эта инновация собой представляет.

На третьем этапе развития часто образуются «гибриды» путем объединения инновации с другими продуктами, технология и услугами. Появившаяся на данном этапе система не отмирает, пока не исчезнет социальная потребность в ней или не появится инновация первого типа, имеющая тоже назначение, но основанная на более эффективном принципе.

У продукта, услуги или технологии на четвертом этапе развития происходит снижение технических показателей с максимальных до необходимых. Это обуславливается, как правило, переходом на нишевый рынок, где зачастую основное внимание уделяется определенному критерию.

Для эффективной реализации стратегии предприятия руководитель должен понимать, на каком этапе находится технология, продукт либо услуга, рассматриваемая в качестве потенциального объекта для инвестиций.

Степень зрелости предприятия является определяющим фактором при выборе инноваций, с которыми стоит работать, на различных стадиях технического развития этих инноваций.

Малые инновационные предприятия, находящиеся на первом уровне зрелости, наиболее эффективны для работы с инновациями первого же уровня. По своей сути основная цель таких предприятий – это создание инновационных продуктов, технологий и услуг.

Предприятия второго уровня могут работать как с инновациями первого, так и с инновациями второго типа. Данная комбинация позволит успешно и квалифицированно довести идею или прототип до массового производства.

Приведенное выше соответствие не является гарантией успеха. На современном этапе развития бизнеса и экономики возможны различные варианты. Например, крупная компания, находящаяся на третьем этапе зрелости, может создать дочернюю компанию или же выделить отдел для разработки новой технологии или продукта. Когда же инновация будет развита дочерней компанией до уровня материнской компании, продукт может быть передан туда. При таком варианте развития дочерние предприятия либо филиалы являются обособленными хозяйствующими субъектами, практикующими подход к разработке инноваций, характерный для малых инновационных предприятий.

По последовательным этапам развития рынки можно классифицировать на пять групп. При этом стоит отметить, что на каждом из этапов они характеризуются одними и теми же целями, этапами развития предприятий, работающих на данном рынке, этапами технического развития товаров, реализуемых на данном рынке и аналогичной психологией покупателей.

Рынок нулевого уровня не является рынком в привычном понимании этого термина, поскольку на нем пока еще не присутствует капитал и многие взаимоотношения не формализованы. Основное назначение такого рынка – проверка концепции, так как потребителей на нем тоже еще нет. Есть энтузиасты и новаторы, которые хотят добиться успеха. По своим характеристикам именно малые инновационные предприятия наиболее успешны на данной стадии рынка.

На первом этапе развития рынка создается базовая группа потребителей и вырабатывается общественная привычка к предложенным на нем товарам, услугам и технологиям. Использование нового продукта фактически не влияет на предшествующий рынок. На данной стадии наиболее успешно свою деятельность ведут предприятия второго типа зрелости. Корпорации-гиганты третьего уровня могут также работать на данном рынке, но не напрямую, а через свои дочерни компании или обособленные подразделения, живущих по законам второго этапа зрелости.

На втором этапе развития рынка происходит массовый приток клиентов. На данной стадии возрастают требования к качеству реализации продуктов или услуг. Как правило, такой рынок становится международным и изначально является очень привлекательным для предприятий второго и третьего этапа зрелости. Но с развитием данного рынка на нем остаются только предприятии третьего уровня зрелости.

Третья стадия сменяется четвертой, когда все клиенты уже пользуются предложением данного рынка. При этом, вероятнее всего, потребители начинают испытывать дискомфорт от отсутствия предлагаемого продукта или услуги в силу того, что они становятся привычными. Расширение данного рынка происходит за счет проникновения работающих на нем компаний в новые ниши. Важно заметить, что только предприятия третьего уровня зрелости могут работать на таком ранке.

На четвертом этапе развития рынка сокращается количество клиентов. Замедление это процесса происходит за счет возвращения на рынок предприятий второго уровня зрелости и малых (не инновационных!) предприятий. Для предприятий третьего уровня такой рынок уже не представляет интереса.

Еще раз заметим, что этапы развития рынка не стоит путать с предприятиями, на нем работающими. Предприятие может перейти с одного рынка на другой.

Поэтому в завершении данной статьи хотим подчеркнуть, что недостаточно оценить рыночные перспективы инновационного продукта, услуги или технологии, его соответствие стратегии предприятия. Только правильная оценка сочетания эволюционного развития инновации, уровня зрелости предприятия и уровня развития рынка, на котором планируется реализация данной инновации, приведет к успешному развитию хозяйствующего субъекта.

**Статья опубликована при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, проект № 26.1511.2014/к «Теория и методология управления инновационно-инвестиционными процессами в субъектах малого предпринимательства»*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дорошенко Ю.А., Бухонова С.М., Евтушенко Е.И., Хожаев И.С. Инновационные проекты промышленных предприятий: методы оценки эффективности: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. 155 с.

2. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики РФ. – Режим доступа: http://www.gsk.ru

3. Слабинская И.А., Бендерская О.Б. Использование методик кредитного анализа для управления финансовой устойчивостью предприятия // Белгородский экономический вестник. 2013. №3 (71). С.61-70.

4. Сомина И.В. Методология и методические аспекты оценки экономической эффективности в сфере инновационной деятельности // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. 2013. №4. С.142-145.

Pivko I.S.

THE RELATIONSHIP BETWEEN INNOVATION, MATURITY LEVEL OF COMPANIES AND STAGE OF DEVELOPMENT OF THE MARKET

Nowadays business leaders need to solve the most important problem - the correct selection of innovations and ensure their successful implementation. As a general rule properly assess the innovation itself, its market prospects and compliance with the development strategy of the company is insufficiently. It is necessary to compare the level of maturity of the enterprise, the stage of development of the market and innovation itself.

***Key words**: innovation management, innovation project, level of maturity of the enterprise.*

Всяких Ю.В., канд. экон. наук, доц.,
Всяких М.В., канд. экон. наук, доц.
Белгородский государственный национальный исследовательский университет

РИСКИ НА РЫНКЕ МЕЖБАНКОВСКОГО КРЕДИТОВАНИЯ И СПОСОБЫ ИХ МИНИМИЗАЦИИ

vsyakih@bsu.edu.ru

В статье особое внимание уделяется развитию межбанковского кредитования как отдельного сегмента рынка ссудных капиталов. Именно этот сегмент рынка создает на сегодняшний день среду конкуренции между банками, развивает их внутреннее взаимодействие не только между собой, но и с ЦБ РФ. Межбанковское кредитования удобно для баков тем, что оно более мобильно в среде постоянного банковского взаимодействия друг с другом и легче приспосабливается к изменяющимся потребностям коммерческих банков. Современному рынку ссудных капиталов необходимо дать свободу развитию межбанковского кредитования, за счет снижения процентных ставок на данном рынке. Актуальность исследования обуславливается тем, что коммерческим банкам выгодно развивать межбанковское кредитование, потому что в свою очередь появляются разнообразные виды кредитования, что приведет к увеличению спроса на данный вид банковского продукта, что в свою очередь принесет реальные деньги банкам быстро и оперативно. Одним из самых главных преимуществ межбанковского кредитования для государства является то, что развивается не только ссудный рынок в масштабах всей страны, но и региональные рынки приобретают европейский уровень и размах.

Ключевые слова: *межбанковское кредитование, коммерческие банки, ссудный капитал, риски кредитования.*

В условиях современной нестабильности рыночной экономики, рынок ссудных капиталов на прямую зависит от экономической политики государства, которое в свою очередь возложило тяжёлое налоговое бремя на предприятия, население, а так же коммерческие банки. Сегодня рынок ссудных капиталов страдает от нехватки временно свободных денежных средств. Коммерческие банки активно ищут новые перспективные источники денежных средств. Одним из таких источников является межбанковский кредит. Поэтому необходимо создавать стабильную почву для развития перспективного рынка межбанковского кредитования [1].

Межбанковские кредиты выполняют стимулирующую функцию, ведь он дает выгоду, как и банку-кредитору, так и банку - заемщику. В случае, если сумма кредита завышена, кредитор будет предоставлять межбанковский кредит по завышенному вознаграждению. Привлекая межбанковские кредиты, коммерческий банк улучшает свое финансовое состояние.

Современная действительность показывает, что для активного и эффективного привлечения денежных средств широко используются возможности межбанковского рынка кредитных ресурсов. Межбанковский кредитный рынок позволяет осуществлять продажу денежных средств, мобилизованных другими кредитными организациями.

Сегодня межбанковский кредит, как правило, выдается в рамках отлаженных корреспондентских отношений. Межбанковский рынок становится одним из основных источников заёмных средств для коммерческих банков. С помощью межбанковского рынка происходит поддержание платежеспособности баланса и обеспечение бесперебойности выполнения обязательств.

В условиях рыночной экономики операции на рынке межбанковского кредита обусловлены рисками для коммерческого банка. Рассмотрим следующие виды рисков, которые несут коммерческие банки при межбанковском кредитовании.

Почти каждому коммерческому банку при межбанковском кредитовании присущ финансовый риск. Финансовый риск - вероятность снижения доходов, потери прибыли и возникновения убытков в результате неверных действий банка или их отсутствия. Финансовый риск возникает при проведении коммерческим банком операций на межбанковском кредитном рынке, которые приводят к потенциальным потерям. Финансовый риск подразделяется:

- риск по банковским сделкам;
- операционный риск;
- риск собственной ликвидности банка.

1. Риски по банковским сделкам можно подразделяются:

а) Под ценовым риском понимается риск установления неверной нормы процентов за пользования кредитом, сюда так же можно отнести риск рыночной ликвидности и валютный риск (неверные и неэффективные действия с валютой).

б) Кредитный риск – это неисполнение заемщиком взятых на себя обязательств. Кредитный риск определяет эффективность деятельности банка, ведь как показывает практика, коммерческие банки формируют значительную часть своих доходов за счет осуществления кредитной деятельности. В виду этого особое внимание уделяется оценке потенциальной прибыли по отношению к вероятности непогашения кредита заемщиками.

2. Операционный риск. Данный риск связан напрямую с операционной деятельностью коммерческого банка. Этот вид риска характеризуется недостаточной компетентностью персонала, отсутствием должного контроля.

3. Риск собственной ликвидности банка. Необходимо отметить распространенный на сегодня вид риска на рынке межбанковского кредитования – риск ликвидности банка. Указанный вид риска – невозможность коммерческого банка выполнить свои финансовые обязательства.

Риск несбалансированной ликвидности представляет собой опасность потерь в результате неспособности банка покрыть свои обязательства по пассивам баланса за счет требований по активам. Этому риску и его управлению уделяется много внимания, не только со стороны коммерческого банка, но и со стороны центрального банка, который осуществляет контроль и надзор за обязательными показателями ликвидности. Банк имеет внутренние и внешние источники обеспечения ликвидности. Рассмотрим следующие виды ликвидности.

Внутренняя ликвидность – это запас быстрореализуемых активов. Внешняя ликвидность – это возможность приобретения на денежном рынке дополнительных ресурсов. Из этого следует, что риск ликвидности можно определить как риск, при котором в определенный момент коммерческий банк приобретает средства по высокой цене и теряет стоимость своих активов. Активы считаются ликвидными, если их можно в определенный момент быстро продать без потери стоимости.

Риски межбанковского кредитования связанные с внешними факторами можно подразделить на отраслевые риски, риски региона или страны, риски финансовой устойчивости заемщиков. Указанная группа носит общий характер, именно эти риски оказывают серьезное влияние на финансовое положение банка.

На сегодняшний день сложно точно разграничить риски на банковские и общие, с которыми сталкивается коммерческий банк в процессе деятельности на рынке межбанковского кредитования. В экономической литературе, современные финансисты и экономисты группируют риски по выполняемым банковским операциям: риск расчетных операций, кредитный риск, риск операций с иностранной валютой, риск депозитных операций, риск операций банка с ценными бумагами [2].

Многообразие рисков, возникающих в результате межбанковского кредитования, не позволяет классифицировать их по какому-либо единому признаку, поэтому рассматривают ряд различных элементов.

В зависимости от сферы влияния или возникновения, выделяют внешние риски и внутренние. К внешним рискам можно отнести риски, не связанные непосредственно с деятельностью банка или клиента. К ним относят следующие риски: экономические, политические, социальные, геофизические. Упомянутые риски возникают в результате широкого круга событий, таких как – военные конфликты, революции, смены политических режимов, национализация и приватизация, введение эмбарго, стихийные бедствия. В особую группу, с учетом особенностей деятельности коммерческого банка, можно выделить: неустойчивость валютных курсов; инфляция; ухудшение финансового положения клиента, приведшее к снижению его платежеспособности или банкротству, и т.д.

Внутренние риски банка связаны с непосредственной деятельностью банка, и подразделяются на основной и вспомогательный риск. К основным рискам относят риски, возникающие при осуществлении различных банковских операций: риск по расчетным операциям, депозитный риск, кредитный риск и т.д.

Вспомогательным риском называется риск, возникающий при осуществлении забалансовых операций. Его еще можно назвать риском банковских злоупотреблений, возникающих в результате потери репутации, которая связана с утратой позиций банка на рынке. Риск снижения банковского рейтинга выражается в упущении возможностей получения дополнительного дохода [3].

Со всеми видами банковских рисков, которые существуют на межбанковском рынке, могут столкнуться универсальные коммерческие банки. Ведь только универсальные банки покрывают потери от одного вида риска доходами от другого.

На сегодняшний день, банковские риски определяют составом клиентов. Бесспорно, что для любого коммерческого банка предпочтительна работа с «крупными» клиентами, в связи с тем, что «мелкие» находятся в большей зависимости конъектуры межбанковского рынка. А ведь именно представители мелкого и среднего

класса более гибко и оперативно реагируют на изменения рынка, они, как правило, быстрее адаптируются и легче преодолевают кризисные явления.

В зависимости от степени риска, риски на межбанковском кредитном рынке можно подразделить на - низкий, умеренный, полный. Степень риска можно определить с помощью шкалы. Степень банковского риска в той или иной степени зависит от вероятности события, которое приведет к потерям. Тогда низкий риск по кредитным операциям образуется в следствии, если обеспечением выступает залог государственных ценных бумаг, залог валюты или депозитов, правительственные гарантии.

Умеренный риск наступает при использовании в качестве формы обеспечения - банковскую гарантию. К кредитам с полной степенью риска (100 %) относятся так называемые бланковые кредиты, а также кредиты, по которым образовались просроченная и сомнительная задолженности.

По балансовым и забалансовым операциям можно подразделить на риски в зависимости от характера. Существуют моменты, когда риски по забалансовым операциям распространяются и на балансовые операции.

На открытые и закрытые риски можно подразделить в случае зависимости управления банковским риском. Открытые риски (как правило, это внешние риски) не будут поддаваться регулированию, а закрытые регулируемые.

Сегодня существует огромный выбор разновидностей межбанковского кредитования, который позволяет банкам активно и эффективно привлекать денежные средства, проводить операции на рынке межбанковского кредитования, получая максимальную прибыль, поддерживая постоянную ликвидность. Стоит помнить, что получение прибыли это процесс правильной и адекватной оценки рисков, которые присущи любому виду банковского кредитования. Изучение рисков при межбанковском кредитовании, оградит банки от максимальной потери выгоды и прибыли, а в крайнем случае от банкротства.

Современный рынок межбанковского кредитования, который возник в России, считается гетерогенным и нестабильным. Межбанковский кредитный рынок очень персонифицированный, «разборчивый» и внутренне противоречивый. Коммерческие банки, если они работают в одном регионе или в тех же секторах финансового рынка, являются конкурентами друг для друга, но, с другой стороны, для межбанковских кредитов и депозитов, все они заинтересованы в установлении «дружеских» отношения в долгосрочной перспективе. Рынок межбанковского кредитования - сегмент денежного рынка, где обеспечивается оперативное распределение ликвидных средств между кредитными организациями.

Основными участниками рынка межбанковского кредитования являются пользователи (банк-заемщик и банк – кредитор) и операторы (организаторы) рынка (банки-дилеры и операционные системы).

Российские участники рынка межбанковского кредитования это коммерческие банки, чьи операции в этой области является нерегулярными, отечественные и зарубежные аналитические (в том числе в рейтинговые) агентства, обслуживающие этот рынок, а также эксперты, Центральный банк Российской Федерации.

Одной из немаловажных проблем сектора межбанковского кредитования является невысокая активность коммерческих банков. Как свидетельствуют официальные данные центрального банка, сегодня существует невысокий уровень доверия на межбанковском рынке в целом.

Недоверие коммерческих банков российскому рынку межбанковского кредитования тормозит его развитие в целом, а это в свою очередь развивает монополистическую деятельность крупных коммерческих банков.

Можно отметить, что преодоление недоверия межбанковскому рынку кредитования является приоритетным направлением в политике центрального банка сегодня [2].

Совершенствование межбанковского рынка, его улучшение и эффективное развитие находится в ведении центрального банка, но не стоит забывать о том, что участники рынка межбанковского кредитования, ведя эффективную деятельность и частные операции, в целом тоже влияют на рынок. Следуя из вышеперечисленного и указанного, можно выделить приоритетные направления совершенствования межбанковского рынка:

1. совершенствование практики банковского надзора. Будет включать в себя в первую очередь повышение его качества;

2. развитие системы раннего реагирования на непредвиденные риски на межбанковском рынке;

3. обмен информацией с органами надзора банков-нерезидентов;

4. активное стимулирование развитию конкуренции как внутриотраслевой, так межотраслевой (повышение капитализации коммерческих банков);

5. консолидации на рынке крупных банковских структур;

6. диверсификация банковского бизнеса в целом;

7. расширение линейки продуктов на рынке с помощью генерации дохода;

8.увеличения информационной базы.

В целях осуществления вышеизложенных направлений совершенствования, необходимо создать благоприятные условия в целом по банковской системе, а именно ужесточить ответственность коммерческих банков за нарушения законодательства, центральный банк должен ограничивать с помощью косвенных методов воздействия деятельность банков монополистов, тем самым давая возможность активного участия мелким банкам.

Взаимодействие с банками-нерезидентами сегодня дает возможность активно развиваться рынку межбанковского кредитования. Необходимо использовать опыт западных банков в области межбанковского кредитования.

Так же необходимо отметить, что согласно положению Базеля II в 2014 году будет проводиться работа в области регулирования деятельности банков, применяющих подходы к оценке кредитного риска, основанных на внутрибанковских рейтингах [1].

Западная практика ввела положительный пример внутренних процедур оценки достаточности капитала. Возможно, и для российской банковской практики будет примирителен указанный опыт.

Таким образом, для развития российского рынка межбанковского кредитования Центральному банку необходимо учесть опыт европейской банковской системы, отрегулировать законодательную базу, которая будет направлена на международные стандарты. Рынок межбанковского кредитования надо «открывать» для банков-нерезидентов, которые хотят и могут взаимодействовать с российскими банками. Банку России необходимо выделить системно значимые банки, без которых рынок межбанковского кредитования не может функционировать эффективно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Всяких Ю.В. Перспективное развитие рынка межбанковского кредитования // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2014. №12(71) часть I. С. 136-139.

2. Григорьев С.А. Государственное кредитование // Банковское кредитование. 2013. №6. С. 88-90.

3. Соколов, С.Э. Рынок межбанковского кредитования в 2013 году // Аналитический журнал «Адэль». 2013. №14 (200). С.77-89.

Vsyakih Yu.V., Vsyakih M.V.

RISKS ON THE INTERBANK LENDING MARKET AND WAYS OF MINIMIZATION

The article focuses on the development of interbank lending as a separate segment of the loan market. It is this segment of the market creates today Wednesday competition among banks to develop their internal interaction not only among themselves but also with the CBR. Interbank lending is convenient for tanks in that it is more mobile in the environment of permanent banking interact with each other and easier to adapt to the changing needs of commercial banks. Modern loan market should be given the freedom of development of interbank lending due to lower interest rates in the market. Relevance of the study is because commercial banks profitable to develop interbank lending, because in turn appear various types of loans that will increase the demand for this type of banking product, which in turn will bring real money to the banks quickly and efficiently. One of the main advantages of inter-bank lending to the state is that develops not only the loan market in the whole country, but also regional markets become European level and scope.

***Key words**: interbank lending, commercial banks, loan capital, credit risks.*

Сомина И.В., канд. экон. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

СТРУКТУРИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА МАКРО- И МЕЗОУРОВНЕ

irasomina@yandex.ru

В статье представлены методологические аспекты структурирования показателей экономической эффективности инновационных процессов, осуществляемых в экономических системах макро- и мезоуровня. Разработана методика расчета конкретных показателей, внесены предложения по дополнению и развитию российской практики официального статистического наблюдения с целью комплексного информационного обеспечения использования авторской разработки.

Ключевые слова: *инновационный процесс, экономическая эффективность, показатель, экономическая система.*

Введение. Наличие глобальных экономических вызовов и новых специфичных для России внешнеэкономических угроз усиливают роль инновационной составляющей экономического роста как на уровне государства в целом, так и его территориальных образований. В сложившихся условиях органы государственной власти и научное сообщество РФ активно прорабатывают различные варианты корректировки инновационного сценария развития национальной экономики, способного обеспечить восстановление роли России в мировой экономической системе. При этом особую важность приобретает эффективность вложений в инновационное развитие, стремление к максимальной отдаче от произведенных инвестиционных и текущих затрат. Вышеуказанное определяет актуальность и практическую значимость разработки методических вопросов, касающихся оценки экономической эффективности инновационных процессов (ИП), в т.ч. на макро- и мезоуровне.

Анализ многочисленных публикаций [1, 2, 5, 7 и др.] по тематике данного исследования и авторская попытка [3, 4] систематизации существующих точек зрения позволили выявить проблему отсутствия четкой структуризации показателей экономической эффективности ИП.

Методология. В основу настоящего исследования положим классическое представление о процессе как о деятельности, в ходе которой так называемые «входы» благодаря ресурсному обеспечению процесса трансформируются в «выходы», а также общепринятую трактовку понятия «эффективность» как относительной характеристики, отражающей величину результата (эффекта), приходящуюся на единицу произведенных затрат. В контексте данного исследования показатели экономической эффективности должны определяться за определенный период и отражать результативность затрат, обеспечивающих реализацию соответствующего этапа инновационного процесса на уровне национальной или региональной экономической системы.

В качестве основы формирования предлагаемой нами структуры показателей примем следующие базовые принципы: системность, эталонность, сочетание статических и динамических оценок, дифференцированность, интегральность. Причем из всего многообразия показателей, применяемых для оценки эффективности инноваций на макро- и мезоуровне, представляется целесообразным произвести отбор наиболее значимых и в то же время универсальных, доступных характеристик.

Основная часть. Опираясь на общеизвестную комбинацию этапов инновационного процесса (научные исследования фундаментального и прикладного характера, разработки или опытно-конструкторские работы, коммерциализация инноваций), выделим для каждого из них составляющие эффективности (табл. 1).

Таблица 1

Исходная база для расчета показателей экономической эффективности инновационных процессов

Этап	Показатель затрат на обеспечение этапа	Показатель результата (эффекта)
Фундаментальные и прикладные исследования	Совокупные затраты на фундаментальные и прикладные исследования, включая расходы федерального бюджета и внутренние текущие затраты, тыс. руб.	Стоимость зарегистрированных объектов интеллектуальной собственности, тыс. руб.
Разработки	Совокупные затраты на разработки, включая расходы федерального бюджета и внутренние текущие затраты на разработки, тыс. руб.	Стоимостная оценка созданных технологий и иных разработок, тыс. руб.
Коммерциализация инноваций	Затраты на технологические инновации, тыс. руб.	Объем инновационных товаров, работ, услуг, тыс. руб.

При этом в качестве показателя затрат на обеспечение этапа нами приняты соответствующие показатели затрат на науку и инновации по методологии Росстата [6]. Что касается стоимостной оценки эффекта, следует отметить наличие в официальной статистике РФ лишь одного показателя (объем инновационных товаров, работ, услуг), строго характеризующего денежное выражение результата инновационного процесса. В этой связи полагаем, что российская практика официального статистического наблюдения сферы «Наука и инновации» нуждается в соответствующем дополнении и развитии. В частности, в табл. 1 отражены авторские предложения относительно показателей стоимостной оценки результата таких стадий инновационного процесса, как фундаментальные и прикладные исследования и разработки.

В общем случае показатель эффективности реализации *i*-того этапа инновационного процесса предлагается определять статическим методом, используя формулу (1):

$$Э_{эт i} = \frac{Р_{эт i}}{З_{эт i}} \quad (1)$$

где $Р_{эт i}$ – стоимостная оценка результата, достигнутого экономической системой на *i*-том этапе инновационного процесса, тыс. руб.; $З_{эт i}$ – общая величина затрат макро-(мезо)экономической системы на обеспечение реализации соответствующего этапа инновационного процесса, тыс. руб.

По результатам расчета показателей эффективности реализации отдельных этапов инновационного процесса (частных показателей) на макро- или мезоуровне, может быть определен показатель эффективности инновационного процесса в целом:

$$Э_{ип} = \frac{Р_{ип\ сов}}{З_{ип\ сов}} = \frac{Р_{фпи}+Р_{р}+Р_{ком}}{З_{фпи}+З_{р}+З_{ком}} \quad (2)$$

где $Р_{ип\ сов}$ – стоимостная оценка совокупного результата инновационного процесса, достигнутого экономической системой, тыс. руб.; $З_{ип\ сов}$ - совокупные затраты макро-(мезо)экономической системы на обеспечение реализации инновационного процесса, тыс. руб.; $Р_{фпи}, Р_{р}, Р_{ком}$ – стоимостная оценка результата, достигнутого экономической системой соответственно на этапе фундаментальных и прикладных исследований, разработок и коммерциализации, тыс. руб.; $З_{фпи}, З_{р}, З_{ком}$ – затраты на реализацию соответственно этапа фундаментальных и прикладных исследований, разработок и коммерциализации, тыс. руб.

Однако, на наш взгляд, формулы (1)-(2) недостаточно корректно отражают результативность инновационного процесса. Базисом формализованного представления о результативности инновационного процесса, по нашему мнению, целесообразно считать стоимостную оценку востребованных результатов завершающего и промежуточных этапов инновационного процесса (рис. 1).

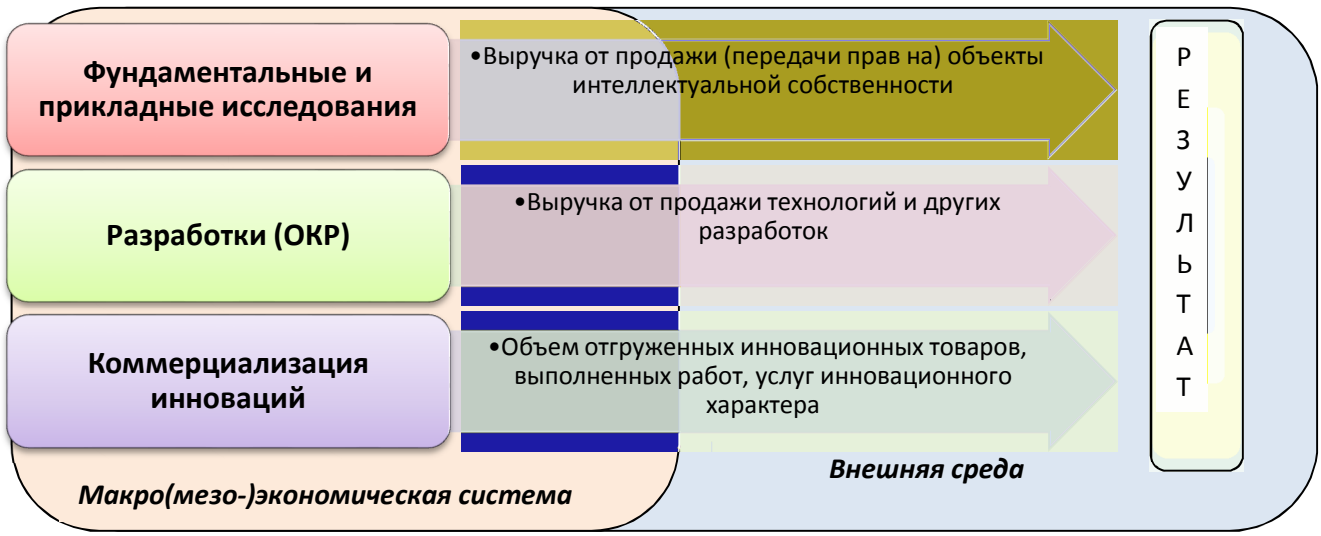


Рис. 1. Графическая интерпретация авторского подхода к показателям результативности инновационного процесса в системе оценки их экономической эффективности

При этом во избежание двойного учета промежуточных результатов инновационного процесса внутри и вне экономической системы в расчетах показателя эффективности инновационного процесса в целом считаем целесообразным учет выручки от продажи (передачи прав) на объекты интеллектуальной собственности, технологий и других результатов ОКР только во внешнюю среду. В то же время в процессе определения соответствующих показателей эффек-

тивности для отдельных этапов инновационного процесса считаем более корректным учет полных объемов выручки, формируемой как внутри экономической системы соответствующего уровня, так и за ее пределами.

Еще одной важнейшей составляющей результативности инновационного процесса, по нашему мнению, выступает экономия неинновационных затрат (затрат, не связанных с реализацией инновационного процесса) экономической системы соответствующего уровня, например, экономия затрат внутренних потребителей результатов инновационного процесса.

В итоге, формулы (1)-(2) преобразуется к виду, «очищенному» от невостребованных в анализируемый период времени промежуточных и конечных экономических результатов инновационного процесса:

$$Э'_{фпи} = \frac{Р_{вои}+Э_{з\ неин}}{З_{фпи}} \quad (3)$$

$$Э'_{окр} = \frac{Р_{вт}+Э_{з\ неин}}{З_{р}} \quad (4)$$

$$Э'_{ком} = \frac{Р_{оит}+Э_{з\ неин}}{З_{ком}} \quad (5)$$

$$Э'_{ип} = \frac{(Р_{вои(внеш)}+Р_{вт(внеш)}+Р_{оит})+Э_{з\ неин}}{З_{фпи}+З_{р}+З_{ком}} \quad (6)$$

где $Р_{вои}$ – выручка от продажи (передачи прав) на объекты интеллектуальной собственности, тыс. руб.; $Р_{вои(внеш)}$ – выручка от продажи (передачи прав) на объекты интеллектуальной собственности во внешнюю для экономической системы среду, тыс. руб.; $Р_{вт}$ – выручка от продажи технологий и других результатов ОКР, тыс. руб.; $Р_{вт(внеш)}$ – выручка от продажи технологий и других результатов ОКР во внешнюю для экономической системы среду, тыс. руб.; $Р_{оит}$ – объем отгруженных инновационных товаров, выполненных работ, услуг инновационного характера, тыс. руб.; $Э_{з\ неин}$ – экономия неинновационных затрат экономической системы в результате реализации инновационного процесса, тыс. руб.

Полагаем, основным недостатком предложенной совокупности показателей (равно как и других показателей, рассчитываемых статическими методами) является то, что они не учитывают различия в ценности денежных средств во времени, а также распределение затрат и доходов на протяжении рассматриваемого периода. А для инновационных процессов, характеризующихся высокой длительностью, это обстоятельство является существенным. Указанные особенности и недостатки позволяют преодолеть общеизвестные динамические методы, применение которых в рамках сформированной нами методологии приведет к трансформации формул (3)-(6) к виду:

$$ДЭ_{фпи} = \frac{\sum_{i=0}^{n}(Р_{вои(i)}+Э_{з\ неин(i)})\times\propto_i}{\sum_{i=0}^{n}З_{фпи(i)}\times\propto_i} \quad (7)$$

$$ДЭ_{окр} = \frac{\sum_{i=0}^{n}(Р_{вт(i)}+Э_{з\ неин(i)})\times\propto_i}{\sum_{i=0}^{n}З_{р(i)}\times\propto_i} \quad (8)$$

$$ДЭ_{ком} = \frac{\sum_{i=0}^{n}(Р_{оит(i)}+Э_{з\ неин(i)})\times\propto_i}{\sum_{i=0}^{n}З_{ком(i)}\times\propto_i} \quad (9)$$

$$ДЭ_{ип} = \frac{\sum_{i=0}^{n}(Р_{вои(i\ внеш)}+Р_{вт(i\ внеш)}+Р_{оит(i)}+Э_{з\ неин(i)})\times\propto_i}{\sum_{i=0}^{n}(З_{фпи(i)}+З_{р(i)}+З_{ком(i)})\times\propto_i} \quad (10)$$

где $ДЭ_{фпи}$, $ДЭ_{окр}$, $ДЭ_{ком}$, $ДЭ_{ип}$ – дисконтированные показатели эффективности соответственно этапов фундаментальных и прикладных исследований, разработок, коммерциализации инноваций и инновационного процесса в целом; $\propto_i$ - коэффициент дисконтирования на *i*-том шаге расчета.

Кроме того, оценка динамической эффективности инновационного процесса может быть произведена на основе моделирования эталонной динамики показателей, характеризующих ключевые результаты отдельных стадий инновационного процесса. Исходя из логики процессно-ориентированного подхода, темпы роста показателей результативности каждого последующего этапа инновационного процесса должны опережать темпы роста показателей предыдущего этапа:

$$Тр(Р_{фпи}) < Тр(Р_{окр}) < Тр(Р_{ком}) \quad (11)$$

где $Тр(Р_{фпи})$, $Тр(Р_{окр})$, $Тр(Р_{ком})$ – темпы роста стоимостной оценки результатов соответствующих этапов инновационного процесса.

В итоге, вышепредставленные показатели можно структурировать следующим образом (рис. 2).

Выводы. Таким образом, использование предлагаемой в работе структурированной совокупности показателей позволит ответить на вопрос, насколько экономически эффективно реализуются инновационные процессы на уровне макро-(мезо)экономичесих систем в соответствующем срезе. Проведение ретроспективного, а также сравнительного многомерного анализа полученных результатов даст возможность не только выявить «узкие места» процесса, но и указать на просчеты в стратегическом и оперативном управлении инновационным развитием экономической системой.

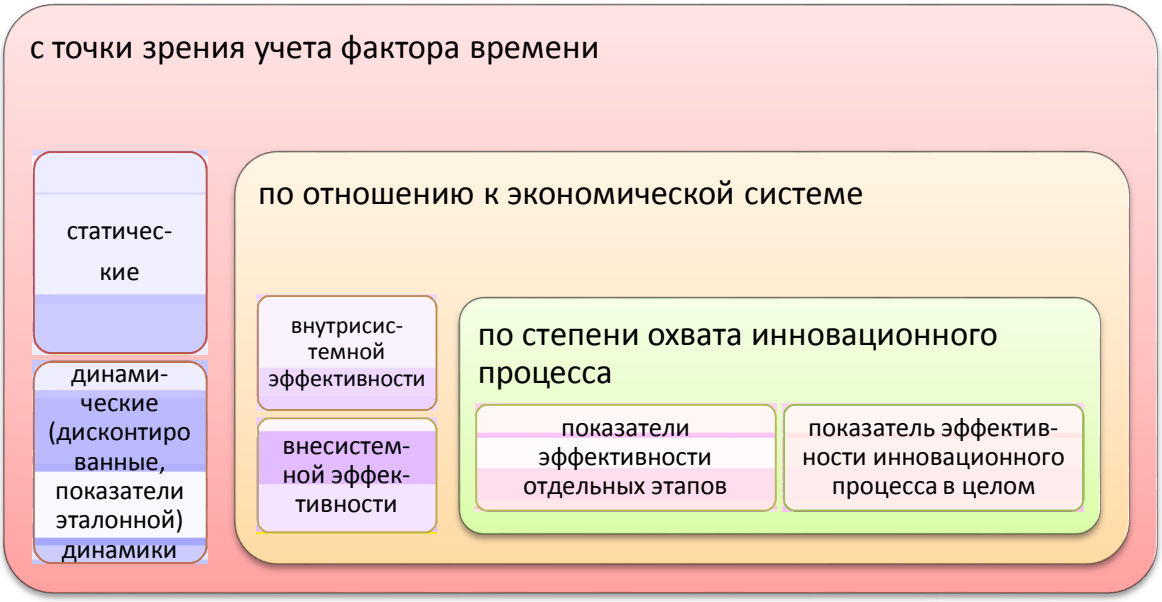


Рис. 2. Структурированная система показателей экономической эффективности инновационных процессов

**Статья опубликована при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова на 2012-2016 годы (№ 2011-ПР-146)*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аркатов А.Я., Брежнев А.Н., Курбатов В.Л. Критерии успешности инновационного проекта // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. №3. С. 137-139.

2. Бухонова С.М., Дорошенко Ю.А. К оценке экономической эффективности инноваций разных типов // Экономический анализ: теория и практика. 2005. №3. С. 13-18.

3. Сомина И.В. Методология и методические аспекты оценки экономической эффективности в сфере инновационной деятельности // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. №4. С. 142-145.

4. Сомина И.В. Оценка инновационной деятельности экономических систем на основе процессного подхода //Социально-гуманитарные знания. 2012. №8. С. 294-301.

5. Сыроежин И.М. Совершенствование системы показателей эффективности и качества. М.: Экономика, 1980. 190 с.

6. Федеральная служба государственной статистики. Официальная статистика. Наука, инновации и информационное общество. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/science_and_innovations/science/# (дата обращения 24.06.2015).

7. Управление инновациями и интеллектуальной собственностью фирмы / [С.В. Валдайцев и др.]; под ред. С.В. Валдайцева: монография. М.: Проспект, 2014. 416 с.

Somina I.V.

STRUCTURING INDICATORS OF ECONOMIC EFFICIENCY OF INNOVATIVE PROCESSES ON MACRO - AND MESOLEVEL

Methodological aspects of structuring indicators of economic efficiency of the innovative processes which are carried out in economic systems macro - and mesolevel are presented in article. The method of calculation of concrete indicators is developed, offers on addition and development of the Russian practice of official statistical supervision for the purpose of complex information support of use of author's development are made.

Key words: *innovative process, economic efficiency, iandicator, economic system.*

Спиридонов Э.С., д-р техн. наук, проф.
Московский государственный университет путей сообщения
Духовный Г.С., акад. РАТ, канд. техн. наук, проф.,
Супрун Э.В., аспирант
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА

railway_bel@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы структурного моделирования строительных и производственных ячеек и процессов с целью повышения эффективности ведения строительно-монтажных работ на объектах строительного комплекса. Также даётся математическое описание целенаправленной последовательности функционирования производственных процессов и организационных ячеек, действующих в системе строительного производства и влияющих на эффективность возведения строительного объекта.

Ключевые слова: *модель, моделирование, строительный процесс, структура, инновации.*

Строительство является сложной, вероятностной и динамической системой. Оценка анализа явления производственных ситуаций, возникающих в пространственном и временном поле ведения строительства и выполнения строительных работ, позволяет правильно определить траекторию деятельности строительного комплекса на объекте. Для этого следует четко описать функциональное взаимодействие всех элементов инфраструктуры, входящих в систему строительства, оценивая не только связь элементов, но и влияние окружающей среды на качественное функционирование этих элементов. Это выполняется с применением построения моделей изучаемого производственного явления или оргструктур, входящих в производство.

Для целостного восприятия и анализа тех явлений и производственных ситуаций, которые возникают на всем пространстве строительной площадки в ходе выполнения строительно-монтажных работ, требуется четкое описание функционального взаимодействия всех элементов структур, входящих в систему «Строительство», как между собой, так и с окружающей средой. Для этого прибегают к построению ***модели*** изучаемого явления.

Модель (от франц. modele, итал. modelio, лат. modulus - мера, мерило, образец, норма), в широком смысле - абстрактное представление реального объекта, т. е. промежуточное звено между человеческим мышлением и реальной действительностью [1].

Моделирование, как универсальный метод познания и важнейшая категория системного анализа, представляет собой замещение одного объекта другим, причем любой природы, с целью получения информации о важнейших свойствах *объекта-оригинала* с помощью *объекта-модели* и принятия соответствующего решения регулирующего свойства [1].

Исходя из высказанного, функциональная модель любой из выбранных нами структур должна представлять собой в том или ином, удобном для восприятия виде логическое описание всех присутствующих в этой структуре свойств и производственных ситуаций, возникающих в ходе выполнения строительных процессов [2].

Важнейшей особенностью моделирования является *иллюстративность,* т. е. наглядность представления модели. В большинстве случаев модели производственного характера изображаются графически, в формализованном виде, т. е. в виде *кодированных элементов*, объединяемых, в случае необходимости, в однородные блоки, и *информационных связей*, отражающих порядок и ход взаимодействия этих элементов (блоков) между собой.

Прежде всего формализуем одно из направлений технологической подсистемы строительного производства - *технологию возведения сооружения*. В системе «Строительство» это направление можно представить в виде *организационно-технологической структуры возведение сооружения (ОТС ВС),* входящей, наряду с ИТС ПСП в систему «Строительство» и интегрирующей в объектный строительный процесс массу простых (рабочих) и комплексных процессов, элементы ресурсных групп строительных технологий, их организационные параметры и, как результат функционирования всех этих составляющих - строительную продукцию. Построение подобной модели представим ниже (для удобства изложения и восприятия данной модели несколько изменим аббревиатуру принятых ранее обозначений).

Сложный (объектный) строительный процесс {П}, организованный для создания конечной строительной продукции в виде готового к эксплуатации сооружения, состоит из простых и комплексных процессов. Совокупность параметров, характеризующих все виды процессов:

$$\{П\} = \{П_1, П_2, ..., П_T\} \quad (1)$$

Целенаправленную последовательность функционирования каждого строительного процесса осуществляют рабочие (ТР), управляющие техническими средствами (ТС) и воздействующие с их помощью на предмет труда (МР). В формуле 2 в формализованном виде представлена совокупность параметров, характеризующих эти виды ресурсов.

$$\begin{aligned} \{TP\} &= \{[TP]_1, [TP]_2, ..., [TP]_j\}, \\ \{TC\} &= \{[TC]_1, [TC]_2, ..., [TC]_i\}, \\ \{\text{МР}\} &= \{[MP]_1, [MP]_2, ..., [MP]_k\} \end{aligned} \quad (2)$$

Ритмичное осуществление строительных процессов обеспечивается соответствующим выбором *пространственных* и *временных* параметров.

В первом случае объемное пространство возводимого объекта, например, моста, разделяется как по *структурному (конструктивному) признаку* (опоры, пролетные строения и т.п.), так и по *организационному признаку* (монтажные участки, зоны, захватки и т.п.) [3]. Совокупность параметров и характеристик, определяющих *конечную продукцию* (КП), как общую конструкцию возводимого сооружения, обозначим через комплекс *продукций промежуточных* (ПП).

$$\{КП\} = \{[ПП]_1, [ПП]_2, ..., [ПП]_L\} \quad (3)$$

Во втором случае учитывается *фактор времени* (т), параметры которого определяют выполнение строительного процесса во времени и его общую продолжительность, базируясь на максимальном совмещении, ритмичности и поточности выполнения отдельных операций. Совокупность параметров, характеризующих время протекания строительно-технологического процесса (СТП), обозначим следующим образом:

$$\{T\} = \{T_1, T_2, ..., T_t\} \quad (4)$$

Строительная площадка, на которой осуществляются строительные технологии, характеризуется рядом параметров и факторов, воздействующих на ход выполнения строительных процессов. Главными из них являются условия производства работ (климатические, технические, организационные, инженерно-геологические, региональные и др.). Совокупность этих условий обозначим:

$$\{Ф\} = \{Ф_1, Ф_2, ..., Ф_n\} \quad (5)$$

Связи между рассмотренными элементами *организационно-технологической структуры возведения сооружения* (ОТС ВС) определяют её *модель* (Мвс), которую в обобщенном виде представим:

$$\{M_{вс}\} = \{П\} * \{TP\} * \{TC\} * \{MP\} * \{КП\} * \{T\} - \{Ф\} \quad (6)$$

Чем правильней определены параметры отдельных элементов технологии возведения сооружения, чем ближе соответствие одного элемента другому, тем выше показатели эффективности и надежность объектного строительного процесса.

На рис. 1 представлено графическое изображение рассмотренной модели.

Функциональная модель *информационно-технологической структуры процессов строительной площадки (ИТС ПСП)* более конкретно отображает взаимодействие объектов (сооружений) строительных и информационных технологий и их элементов, участвующих в создании конечной строительной продукции. Формируя подобную модель, графическое изображение которой представлено на рис. 2, совокупность значений организационно-технологических параметров функциональных элементов структуры представим в виде двух блоков - *технологического* и *организационного*.

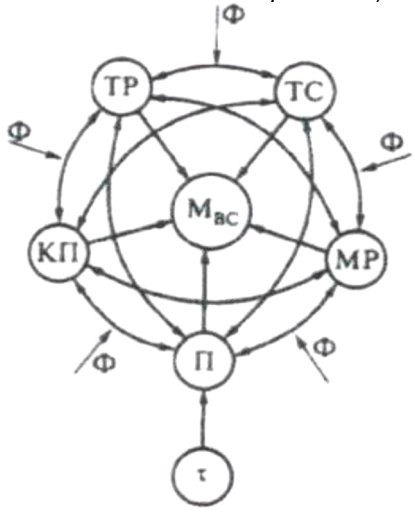


Рис. 1. Графическое представление модели организационно-технологической структуры возведения сооружения

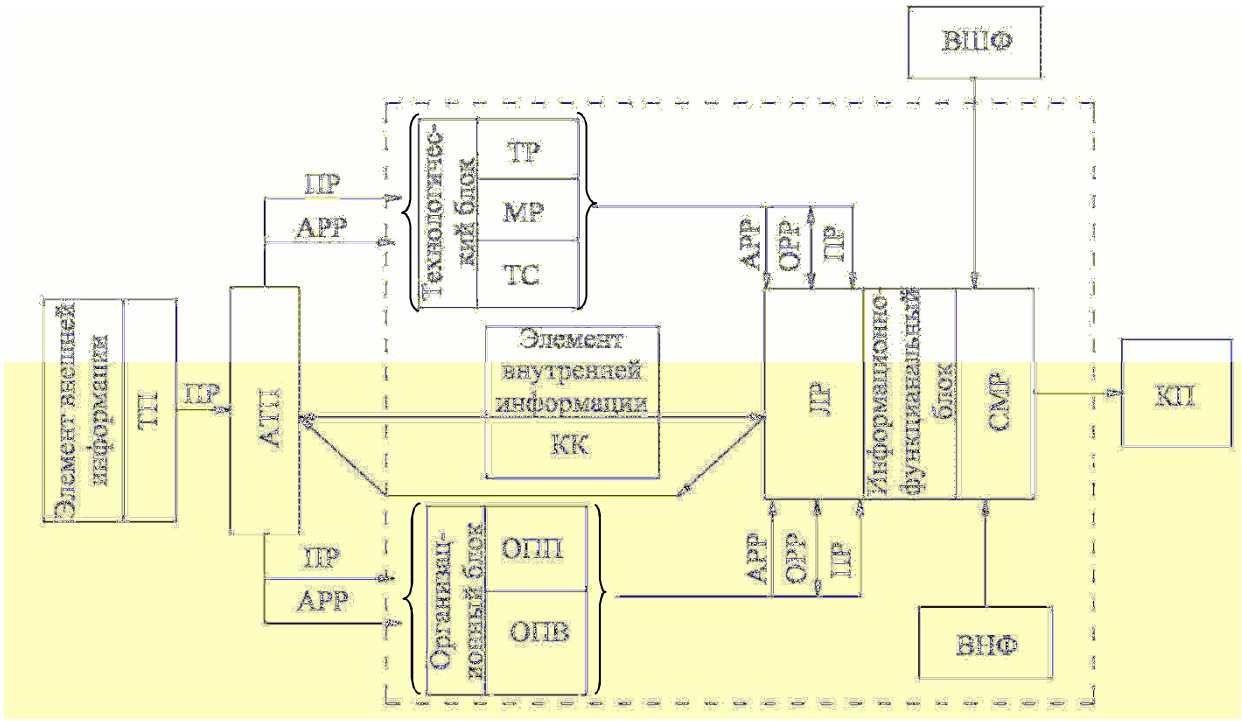


Рис. 2. Графическое представление функциональной модели информационно-технологической структуры процессов строительной площадки

Технологический блок, определяющий *методы* выполнения каждого строительного процесса, включает значения параметров входящих в него элементов: *трудовых ресурсов (ТР), технических средств (ТС) и материальных ресурсов (МР)*. В целях повышения долговечности и обеспечения сохранности строительных объектов, повышения экологической безопасности и качества капитального ремонта *ТС* и *МР* должны включать в себя инновационные решения в виде новых технологий, материалов, конструкций, машин и механизмов [5].

Организационный блок включает пространственные и временные параметры элементов, отражающих *взаимодействие* всего комплекса технологических процессов строительной площадки *в пространстве (ОПП) и во времени* ***(ОПВ).***

Функциональное пространство элементов технологического и организационного блоков представлено в модели в виде *информационно-функционального блока (ЛР-СМР),* определяющего место непосредственного производства *строительно-монтажных работ (СМР)* на возводимом объекте и *линейное руководство (ЛР)* этими работами, осуществляемое бригадирами, мастерами, прорабами и начальниками участков.

Наряду с элементами, составляющими информационную основу процессов строительной площадки (технологическое проектирование (ТП), контроль качества (*КК),* сообщения линейных руководителей (*ЛР)),* и информационными связями в модель включен ряд элементов, не отмеченных ранее, но, в той или иной мере, влияющих на ход строительно-монтажных работ и на принятие регулирующих решений. С ними мы ознакомимся в ходе описания модели.

На этапе *технологического проектирования (*ТП) немаловажное внимание уделяется применению инноваций — прогрессивных технологий, материалов и конструкций. Материалы *ТП*, как элемент внешней информации, по каналам внешней связи поступают в *административно-технические подразделения (блок АТП)* строительной организации, возглавляемые, как правило, главным инженером (производственно-технический отдел, отделы главного механика, главного энергетика, технического контроля и т. д.).

После соответствующей обработки полученной документации по исходным параметрам строительных процессов формируется необходимая для начала работ *информация*, которой наполняются *технологический* и *организационный блоки.* На данном этапе также определяется порядок планирования, организации работ и информационного обеспечения инновационной деятельности, а также организации учета, отчетности и контроля выполнения работ по

освоению инновационной продукции. *Инновационная деятельность* – выполнение и оказание услуг, направленных на: создание и организацию производства новой продукции (работ); создание и применение новых технологий ее производства и использования; применение структурных, финансово-экономических, кадровых, информационных и иных нововведений при выпуске и сбыте продукции (работ), обеспечивающих экономию затрат или создающих условия для такой экономии [4].

Представленная в форме технологической документации (проектов производства работ, технологических карт, карт трудовых процессов), информация по каналам *прямой информационной связи (ПР-проектные решения)* направляется на строительную площадку (выделена на рис. 2 пунктирной линией) в распоряжение *линейных руководителей* для ознакомления и организации начального этапа строительно-монтажных работ (*информационно-функциональный блок)*. Оформляется исходная технологическая документация в виде текстового и графического материала, разработанного с соблюдением единых требований нормализации строительного производства и содержащего необходимые для выполнения работ проектные решения *(связь ПР)* по всем организационно-технологическим параметрам строительных процессов. В ходе выполнения строительно-монтажных работ технологические процессы постоянно видоизменяются как качественно, так и количественно, перемещаются в пространстве и во времени. Если процессы функционируют в соответствии с заданными параметрами, то регулирующего вмешательства в ход выполнения этих процессов не требуется.

Однако, под влиянием *внешних* и *внутренних* факторов, обусловленных причинами объективного или субъективного, производственного или непроизводственного характера, в выполнении строительных процессов могут наблюдаться отклонения от заданных проектных решений, что вызывает необходимость принятия на том или ином уровне, на той или иной стадии производства работ соответствующего *регулирующего* решения.

К *внешним факторам (ВШФ),* вызывающим сбой хода выполнения строительных процессов, можно отнести:

- нарушение сроков снабжения строительными материалами, конструкциями и деталями;
- недопоставки технических средств;
- неполное обеспечение рабочей силой;
- прекращение снабжения электро-энергией;
- резкие изменения погодных условий и т. д.

К числу *внутренних факторов (ВНФ)* относятся:

- неподготовленность фронта работ;
- простой машин, механизмов и транспортных средств из-за поломок или по организационным причинам;
- брак в работе, допущенный в результате нарушения технических условий и технологии производства работ;
- нарушение трудовой дисциплины и т. д.

Необходимая информация о всякого рода отклонениях формируется *линейными руководителями* (источник информации - *блок ЛР-СМР*) и по результатам *систематически проводимого контроля качества строительной продукции (элемент КК)*. Эти два источника *внутренней* информации являются начальным импульсом выработки и принятия *решения*, направленного, в случае необходимости, на внесение соответствующих корректировок в ход выполнения строительных процессов. *Организационно-технологические решения* о таких корректировках и механизм их проведения могут приниматься на различных уровнях руководства производством, в зависимости от характера информации и причин отклонений. Так, по отклонениям, вызванным, в основном, внешними факторами, регулирующее решение принимается, как правило, на уровне *административно-технических подразделений* строительной организации, а информация о таком *административно-регулирующем решении (АРР)* по каналам обратной связи направляется линейным руководителям. Если отклонения носят *локальный характер* и могут быть устранены силами *линейных руководителей,* то ими принимается *оперативное регулирующее решение (ОРР*).

Своевременное принятие решений (на любом уровне), регулирующих ход выполнения строительно-монтажных работ, позволяет компенсировать воздействие дестабилизирующих факторов на заданные проектом организационно-технологические параметры процессов строительной площадки и получить *конечную продукцию (КП)* заданного свойства.

Интеграция материальной и информационной сфер строительных процессов, структура и четкость прямых и обратных связей

между ними является одним из главных направлений технологического проектирования и управления реальными производственными ситуациями, возникающими на строительной площадке. Это направление основано на принципах получившей в последние годы развитие методики исследования – *системотехники строительства*. Она представляет собой научную дисциплину, изучающую технические, технологические, организационные, управленческие, экономические и другие строительные системы и межсистемные связи, содействующие достижению конечного результата. Методологической основой системотехники строительства является, в частности, системный подход.

Принципиальные положения системотехники строительства вкупе с использованием современной вычислительной техники находят свое практическое воплощение в создании и использовании интегрированных систем управления (ИАСУ) производством, объединяющих в едином комплексе решение задач автоматизации проектирования (САПР), управления производством (АСУП), подготовки производства (АСУТП), материальными потоками, организационно-административной деятельностью, контролем качества.

Выявление необходимых закономерностей, методов статистических испытаний, обеспечения необходимого качества позволило создать соответствующую теорию моделирования технологии и организации строительства на базе системного анализа, надежности и методов ее приложения к техническим системам. Надежность систем обязательно рассчитывают согласно регламентам и пока используемым нормативным документам, начиная со стадии проектирования, а также инвестирования и заканчивая эксплуатацией объектов.

В организации строительного производства обеспечить надежность значительно сложнее, так как строительство представляет собой одну из наиболее сложных и больших систем, имеющих взаимосвязи не только внутри самих строительных корпораций, но и с другими отраслями народного хозяйства.

Дестабилизирующие факторы влияют на все стадии инвестиционного процесса строительства и непосредственно на любую из составляющих подсистем возведения объекта, что затрудняет определение исходной причины возникновения отказа. Кроме того, отказ в одной из подсистем строительства может вызвать отказ в другой подсистеме, что влияет, но косвенно, через другие подсистемы на результат объекта, что приводит к отказу всей системы в целом.

Отказы в строительных процессах появляются в результате возникновения многочисленных и разнообразных организационно-технологических факторов, дестабилизирующих производство работ, а также взаимодействия их между собой. Исследование таких воздействий связано с изучением влияния каждого фактора на функционирование строительного процесса в области организации строительства, изготовления конструкций, их транспортировки, возведения сооружений и требует системного рассмотрения на всех этапах деятельности строительной системы.

Для каждого конкретного объекта строительства выбирают оптимальный вариант технологии и организации производства работ, учитывающий не только реальные средства механизации, численный и квалификационный состав исполнителей, условия поставки изделий и материалов, интенсивность строительных процессов, но и возможность внедрения инновационных решений, которые определяют технологически целесообразную продолжительность возведения объекта и высокое качество строительства.

Вероятностный характер строительства заключается в том, что на ход работ все время воздействуют различные случайные факторы. Эти воздействия трудно предвидеть и оценить. Случайные факторы имеют весьма многообразную природу, и последствия их воздействия весьма многообразны. Только системный анализ позволяет сформулировать оптимальный вариант технологии и организации строительства объектов, о чем свидетельствуют предложенная авторами модель увязки различных факторов в единую комплексную систему введения строительство монтажных работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Спиридонов Э.С., Призмазонова А.М., Шепитько Т.В., Акуратов А.Ф. Технология железнодорожного строительства. М.: ФГБОУ УМЦ, 2013. 592 с.

2. Спиридонов Э.С., Полянский А.В. Интеллектуализация разработки оптимальных организационно-технологических решений для железнодорожного строительства. Е.:УрГУПС, Сборник НИР, 2011. 5 с.

3. Спиридонов Э.С., Духовный Г.С., Логвиненко А.А., Хоружая Н.В. Научные методы к оценке качества продукции строительства транспортных объектов //

Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2009. №2. С. 113-116.

4. Дорошенко Ю.А., Бухонова С.М., Евтушенко Е.И., Хожаев И.С. Инновационные проекты промышленных предприятий: методы оценки эффективности. Изд.: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2011. 155 с.

5. Духовный Г.С., Мирошниченко С.И., Головина О.Н. Повышение эффективности автомобильных дорог промышленного транспорта // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2009. № 3. С. 155-157.

Spiridonov E.S., Dukhovny G.S., Suprun E.V.

ECONOMIC EFFICIENCY OF SIMULATION OF CONSTRUCTION TECHNOLOGY AND ORGANISATION

The article examines issues of structural modeling of construction and manufacturing cells and processes in order to improve the efficiency of construction and assembly work at the construction industry. Also, a mathematical description of the targeted consistency of the production processes and organizational cells operating in the construction industry and influencing the efficiency of the construction on construction site.

Key words*: model, simulation, construction process, structure, innovation*

Романович Л.Г., канд. экон. наук, доц.,
Евтушенко Е.И., д-р техн. наук, проф.,
Романович М.А., канд. экон. наук
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

МАЛЫЙ БИЗНЕС СФЕРЫ ИННОВАЦИЙ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛИЗАЦИИ*

Roma-kons@yandex.ru

Достижение устойчивого экономического роста и повышение национальной конкурентоспособности является комплексной задачей, успех которой определяется развитием экономических институтов и созданием новых конкурентных преимуществ. Максимально конкурентоспособной становится экономика, в которой знания и инновации создаются, распределяются и используются эффективно. Поэтому на современном этапе развития мировой экономической системы переход к экономике знаний становится одним из решающих элементов национальной стратегии повышения конкурентоспособности страны на международной арене.

В статье рассмотрены актуальные вопросы развития малого инновационного бизнеса в современных условиях глобализации - усиления в глобальном масштабе конкурентной борьбы за факторы, определяющие конкурентоспособность инновационных систем.

Ключевые слова: *малые инновационные предприятия, глобализация, инновационная деятельность, трансфер технологий.*

Введение. В экономически развитых странах сектор малого предпринимательства играет важную роль в социально-экономическом развитии и повышении уровня благосостояния населения, обеспечивает значительную долю валового внутреннего продукта и занятость населения. Малый инновационный бизнес в передовых зарубежных странах стал основным объектом инвестирования. Потребляя от 2 до 5% общего объема финансирования в научно-технической сфере, предприятия малого наукоемкого бизнеса создают до 50% крупных нововведений и являются лицензиарами почти 50% инноваций на мировом рынке. В наиболее развивающихся отраслях (информатика, электроника и биомедицинская техника) из общего количества действующих фирм малые предприятия численностью до 100 человек составляют свыше 80% [1].

Мировая социально-экономическая ситуация характеризуется: высокими темпами технологического развития и модернизации, глобализацией производства и рынков, повышенными требованиями к качеству товаров и услуг, введением единых международных стандартов качества. Но субъекты малого предпринимательства в массе своей не в состоянии реализовывать всю полноту управленческих функций. Это касается ресурсного обеспечения на старте бизнеса и минимизации затрат на сервисные управленческие функции, такие как исследование рынка, поиск партнеров и заказов, информационное и правовое обеспечение и т.п. Поэтому малые предприятия нуждаются в поддержке со стороны государственных и общественных структур [2].

Основная часть. Тема поддержки малого бизнеса в условиях глобализации приобрела особую актуальность в силу неразвитости механизмов и проблем с улучшением предпринимательского климата. Так, результаты общероссийского опроса, проведенного в 2013 году Всероссийским центром изучения общественного мнения (ВЦИОМ), показали: за последние годы, россияне стали более негативно оценивать условия для развития бизнесом в своем населенном пункте (таблица 1).

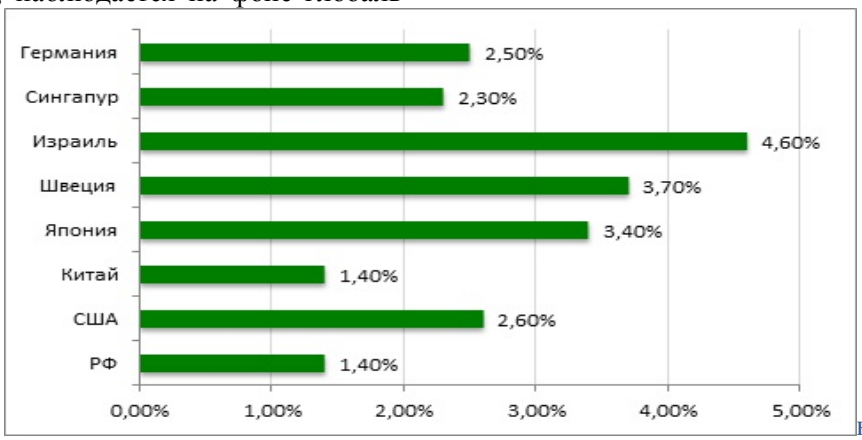
Таблица 1

Результаты общероссийского опроса [3]

Как Вы считаете, каковы в нашем городе (селе) условия для развития малого бизнеса, \частного предпринимательства? (закрытый вопрос, один ответ)		
Ответы	2009 г.	2013 г.
Условия, безусловно, хорошие	3	2
Скорее хорошие	27	23
Скорее плохие	31	38
Условия, безусловно, плохие	13	17
Затрудняюсь ответить	26	20

Так, если в 2009 году условия для развития малого бизнеса плохими считали 44 % опрошенных, то в 2013 году – уже 55 %. Большинство россиян, не имеющих собственного бизне-

са, сообщают, что не планируют и в будущем обзаводиться своим делом (72 %). Планируют заняться предпринимательством 16 %. [3]. Указанная тенденция в малым бизнесе, и особенно в инновационном, наблюдается на фоне глобальных изменений в сфере мировой экономики. Представляет также интерес диаграмма «Инвестиции в инновации по отношению к ВВП» (рис.1).[4].



клюев

Рис. 1. Инвестиции в инновации по отношению к ВВП [idem]

Указанные пропорции говорят об огромных резервах в развитии инноваций, учитывая существенные изменения в бюджетной политике поддержки инновационного движения в Российской Федерации. В данном контексте подходит высказывание, что «...тот, кто опережает других в инновационном развитии, тот и является лидером... » [5].

Таким образом, естественно, что в Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года отмечается, что российская экономика оказалась перед долговременными системными вызовами, отражающими мировые тенденции и внутренние барьеры развития. Ключевыми из таких внешних вызовов в части инновационного развития являются: Ускорение технологического развития мировой экономики. Реальными конкурентами России становятся не только страны-лидеры в сфере инноваций, но и многие развивающиеся страны. При этом переход экономик стран-лидеров на следующий (шестой) технологический уклад, технологическая революция в ресурсосбережении и альтернативной энергетике, резко повышает неопределенность в развитии страны, основу специализации которой на мировых рынках составляет экспорт традиционных энергоносителей.

Мировой экономический кризис усилил важность этого вызова для России. Связано это в первую очередь с тем, что инвестиции в технологическое развитие, в «инновационный рывок» рассматриваются развитыми странами («старые» члены ЕС), а также растущими экономиками Китая, Индии, Бразилии в качестве ключевой антикризисной меры.

Инвестиции, которые предполагалось осуществлять в течение нескольких лет, были резко «приближены» – в рамках антикризисных пакетов развитых стран выделены десятки миллиардов долларов дополнительных инвестиций в развитие медицины, биотехнологий, альтернативной и возобновляемой энергетики, атомной отрасли, информационных технологий. Столь мощные финансовые вливания могут на 3–5 лет приблизить смену технологического уклада.

Один из ключевых вызовов для страны – это усиление в глобальном масштабе конкурентной борьбы за факторы, определяющие конкурентоспособность инновационных систем, в первую очередь, за высококвалифицированную рабочую силу и «умные» деньги (инвестиции, привлекающие в проекты новые знания, технологии, компетенции), резкое повышение мобильности этих факторов. В условиях невысокой эффективности национальной инновационной системы это означает ускоренное «вымывание» из страны сохраняющегося конкурентоспособного потенциала – кадров, технологий, идей, капитала.

Вызовы, с которыми сталкивается не только Россия, но и человечество в целом – изменение климата, старение населения и вызовы здравоохранения, продовольственная безопасность в глобальном масштабе. Эти вызовы диктуют необходимость опережающего развития отдельных специфичных направлений научных исследований и технологических разработок («чистая» энергетика, геномная медицина, новые технологии в сельском хозяйстве и т.д.), по многим из которых во многих странах нет существенных заделов.

Для того чтобы ответить на эти вызовы, России необходимо радикально более глубоко интегрироваться в мировую инновационную систему. Неспособность же ответить на данные вызовы означает сужение «окна возможностей» для перехода к инновационной экономике.

В тоже время в Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года определены амбициозные цели – обеспечение высокого уровня благосостояния населения, закрепление геополитической роли страны как одного из глобальных лидеров, определяющих мировую политическую повестку дня. Это означает необходимость формирования экономики лидерства и инноваций. Количественные показатели такой экономики к 2020 году – занятие существенной доли (в 5–10 %) на рынках высокотехнологичных и интеллектуальных услуг по 5–7 позициям, повышение в два раза доли высокотехнологичного сектора в ВВП (с 10,9 до 17–20 %), увеличение в пять-шесть раз доли инновационной продукции в выпуске промышленности, в четыре-пять раз – доли инновационно активных предприятий (с 9,4 до 40–50 %) [6].

На наш взгляд, а также, по мнению ряда аналитиков, в России и других государствах постсоветского пространства переход на инновационную модель затягивается. Малый бизнес и особенно в сфере инноваций, пока не имеет той существенной государственной поддержки и льгот, благодаря которым обеспечен «инновационный прорыв» и социально-экономический рост стран – лидеров в сфере инноваций [2].

Так, в настоящее время в области отдельных отечественных технологий происходит отставание от развитых стран на несколько десятилетий. За двадцать лет реформ внедрено и освоено порядка 10 % существенных нововведений в производстве [8].

Выводы. Таким образом, анализируя проблематику современного развития малого инновационного бизнеса в условиях глобализации, считаем целесообразным, обратить внимание на следующие положения:

1) Как показывает положительный опыт экономически развитых стран - в инновационной экономике именно государство принимает на себя роль лидера, способного накапливать и распространять знания по индустриальной стратегии, проводимой на всех уровнях, и вызываемых ею трансформациях, активно участвует в формировании и продвижении инновационных преимуществ территории.

2) Мировая практика сочетания мер и форм стимулирования инновационной деятельности малых предприятий разнообразна и обширна. В последнее десятилетие также накоплен положительный опыт у России. В тоже время развитие инновационных процессов происходит медленно, не всегда осуществляется правильный выбор приоритетов и инструментов стимулирования инновационной деятельности, что содействует кризису в научно-технической сфере, приводит к нерациональному использованию значительных объемов финансовых ресурсов.

3) Новые технологии и обеспечиваемый ими рост эффективности позволяют добиваться главного условия национальной (страновой) и отраслевой конкурентоспособности: производства товаров и услуг, которые соответствуют требованиям мировых рынков, на основе высокой производительности труда и при одновременном повышении реальных доходов населения.

4) Строить инновационную экономику можно и нужно, опираясь на международный опыт с международными партнерами, используя подходы, которые есть в наиболее передовых странах в отношении тех или иных технологических и институциональных решений. Например, на европейский опыт венчурного финансирования, который может значительно активизировать инновационный процесс в стране [7].

5) Увеличение финансирования и изменения институциональных и структурных особенностей развития отечественной экономики.

** Работа выполнена в рамках Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова на 2012–2016 годы.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Rudychev A.A., Romanovich L.G., Romanovich M.A. Incentives for innovative activity of young scientists on the basis of higher educational institutions in Russia. Experience of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov // World Applied Sciences Journal. 2013. T. 25. № 12. P.1754-1757.

2. Романович М.А., Евтушенко Е.И., Романович Л.Г. Стимулирование инновационной деятельности молодежи на базе высших учебных заведений // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 5. С. 150-152.

3. Официальный сайт Всероссийского центра изучения общественного мнения (ВЦИОМ) [Электронный ресурс] http://wciom.ru/index.php?id=459&uid=114167.

4. [Электронный ресурс] http://concol.ru/en/analytics/we-are-in-press/28-vpirit/188-a-brief-overview-of-the-development-of-innovations-in-russia-and-worldwide.

5. Луговая Е.С. Инновации как основа модернизации современного общества // Вестник Волгоградского государственного университета. Сер. 7, Филос. 2012. № 2 (17).

6. Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020г. утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 года № 1662- р.- Система ГАРАНТ (CD-ROM).

7. Романович Л.Г., Рудычев А.А., Романович М.А. Венчурное инвестирование в инновационные предприятия за рубежом и в России // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. №4. С. 123–126.

8. Романович Л.Г., Рошкована Е., Винокурова М. Международный опыт стимулирования инновационной деятельности в системе малого предпринимательства: монография // Белгород: Издательство: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2010.

Romanovich L.G., Evtushenko E.I., Romanovich M.A.

SMALL BUSINESS OF THE INNOVATIVE SPHERE IN THE AGE OF GLOBALIZATION

Achieving sustainable economic growth and improving national competitiveness is a complex task, the success of which is determined by the development of economic institutions and the creation of new competitive advantages. Becoming the most competitive economy in which knowledge and innovation are created, distributed and used effectively. Therefore, at the present stage of development of the world economic system, the transition to the knowledge economy becomes a critical element of the national strategy to increase the country's competitiveness in the international arena.

The article considers topical issues of development of small innovative business in modern conditions of globalization: increasing global competition for the factors determining the competitiveness of innovation systems, primarily for highly skilled working force and "clever" money (investments, attracting projects in new knowledge, technologies and competences), a sharp increase of mobility of these factors.

***Key words**: small innovative enterprises, globalization, innovation, technology transfer.*

НАШИ АВТОРЫ

Рахимов Равиль Зуфарович
Адрес: Россия, 420043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1. Казанский государственный архитектурно-строительный университет.
E-mail: Rahimov@ksaba.ru

Панченко Лариса Александровна
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра сопротивления материалов и строительной механики
E-mail: panchenko.bstu@mail.ru

Урханова Лариса Алексеевна
Адрес: Россия, 670000, Улан-Удэ, ул. Смолина, д. 26. Восточно-Сибирский Государственный Университет Технологий и Управления, кафедра производство строительных материалов и изделий
E-mail: urkhanova@mail.ru

Высоцкая Марина Алексеевна
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра строительства автомобильных дорог и аэродромов.
E-mail: roruri@rambler.ru

Алфимова Наталия Ивановна
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра строительного материаловедения, изделий и конструкций.
E-mail: alfimovan@mail.ru

Даниленко Елена Петровна
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра городского кадастра и инженерных изысканий.
E-mail: danilenko_ep@mail.ru

Ядыкина Валентина Васильевна
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра автомобильных и железных дорог.
E-mail: vvya@intbel.ru

Козлов Николай Алексеевич
Адрес: Россия, 410054, Саратов, ул. Политехническая, д.77. Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., кафедра «Строительные материалы и технологии».
E-mail: kozlovnikolai@rambler.ru

Логачев Константинович Иванович
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра теплогазоснабжения и вентиляции.
E-mail: kilogachev@mail.ru

Тарасенко Виктория Николаевна
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра архитектуры.
E-mail: vell.30@mail.ru

Степанова-Третьякова Наталья Станиславовна
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра дизайна архитектурной среды.
E-mail: tristena@mail.ru

Логанина Валентина Ивановна
Адрес: Россия, 440028, г. Пенза, ул. Г. Титова, д. 28. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, кафедра «Стандартизация, сертификация и аудит качества».
E-mail: loganin@mai.ru

Лесовик Валерий Станиславович
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра строительного материаловедения, изделий и конструкций.
E-mail: naukavs@mail.ru

Коврижкина Ольга Викторовна
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра архитектуры и градостроительства.
E-mail: architektura_bgty@mail.ru

Строкова Валерия Валерьевна
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра материаловедения и технологии материалов.
E-mail: s-nsm@mail.ru

Серых Инна Робертовна
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра сопротивления материалов и строительной механики.
E-mail: inna_ad@mail.ru

Перькова Маргарита Викторовна
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра архитектуры.
E-mail: perkova.margo@mail.ru

Лебедев Владимир Михайлович
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра промышленного и гражданского строительства.
E-mail: lebedev.lebedev.v.m@yandex.ru

Есипов Станислав Максимович
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра строительства и городского хозяйства.
E-mail: sk31.sm@gmail.com

Клюев Сергей Васильевич
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра сопротивления материалов и строительной механики.
E-mail: Klyuyev@yandex.ru

Черныш Александр Сергеевич
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра городского кадастра и инженерных изысканий.
E-mail: gkadastr@mail.ru

Болтаев Артём Иванович
Адрес: Россия, 630090, Новосибирск, ул. Институтская, д. 4/1. Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича, лаборатория № 4.
E-mail: boltaev_artem@mail.ru

Фомина Екатерина Викторовна
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра материаловедения и технологии материалов.
E-mail: fomina.katerina@mail.ru

Ильинская Галина Геннадьевна
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра строительного материаловедения, изделий и конструкций.
E-mail: Galinyshka.87@mail.ru

Сулейманова Людмила Александровна
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра строительства и городского хозяйства.
E-mail: ludmilasuleimanova@yandex.ru

Шарапов Рашид Ризаевич
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра подъемно–транспортных и дорожных машин.
E-mail: ptdm_zavkaf@mail.ru

Семикопенко Игорь Александрович
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра механического оборудования.
E-mail: v.s_bogdanov@mail.ru

Щербинин Игорь Алексеевич
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им В.Г. Шухова кафедра электроэнергетики.
E-mail: 31rusacpirant@mail.ru

Вострикова Марина Александровна
Адрес: Россия, 350000, Краснодар, ул. 40 лет Победы, 33. Краснодарский государственный университет культуры и искусств, кафедра физической культуры и безопасности жизнедеятельности
E-mail: marishavostrikova@yandex.ru

Голдобина Валентина Григорьевна
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра технологии машиностроения
E-mail: tmrk@intbel.ru

Графкина Марина Владимировна
Адрес: Россия, 107023, Москва, ул. Большая Семеновская, 38. Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ), кафедра «Экологическая безопасность автомобильного транспорта».
E-mail: marina.grafkina@rambler.ru

Богданов Василий Степанович
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра механического оборудования.
E-mail: v.s_bogdanov@mail.ru

Бондаренко Иван Русланович
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра теоретической механики и сопротивления материалов.
E-mail: ivanbond85@rambler.ru

Радоуцкий Владимир Юрьевич
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра защиты в чрезвычайных ситуациях.
E-mail: zchs@intbel.ru

Шаптала Вадим Владимирович
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра информационных технологий
E-mail ShaptalaVadim@yandex.ru

Юдин Дмитрий Александрович
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра технической кибернетики
E-mail: yuddim@yandex.ru

Чуев Александр Викторович
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра технической кибернетики.
E-mail: chuev_a@mail.ru

Степовой Алексей Александрович
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра технической кибернетики.
E-mail: alekseji1991@yandex.ru

Кущев Леонид Анатольевич
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра ГТУ.
E-mail: DAV0212@yandex.ru

Бессмертный Василий Степанович
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра технологии стекла и керамики
E-mail: vbessmertnyi@mail.ru

Алмобарак Фалак
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра промышленной экологи.
E-mail: Malakalbashar88f@hotmail.com

Тарасова Галина Ивановна
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра промышленной экологии
E-mail: taga307@yandex.ru

Всяких Юлия Владимировна
Адрес: Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85. Белгородский государственный университет, кафедра финансов и кредитов.
E-mail: vsyakih@bsu.edu.ru

Демура Наталья Анатольевна
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра экономики и организации производства.
E-mail: ndemura@mail.ru

Слабинская Ирина Александровна
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедры бухгалтерского учета и аудита.
E-mail: slabinskaja@intbel.ru

Череповская Наталья Анатольевна
Адрес: Россия, 308015, Белгород, ул. Победы д. 85. Белгородский государственный национальный исследовательский университет, кафедра менеджмента организации.
E-mail: cherepovskaya@bsu.edu.ru

Щенятская Марина Александровна
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, кафедра экспертизы и управления недвижимостью.
E-mail: marine-r@mail.ru

Пивко Ирина Сергеевна
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра стратегического управления
E-mail: pivkoirina@mail.ru

Сомина Ирина Владимировна
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра стратегического управления.
E-mail: irasomina@yandex.ru

Духовный Георгий Самуилович
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, кафедра автомобильных дорог и аэродромов, секциея «Железные дороги мосты и тоннели».
E-mail: railway_bel@mail.ru

Романович Марина Алексеевна
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Инновационно-технологический центр.
E-mail: Bel31rm@yandex.ru

Научное издание

«Вестник БГТУ имени В.Г. Шухова»
№ 6, 2015 г.

Научно-теоретический журнал

Ответственный за выпуск Н.И. Алфимова
Компьютерная верстка Н.И. Алфимова
Дизайн обложки Е.А. Гиенко

Учредитель журнала – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего и профессионального 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 10.08.15. Подписано в печать 12.10.15 Формат 60×84/8
Усл. печ. л. 34,29. Уч.-изд. л. 36,88
Тираж 1000 экз. Заказ 305. 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