Министерство образования и науки Российской Федерации

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

РЕСУРСОЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ

Сборник научных трудов по материалам III Международной научно-практической конференции

Том 1

Саратов 2015

УДК 69.(06)
ББК 38
Р 44

В сборнике научных трудов III Международной научно-практической конференции «Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе», состоящем из двух томов, представлены достижения в области строительной, дорожно-строительной и энергетической отраслей промышленности. Широко представлены работы по исследованию и созданию различных материалов, на основе новых и традиционных местных материалов, а также работы по математическому моделированию процессов. Представлены исследования по оценке материалов, дорожных и строительных конструкций, рассмотрены вопросы энергоэффективности и энергосбережения.

Предназначен для студентов, аспирантов и преподавателей технических вузов; инженерно-технических работников строительной, дорожно-строительной, энергетической и других отраслей промышленности.

Редакционная коллегия:

доктор технических наук, профессор, советник РААСН,
почетный строитель Российской Федерации
Юрий Григорьевич Иващенко (отв. редактор)
доктор технических наук, профессор Мещеряков Д.В.
доктор технических наук, профессор Курицын Б.Н.
кандидат технических наук, доцент Медведева О.Н.
кандидат технических наук, доцент Сурнин А.А.
кандидат архитектуры, доцент Дядченко С.Ф.
кандидат технических наук, доцент Иванов А.Ф.
кандидат технических наук, доцент Зинченко С.М.

Одобрено
редакционно-издательским советом
Саратовского государственного технического университета

ISBN 978-5-7433-2949-6

© Саратовский государственный
технический университет, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ И ПРОЕКТНЫЕ РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ АРХИТЕКТУРЫ, ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА, ДИЗАЙНА, ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

РАЗРАБОТКА ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО МЕСТА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЗАДАНИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ЭРГОНОМИКА» СТУДЕНТАМИ НАПРАВЛЕНИЯ «ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДИЗАЙН»
Т. В. Антропова 9

АРХИТЕКТУРНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ В САРАТОВЕ
Е. А. Сухинина 12

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМЕ САПР ДЛЯ СТУДЕНТОВ АРХИТЕКТУРНО-ДИЗАЙНЕРСКОГО НАПРАВЛЕНИЯ
О. Г. Кузнецова 17

ЭКОДОМ ДЛЯ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В ВИДЕ ШЕСТИГРАННОЙ ПРИЗМЫ
Л. В. Лукманова, Р. Х. Мухаметрахимов 21

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ВНЕШНЕЙ ФОРМЫ АВТОМОБИЛЯ
С. В. Бородулина, М. К. Решетников 24

С ЧЕГО НАЧИНАЛСЯ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДИЗАЙН
А. А. Марьина 28

РЕСУРСО- И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

ДЕЗИНТЕГРАТОРНАЯ АКТИВАЦИЯ ЦЕМЕНТА И ПЕСКА С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕНОБЕТОНА ЗАДАННЫХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
К. С. Шинтемиров, М. Ж. Рыскалиев, Е. Д. Изгалиев, Г. С. Бегалиева 32

НЕКОТОРЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СТРУКТУРУ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА БЕТОНА
К. С. Шинтемиров, М. Ж. Рыскалиев, Д. С. Давлеткалиева, Г. С. Бегалиева 41

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕВУЛКАНИЗАЦИИ РЕЗИН В БИТУМЕ
Д. А. Аюпов, А. В. Мурафа, Ю. Н. Хакимуллин, В. Г. Хозин, Д. Б. Макаров, Р. И. Казакулов 46

РОЛЬ ПОЛИКАРБОКСИЛАТНЫХ ДОБАВОК В ФОРМИРОВАНИИ СТРУКТУРЫ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ
Э. Р. Авзалов, Н. М. Морозов, Н. М. Красиникова 49

ВЛИЯНИЕ МОЛОТОГО ПЕСКА НА ВОЗДУХОВОВЛЕЧЕНИЕ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА
В. И. Авксентьев, А. Ф. Галеев, Н. М. Морозов, В. Г. Хозин 52

ТЕХНОЛОГИЯ ЗИМНЕГО БЕТОНИРОВАНИЯ С ПРОТИВОМОРОЗНЫМИ ДОБАВКАМИ
А. М. Биккенов, Р. А. Ибрагимов 55

ВЛИЯНИЕ ГЕНЕЗИСА КВАРЦЕВОГО КОМПОНЕНТА И ТИПА ПЛАСТИФИКАТОРА НА РЕОЛОГИЮ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ
А. И. Бондаренко, В. В. Нелюбова, И. Д. Лабинский, А. А. Горяйнов 57

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ВВЕДЕНИЯ ТОНКОГО БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА В ЦЕМЕНТНУЮ МАТРИЦУ
А. Ф. Галеев, И. В. Боровских, Н. М. Красиникова 61

ПОЛУЧЕНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННО-КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ КОРЫ
В. Е. Данилов, А. М. Айзенштадт 66
ВЛИЯНИЕ МЕХАНОАКТИВАЦИИ САПОНИТ-СОДЕРЖАЩЕГО ОТХОДА НА ЕГО СВЯЗУЮЩИЕ СВОЙСТВА
Т. А. Дроздюк, А. М. Айзенштад, А. С. Тутыгин, А. А. Носуля 70
МИНЕРАЛЬНАЯ ВЫСОКОДИСПЕРСНАЯ ДОБАВКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ МОРОЗОСТОЙКОСТИ БЕТОНА
М. В. Морозова, А. В. Стрельникова, А. М. Айзенштадт 73
НЕАВТОКЛАВНЫЙ ПЕНОБЕТОН ИЗ МОДИФИЦИРОВАННОЙ СУХОЙ СМЕСИ
Э. В. Ерусланова, В. К. Жугар, А. И. Габитова, Н. М. Красиникова 77
АКТИВАЦИЯ ВЯЖУЩЕГО ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ
Р. А. Ибрагимов, В. С. Изотов 80
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПУТЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДИСПЕРГАЦИИ ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА
Р. А. Ибрагимов, А. М. Кадирова 82
ЦЕМЕНТНЫЕ КОМПОЗИЦИИ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ
Р. А. Ибрагимов, В. С. Изотов 85
ТЕХНОЛОГИЯ ЗИМНЕГО БЕТОНИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕРМОАКТИВНОЙ ОПАЛУБКИ
Д. Г. Имайкин, Р. А. Ибрагимов, А. Р. Сунгатуллина 87
КОМПЛЕКСНАЯ ДОБАВКА ДЛЯ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ
Р. Р. Кашапов, Р. А. Зиянгиров, Н. М. Красиникова, И. В. Боровских 90
«ЗЕЛЕНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ» СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА
Г. В. Кузнецова, Н. Н. Морозова, А. А. Короткова 93
РАЗРАБОТКА ВЫСОКОПРОЧНЫХ ТАКТИЛЬНЫХ ПЛИТ ДЛЯ БЛАГОУСТРОЙСТВА ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ
Л. В. Лукманова, Р. Х. Мухаметрахимов 95
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВА АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ ВЯЖУЩИХ НА ОСНОВЕ ПЕРЛИТА
Н. И. Кожухова, Е. В. Фомина, И. В. Жерновский 100
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭМУЛЬГАТОРА НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИЙ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ БИТУМНЫХ ЭМУЛЬСИЙ
Д. Б. Макаров, Д. А. Аюпов, А. В. Мурафа, С. Р. Зигангараева 104
ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В КОНСТРУКЦИЯХ ЗДАНИЙ
Н. Б. Адилова, А. В. Кобин 108
ЩЕЛОЧЕСТОЙКОСТЬ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ С ПОВЫШЕННЫМИ РЕОЛОГИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ
В. П. Селяев, Д. Р. Низин, Т. А. Низина, А. Н. Чернов 112
КЛИМАТИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ СОСТАВОВ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ
Т. А. Низина, Д. А. Артамонов, Д. Р. Низин, А. Н. Чернов 117
АКРИЛОВЫЕ ЛАКОКРАСОЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ БИОЦИДНЫМИ ДОБАВКАМИ НА ОСНОВЕ КОЛЛОИДНОГО СЕРЕБРА
Т. А. Низина, Е. П. Коновалова, О. А. Синюков, Н. С. Никифоров 123

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ СМЕШАННОСЛОЙНЫХ ГЛИН ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОТДЕЛОЧНЫХ СМЕСЕЙ
В. И. Логанина, Р. Т. Мамешов 127
ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ И РАСХОДА ШЛАКА НА УДОБОУКЛАДЫВАЕМОСТЬ САМОУПЛОТНЯЮЩЕЙСЯ БЕТОННОЙ СМЕСИ
О. М. Смирнова, К. В. Никольский, Е. В. Андреева 137
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОКЛАВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭФФУЗИВНЫХ ПОРОД
Е. В. Фомина, К. П. Сулим, А. Е. Фомин 139
ИЗМЕНЕНИЕ РАЗМЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ АЛЮМОСИЛИКАТОВ ПРИ МЕХАНОАКТИВАЦИИ
А. Е. Фомин, Е. В. Фомина, Н. И. Кожухова 143
РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ КРЕМНИСТЫХ ПОРОД ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФИЛЬТРУЮЩЕГО КОМПОЗИЦИОННОГО СОРБЕНТА
Р. Т. Мамешов, С. А. Монтаев, А. Т. Таскалиев, В. Ф. Першин 146
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ ВОЛОКОН НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО
Р. Х. Мухаметрахимов, А. Р. Галаутдинов, Ю. В. Тагирова 151
КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ НЕГИДРАТАЦИОННОГО ТИПА ТВЕРДЕНИЯ
А. В. Череватова, И. В. Жерновский, Е. В. Войтович, А. Е. Фомин 155
РОЛЬ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ НАУКИ В РАЗВИТИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Н. Г. Стенина 160
САМОУПЛОТНЯЮЩИЙСЯ БЕТОН: ПРЕИМУЩЕСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ
В. В. Строкова, А. О. Молчанов, В. В. Нелюбова 164
К ПРОБЛЕМЕ РАЗРАБОТКИ БЕТОНОВ ПОВЫШЕННОЙ ГИБКОСТИ
Д. С. Уракин, Ю. Н. Огурцова, Ю. А. Черняева 168
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА ОАО «ИЖСТАЛЬ» (Г. ИЖЕВСК) В СОСТАВЕ ЦНВ
А. Р. Хаматова, О. В. Хохряков 170
К ВОПРОСУ О ДИСПЕРСНОМ АРМИРОВАНИИ ПЕНОБЕТОНА
О. В. Хотомченко, М. Н. Сивальнева, Л. Н. Боцман, Н. В. Павленко 173
ВЛИЯНИЕ БИОЦИДНЫХ КОМПОНЕНТОВ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ГИПСА
В. В. Нелюбова, М. Д. Тумашова, Э. К. Калатози 176
ПОЛИОЛЫ КАК ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ НАНОФАЗОЙ ЦЕМЕНТА
Е. А. Шошин 180
РАЗРАБОТКА СОСТАВА ПОРИСТОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ БЕТОНА НА ОСНОВЕ КРЕМНИСТОГО СЫРЬЯ И ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ
А. А. Решетникова, Д. В. Мещеряков 184
ВТОРИЧНАЯ ЗАЩИТА БЕТОНА ВОДНО-ДИСПЕРСИОННЫМИ СОСТАВАМИ
Н. Н. Фомина, И. С. Алексеенко 188
ОЦЕНКА ВОДОРЕДУЦИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ДОБАВОК НА ПОЛИКАРБОКСИЛАТНОЙ ОСНОВЕ
Ю. А. Чевыкалова 192

СМЕШАННЫЕ ВЯЖУЩИЕ НА ОСНОВЕ ПЫЛИ-УНОСА ЦЕМЕНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ОПАЛОВИДНЫХ КРЕМНИСТЫХ ПОРОД
Ю. Г. Иващенко, И. В. Хомяков 195
МНОГОТОННАЖНЫЙ ОТХОД КАМНЕДРОБЛЕНИЯ АЛЕВРОЛИТОВОЙ ГОРНОЙ ПОРОДЫ В КАЧЕСТВЕ МЕЛКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ
Ю. Г. Иващенко, Д. К. Тимохин, В. А. Лаушкина 196
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ НА СРОКИ ТВЕРДЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО ПЕНОБЕТОНА
Ю. Г. Иващенко, А. В. Страхов, Д. Ю. Багапова 200
ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФОСФОГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО
Ю. Г. Иващенко, С. А. Евстигнеев, А. В. Страхов 204
РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ OSB-ПЛИТ
А. А. Пшенов, Н. В. Зобкова 209
БЕТОНЫ НА ФОСФОРНОШЛАКОВОМ ВЯЖУЩЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФОСФОРНОШЛАКОВОГО ЩЕБНЯ
К. С. Шинтемиров, С. С. Уразова, Ж. Е. Орынгалиева 212
НЕЙРОСЕТЕВОЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСО-ЕМКОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
А. А. Гарькавенко 216

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СИСТЕМ ГАЗОТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И СТРОИТЕЛЬНОЙ КЛИМАТОТЕХНИКИ

ВОЛНЫ ДЕФОРМАЦИЙ В ВЯЗКОУПРУГОЙ ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКЕ, СОДЕРЖАЩЕЙ ВЯЗКУЮ ЖИДКОСТЬ И ОКРУЖЕННОЙ УПРУГОЙ СРЕДОЙ
Ю. А. Блинков, А. Ю. Блинкова, Л. И. Могилевич, В. С. Попов 221
НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ В ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ ВЯЗКОУПРУГОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКЕ, СОДЕРЖАЩЕЙ ВЯЗКУЮ НЕСЖИМАЕМУЮ ЖИДКОСТЬ И ОКРУЖЕННОЙ УПРУГОЙ СРЕДОЙ
А. Ю. Блинкова, С. В. Иванов, Л. И. Могилевич, В. С. Попов 226
ВОЛНЫ ДЕФОРМАЦИЙ В ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКЕ С КОНСТРУКЦИОННЫМ ДЕМПФИРОВАНИЕМ, СОДЕРЖАЩЕЙ ВЯЗКУЮ ЖИДКОСТЬ И ОКРУЖЕННОЙ УПРУГОЙ СРЕДОЙ
Ю. А. Блинков, А. Ю. Блинкова, И. А. Ковалева, Л. И. Могилевич 230
ДИНАМИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СО СЛОЕМ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ
Д. Л. Гейзина 235
ГИДРОУПРУГОСТЬ ТРЕХ СООСНЫХ ОБОЛОЧЕК, ЖЕСТКО ЗАЩЕМЛЕННЫХ НА КОНЦАХ, В УСЛОВИЯХ ВИБРАЦИИ
К. А. Барулина, А. Ю. Блинкова, Д. В. Кондратов 239
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХ СООСНЫХ ОБОЛОЧЕК, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ СО СЛОЯМИ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ
О. В. Елистратова, Д. В. Кондратов, И. В. Плаксина, Л. И. Могилевич 243
ГИДРОУПРУГОСТЬ РЕБРИСТОЙ ТРУБЫ С УПРУГОЙ ВНУТРЕННЕЙ ОБОЛОЧКОЙ ПРИ НАЛИЧИИ ВИБРАЦИИ
А. В. Калинина, Д. В. Кондратов, Ю. Н. Кондратова, И. А. Ковалева 246
ДИНАМИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ ОБОЛОЧКИ С ПУЛЬСИРУЮЩИМ ТОНКИМ СЛОЕМ ВЯЗКОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ
Д. В. Кондратов, С. А. Куликова, В. С. Попов, Д. Д. Старостин 250

ГИДРОУПРУГОСТЬ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЫ, УСТАНОВЛЕННОЙ НА ВИБРИРУЮЩЕМ ОСНОВАНИИ
Р. В. Агеев, Л. И. Могилевич, В. С. Попов, А. А. Попова 254
ДИНАМИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УПРУГОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕРЕГУЛЯРНОЙ ПЛАСТИНЫ СО СЛОЕМ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ И АБСОЛЮТНО ТВЕРДЫМ ПОДВИЖНЫМ ВИБРАТОРОМ ОПОРЫ
Т. В. Быкова, Е. Д. Быкова, Л. И. Могилевич 257
КОЛЕБАНИЯ ДВУХ ПЛАСТИН, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ С ЛАМИНАРНЫМ ПУЛЬСИРУЮЩИМ СЛОЕМ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ
Р. В. Агеев, Л. И. Могилевич, В. С. Попов 262
КОЛЕБАНИЯ КРУГЛЫХ ПЛАСТИН, МЕЖДУ КОТОРЫМИ НАХОДИТСЯ ПУЛЬСИРУЮЩИЙ СЛОЙ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ
Л. И. Могилевич, В. С. Попов, А.А. Попова 266
АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ВОЗДУХА В ЦЕНТРАЛЬНЫХ КОНДИЦИОНЕРАХ С РЕЦИРКУЛЯЦИЕЙ ВЫТЯЖНОГО ВОЗДУХА
А. Ю. Феоктистов, Л. А. Кущев, Ю. Г. Овсянников 269
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОБСТВЕННЫХ ГТУ-ТЭЦ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СТРОЙИНДУСТРИИ
П. Г. Антропов 273
РАСЧЕТ ЭКОНОМИИ ТОПЛИВА И АНАЛИЗ ЕГО ФОРМУЛ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕГЕНЕРАТИВНОЙ СТУПЕНИ ПОДОГРЕВА ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ НА ТЭЦ
Д. В. Голиков 277
ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТЭЦ
Л. А. Кущев, И. В. Волабуев, М. А. Сузикова 281
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОЖУХОТРУБНОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА
Л. А. Кущев, Н. Ю. Никулин 284
К ВОПРОСУ ОБ УЧЕТЕ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ И ВЛИЯНИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ОТПУСКА ТЕПЛОТЫ НА ТАРИФНУЮ ПОЛИТИКУ
Э. М. Малая, Д. В. Голиков 288
РАСЧЕТ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ЭФФЕКТА В ЕДИНИЦАХ УСЛОВНОГО ТОПЛИВА ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ В ВОДЯНОМ ЭКОНОМАЙЗЕРЕ
Э. М. Малая, Д. В. Голиков 291
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ СИСТЕМА ПРИ УСТАНОВКЕ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ УЧРЕЖДЕНИИ ГТУ
Э. М. Малая, И. М. Бычкова 294
СНИЖЕНИЕ РЕСУРСОЕМКОСТИ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА
Н. Н. Осипова, О. А. Спасскова 296
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ ПРИ ПОМОЩИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ
В. А. Кузьмина, С. Н. Данилова 300
КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ
С. Г. Культяев, Э. М. Малая 303

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОВОГО ТОПЛИВА В СИСТЕМАХ СНАБЖЕНИЯ СЖИЖЕННЫМ ГАЗОМ С КОМБИНИРОВАННОЙ РЕГАЗИФИКАЦИЕЙ
Б. Н. Курицын, Н. Н. Осипова, С. С. Кузнецов 308
ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА РЕГУЛЯТОРАМИ ПКФ «ЭКС-ФОРМА»
И. Б. Кучмин, А. Б. Костерин, В. И. Тарасенко 311
ВЫЯВЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПАРИТЕЛЕЙ СЖИЖЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ
А. В. Рулев, П. В. Копытин 314
БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИ МОНТАЖЕ ПОДЗЕМНОГО ГАЗОПРОВОДА
П.М. Бакутин, Д. В. Сапожников 317
АВТОНОМНОЕ ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ЕГО РОЛЬ В ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИИ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ
С. А. Кондаков, Л. Б. Шаврина 322
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПГ В ЛОКАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ
М. С. Доронин, В. Д. Доронина, Илмарс Боде 325
ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ПОТОКА ОТКАЗОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ
В. Ю. Демчук, М. С. Доронин, Илмарс Боде 328
МЕТОД РЕШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТНОЙ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕПЛОФИЗИКЕ
Н. В. Пилипенко, Д. А. Гладских 331

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ И ПРОЕКТНЫЕ РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ АРХИТЕКТУРЫ, ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА, ДИЗАЙНА, ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

УДК 74

РАЗРАБОТКА ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО МЕСТА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЗАДАНИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ЭРГОНОМИКА» СТУДЕНТАМИ НАПРАВЛЕНИЯ «ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДИЗАЙН»

Т. В. Антропова*

** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов*

Проектирование рабочего места с учетом антропологических, биомеханических, психофизиологических и психических возможностей и особенностей работающих людей является одной из задач, решаемых в процессе изучения дисциплины «Эргономика». Выполнение итоговой работы по результатам освоения курса студентами направления «Промышленный дизайн» позволяет им практически применить знания об эргономических требованиях, предъявляемых к промышленным изделиям.

Ключевые слова: эргономика, эргономические требования, система «человек-машина-среда», эргономические свойства промышленных изделий, проектирование рабочих мест и рабочих пространств

DEVELOPMENT OF CHARACTERISTICS OF OFFICIAL PLACE FOR STUDENTS WITH SCHOOL “INDUSTRIAL DESIGN” BY THE ACHIEVEMENT TASKS BY THE SUBJECT “ERGONOMICS”

T. V. Antropova*

** Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia, Saratov*

Engineering of the official place with account of anthropological, biomechanical, psychophysiological and psychical possibilities and singularities of working people is one of the challenges, which are solving in a process of learning the subject “Ergonomics”. Achievement of the total work on the results of the assimilation the course by students with school “Industrial Design” allows them to use their knowledges about ergonomical desires, which are presenting to industrial products, practically.

Keywords: ergonomics, ergonomical desires, system “man-mainframe-environment”, ergonomical properties of the industrial products, engineering of the official places and body fields

В 2010 г. на базе кафедры «Инженерная геометрия и промышленный дизайн» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А. было открыто новое направление обучения по профилю «Промышленный дизайн». Является бесспорным, что художественно-конструкторское образование должно быть многогранным и достаточно обширным и соединять в себе различные области знаний. С одной стороны, это чисто «технические» дисциплины: материаловедение, основы конструирования, технология производства изделий, с другой – общегуманитарные: экономика и социология, психология (в частности, инженерная психология и психология труда); эргономика и, конечно, «эстетическая часть»: свойства и средства композиции, цветоведение и колористика, бионика, пространственное моделирование, техническая эстетика. Предельно ясно, что дисциплина «Промышленный (технический) дизайн» является «пограничной» и находится на стыке таких, на первый взгляд, разнонаправленных сфер деятельности как наука и искусство.

В ряду вышеперечисленных дисциплин, необходимых в процессе обучения специалистов в сфере промышленного дизайна, несомненно, одно из важнейших мест занимает «Эргономика». Эта дисциплина может быть определена как изучение многообразных взаимоотношений между человеком, с одной стороны, и его работой, оборудованием и окружающей средой, с другой, а также как применение полученных знаний к решению проблем, возникающих из этого отношения. Как следствие это улучшение методов работы, ее результатов и повышение производительности. Практическая цель эргономики – эффективность и безопасность систем «человек – машина» и «человек – окружающая среда», и одновременно безопасность, благополучие и удовлетворение человека деятельностью в этих системах, объектом изучения является система «человек – машина» (СЧМ), а предметом – деятельность человека или группы людей с техническими средствами. В целостном образовании, каковым является система «человек – машина», эргономика вычленяет и решает проблемы распределения функций в системе, соотношения деятельности человека с функционированием технической системы и ее элементов, распределения и согласования функций между людьми при выполнении рабочих задач, а также проектирует и организует деятельность человека или группы людей с техническими системами и ее элементами, обосновывает требования к указанным средствам деятельности и условиям ее осуществления, разрабатывает методы реализации этих требований в процессе проектирования и использования систем.

Трудовая активность человека во многом определяется условиями, в которых он работает. К ним, прежде всего, относятся рабочее пространство и рабочее место. Если анализ систем традиционно начинается с общих вопросов, которые постепенно сужаются, пока не достигнут уровня отдельного рабочего места, то анализ рабочего места, наоборот, все более расширяется, охватывая новые сферы - от человека к производственному оборудованию, рабочему пространству и среде, но человек при этом всегда должен оставаться в центре внимания как эталонная база. Эргономическое проектирование рабочих пространств и рабочих мест производится для конкретных рабочих задач и видов деятельности с учетом антропологических, биомеханических, психофизиологических и психических возможностей и особенностей работающих людей. Учет эргономических требований должен пронизывать все этапы проектных решений и их экспертизы. На стадии разработки технического задания в общем виде должны быть определены эргономические требования к объекту проектирования и выявлена потребность в проведении специальных эргономических исследований. Очень важно корректно осуществить перевод задачи с языка инженерного конструирования на язык эргономики путем анализа данной задачи в контексте специфической проблематики человеческого фактора. Для этой цели проводится анализ назначения проектируемого объекта и связанных с этим требований к его функционированию, определяются место и роль человека в решении задач, вытекающих из вышеупомянутого назначения.

Входя в состав группы проектировщиков и принимая участие в процессе проектирования техники, специалист в области эргономики имеет дело с особым объектом проектирования – человеком и его деятельностью, средствами которого выступают знания о человеке и соответствующие специальные методы и процедуры.

Целью работы, выполняемой в процессе обучения студентов дисциплине, является проектирование рабочего места на базе эргономических антропометрических признаков (статических и динамических), возрастных и гендерных разли-

чий с использованием метода перцентилей, а также с элементами расчета и подбора необходимой освещенности, шумоизоляции и другими санитарно-гигиеническими нормативами в соответствии с требованиями к организации рабочих мест. Результатом выполнения задания является проект рабочего места (наглядное изображение, чертеж общего вида, трехмерная модель), содержащий все необходимые размеры; перечень основного, вспомогательного оборудования и офисной техники; описание основных требований, предъявляемые к рабочему месту. В процессе выполнения работы студенты, используя систему трехмерного моделирования AutoCAD, редактор трехмерной графики 3ds Max и др. создают 3D-модели предлагаемых к рассмотрению рабочих мест (рис. 1).



Рис. 1. Проект рабочего места (трехмерная модель)

Далее на базе выполненной модели создаются ортогональные и аксонометрические проекции с нанесением необходимых размеров, описанием и перечнем предполагаемого оборудования. Один из фрагментов выполненной работы приведен на рис. 2.

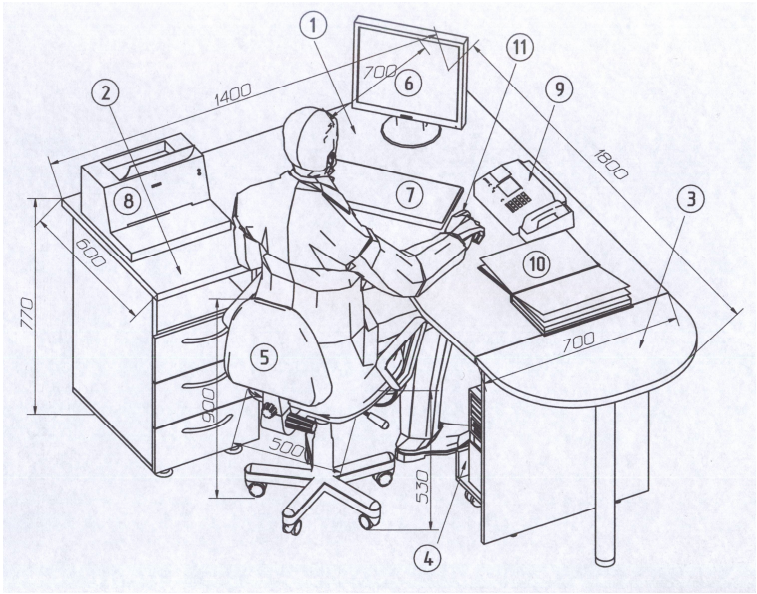


Рис. 2. Проект рабочего места (аксонометрическая проекция)

Выполнение таких заданий дает возможность студентам практически применить знания, полученные на лекциях по дисциплине «Эргономика», а также значительно увеличить объем навыков в процессе самостоятельной работы. Все это, в конечном итоге, позволяет повысить уровень качества знаний студентов и подготовить грамотного востребованного на современном рынке труда высокопрофессионального специалиста, обладающего навыками самостоятельного повышения своего образовательного уровня и владеющего современными средствами программного обеспечения процессов проектирования промышленных изделий.

Список литературы

1. Мунипов В.М., Зинченко В.П. Эргономика: человекоориентированное проектирование техники, программных средств и среды: учебник. М.: Логос, 2001. 356 с.

2. Николаева Н.И. Требования охраны труда, предъявляемые к рабочему месту пользователя ПК: метод. рекомендации для самостоятельной работы студентов по дисциплине БЖД / Н.И. Николаева, Я.М. Абдушаева, О.Н. Виноградова и др. Великий Новгород: НовГУ им. Ярослава Мудрого, 2011. 43 с.

УДК 721:502.12

АРХИТЕКТУРНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ В САРАТОВЕ

Е. А. Сухинина*

** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов, arx-art-lena@yandex.ru*

В процессе научного исследования разработан научно-методический подход для экологической реабилитации общественных зданий в городской среде с учетом современных требований экологических нормативов и критериев экологических стандартов в строительстве. Предложены мероприятия по создания комфортного «здорового» городского пространства. Выявлены архитектурные, социальные и экономические преимущества авторской экологической реабилитации.

Ключевые слова: экологический стандарт, энергосбережение, экореабилитация

ARCHITECTURAL SOLUTIONS TO IMPROVE EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL PUBLIC BUILDINGS IN SARATOV

E. A. Sukhinina*

** Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia, Saratov, arx-art-lena@yandex.ru*

Scientific and methodical approach to environmental rehabilitation of public buildings in an urban environment to meet modern standards of environmental standards and criteria for environmental standards in construction developed in the process of scientific research. Activities to create a comfortable «healthy» urban space offered. Architectural, social and economic benefits identified author's environmental remediation.

Keywords: environmental standard, energy saving, environmental remediation

Новое направление экологического проектирования и строительства, зародившееся на рубеже XXI века и активно развивающееся сегодня, структурируется экологическими стандартами в строительстве.

Экологический стандарт – нормативно-технический документ, устанавливающий комплекс экологических норм, правил, требований, обязательных для исполнения. Это свод правил, по которым должно проектироваться и строиться здание, претендующего на звание экологического.

В рамках моего диссертационного исследования рассматривается проблема, экологически неустойчивого баланса функционирования общественных объектов в Саратове. Предлагается проектная экологическая реабилитация трех общественных зданий города: Библиотеки СГТУ им. Гагарина Ю.А.; торгово-административного комплекса Арена; торгово-развлекательного центра Триумф-Молл, в соответствии с критериями экологических стандартов: BREEAM (Великобритания, 1990 г.); LEED (США, 1993 г.); DGNB (Германия, 2009 г.); Зеленый стандарт (Россия, 2010 г.).

К текущему моменту времени, в Саратовской области сложилась достаточно неблагоприятная экологическая ситуация, негативно сказывающаяся на физическом и психологическом здоровье людей. Определены значительные экологические проблемы относительно: экологии производства; качества водных ресурсов; экологии транспорта; обращения с отходами; здоровья населения; охраны растительного и животного мира; экологии города [1].

С учетом расположения и природно-климатических условий Поволжья разработан научно-методический подход к экореабилитации общественных зданий, состоящий из 4 этапов: 1) оценка существующего положения, сбор материала, натурное обследование здания: характеристика здания; его расположения; процессов; мест приложения труда; элементов; поверхностей; инженерных сетей; 2) построение архитектурной модели экореабилитируемого здания, анализ собранного материала: анализ затенения и отражения; солнечной радиации; освещенности; энергетическая модель здания; проектирование солнцезащиты; расчет акустики; анализ видимости; жизненный цикл здания; 3) возможность использования в существующей оболочке здания устройств для преобразования альтернативной энергии: анализ объемов; геометрических связей основных форм и членений фасадов; при экореабилитации памятников архитектуры необходимым является анализ архитектурных слоев фасада; 4) предложение по экореабилитации на основе проведенного анализа и выявленных экоустойчивых принципов проектирования [2].

На первом этапе производилось исследование зданий и существующего положения: характеристика места расположения; доступности объекта в городской среде; взаимосвязи с прилегающей застройкой; трудовых процессов, протекающих в здании; количества рабочих мест; количества посетителей в день; конструктивных элементов; материалов; цветового решения; *энергоэффективности оболочки здания;* возможности естественного освещения; естественной вентиляции; работы инженерных сетей.

В силу устоявшихся строительных традиций, сложившихся несколько десятилетий в Саратовской области и следование российским строительным нормативам, минимально учитывающим приемы экологического проектирования, при анализе существующего положения общественных зданий выявлены схожие параметры и характеристики, не отвечающие требованиям европейского экологического законодательства и критериям международных систем экологического сертифицирования зданий: неорганизованная парковка около

здания; отсутствие велосипедных стоянок; отсутствие достаточного количества зеленых насаждений на прилегающей к зданию территории; неэффективная оболочка зданий; *не энергоэффективное остекление; не энергосберегающее освещение*; использование искусственных материалов в наружной и внутренней отделке поверхностей; малоэффективная естественная вентиляция помещений; отсутствие мероприятий по экономии питьевой воды; отсутствие мероприятий по использованию «серой» или дождевой воды; неорганизованная утилизация бытовых отходов, без сортировки по типу материала и прочее.

Сегодня при сертифицировании объектов происходит «выхолащивание» архитектуры, зачастую здания возводят в виде простых остекленных объемов с содержанием внутри «зеленых» технологий. В России экостандарты не должны становиться аналогом зарубежных систем, а способны формироваться, учитывая культурные, природно-климатические, социальные и экономические реалии страны.

Для улучшения *энергоэффективности* и экологичности существующих зданий предложена проектная экологическая реабилитация при помощи критериев экологических стандартов по следующим разделам: прилегающая территория; водоэффективность; энергосбережение; материалы и конструкции; отходы; микроклимат; здоровье и социальное благополучие.

Сегодня вводится большое количество программ в сфере *энергосбережения*, принимаются новые нормативные документы, поэтому основной упор делается на повышение *энергоэффективности* экореконструируемых объектов.

Энергоэффективное здание – это самообеспечиваемое здание, при эксплуатации которого исключается негативное влияние на окружающую среду за счет использования возобновляемых источников энергии в сочетании с современным инженерным оборудованием, новыми технологическими решениями, улучшенной теплоизоляцией, что в долгосрочной перспективе способствует экономическому эффекту.

Энергосбережение может быть бытовое в сфере ЖКХ, в виде альтернативных источников энергии, улучшенных характеристик инженерных систем, материалов, архитектурных решений. Нами в большей степени используются архитектурные решения и альтернативные источники энергии.

На основе анализа мирового опыта экостроительства были выбраны экологические мероприятия приемлемые для климатических условий Саратовской области: зеленые эксплуатируемые кровли; зеленые насаждения встроенные в структуру здания, атриумы; эффективная солнцезащита; выступающие архитектурные элементы на фасадах; компактность планировки; альтернативные источники энергии встроенные в объемно-планировочные решения и являющиеся как отдельными элементами, так и частью строительной конструкции или облицовки фасадов [3].

Важно отметить, что данная методика позволяет осуществлять экореабилитацию общественных зданий преимущественно при помощи архитектурных средств.

В качестве особых приемов по экореабилитации можно выделить: отказ от наземной парковки рядом со зданием, в целях повышения экоустойчивости прилегающей территории; замена на территории материала твердых поверхностей, имеющего высокий коэффициент солнечного отражения;

организация на прилегающей территории системы водоотведения за счет устройства специальных желобов для воды с возможностью ее последующего испарения; использование экоматериалов для отделки фасадов, интерьеров; светлая внутренняя отделка помещений для повышения коэффициента естественного отражения; дополнительное утепление стен северных фасадов; установка «теплых» открывающихся стеклопакетов; использование пленки с фотоэлементами на стеклах; «зеленая» кровля с организацией системы сбора дождевой воды; альтернативные источники энергии, встроенные в существующую оболочку и объем.

В библиотеке Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю.А. предложено: установка коллекторов и ветрогенераторов на кровле здания; устройство фотоэлектрических панелей на южном фасаде здания; использование тепловых насосов на прилегающей к зданию территории; дополнительное утепление стен.

В торгово-административном комплексе «Арена» запроектировано: установка коллекторов и ветрогенераторов на кровле здания; устройство фотоэлектрических панелей на южном фасаде здания; «зеленые» эксплуатируемые кровли; энергоэффективное остекление с открывающимися створками для естественного проветривания.

В торгово-развлекательном центре «Триумф-Молл» предусматривается: организация на юго-востоке парковой территории с высаживанием местных растений; поддержание биоразнообразия территории за счет установки питомников для птиц; установка коллекторов и ветрогенераторов на кровле здания; устройство фотоэлектрических панелей на южном фасаде здания; использование тепловых насосов на прилегающей к зданию территории; дополнительное утепление стен, рис. 1.

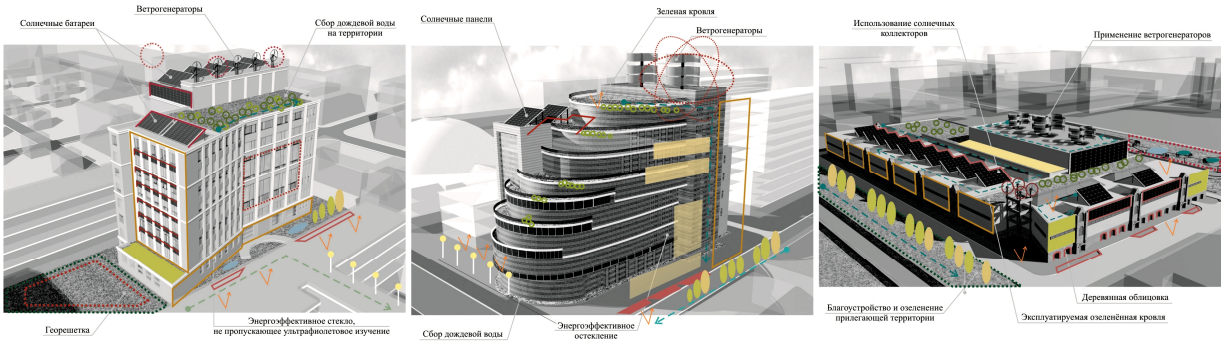


Рис. 1. Примеры экореконструкции трех зданий в Саратове

Комплексная экореабилитация объектов с достижением наибольшего эффекта возможна в ходе совместной работы архитекторов со специалистами смежных областей (энергетики, вентиляции, водоотведения) при рациональном сочетании архитектурно-пространственных экопреобразований и технологических экомероприятий, используемых в ходе реабилитации. Предложенные в ходе научного исследования экореабилитационные решения имеют проектно-гипотетический анализ, и могут быть проведены в реальности только при согласовании с авторами проектов.

Определены преимущества архитектурной экологической реабилитации существующих зданий.

- *Архитектурные:* улучшение качества архитектуры новых строений (натуральные отделочные материалы, вертикальное озеленение, пассивные методы энергосбережения); следование современным принципам архитектурно-строительной и визуальной экологии за счет моделирования пластики внешних ограждающих конструкций; повышение экоустойчивости строения за счет грамотного включения в существующую оболочку устройств для преобразования альтернативной энергии; устойчивое развитие городской среды за счет экомероприятий на прилегающей территории (увеличение зеленых насаждений, мест для отдыха на свежем воздухе, уменьшение эффекта «городского теплового острова» и т.п.); соотношение с существующей застройкой: грамотный подбор экоматериалов, цветового решения, пластичных элементов.
- *Социальные:* предложенная в ходе научного исследования экореабилитация имеет проектно-гипотетический характер, способна повысить экологичность городского пространства для здоровья жителей; благоприятный микроклимат в помещениях и на участке для улучшения самочувствия работников; улучшенные безопасные условия для пеших и велопрогулок; создание безбарьерной, безопасной среды для маломобильных групп населения.
- *Экономические:* снижение эксплуатационных затрат владельцев и арендаторов (энергосбережения на 40%, водопотребления на 35 %); рациональное обращение со строительными и бытовыми отходами; преобразование зданий на городских окраинах с малоразвитой инфраструктурой будет способствовать улучшению качества и привлекательности районов для проживания, работы; развитие туризма и привлечение новых инвестиций в строительство; новые экологические мероприятия способны дать новую «экономически выгодную жизнь» строению, сделав его популярным в городе и безопасным для природы.

Опираясь на ранее проведенные специалистами исследования экосертифицированных зданий можно предположить, что проектная экореабилитация зданий с использованием «зеленых» технологий, позволит в будущем повысить их энергоэффективность и экологичность, снизив выбросы углекислого газа на 35%, улучшив энергосбережение на 40%, уменьшив водообеспечение на 30-50%, что значительно сократит расходы владельцев и арендаторов [4].

Анализ предполагаемых результатов экореабилитации общественных зданий в Саратове открывает возможность применять данную концепцию для всех существующих зданий, не отвечающих современным требованиям экологического строительства. Гибкая методика экореабилитации способна улучшить уже сложившееся архитектурно-градостроительное пространство и значительно повысить качество жизни горожан.

Список литературы

1. Гражданский анализ экологической ситуации в Саратовской области, эффективности региональной природоохранной политики в год охраны окружающей среды в России и предложения Правительству области // Материалы Саратовского экологического форума, Гражданская конференция: Итоги года охраны окружающей среды, СЭФ. Саратов: Сарат. обл. науч. библиотека, 2013. 10 с.

2. Сухинина Е.А. Экологические нормативы в архитектурно-градостроительном проектировании : дис. … канд. арх.: 05.23.20. Саратов, 2014. 165 с.
3. «Зеленое» строительство [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: http://ecorussia.info/ru (дата обращения: 01.05.12).
4. Yudelson, J. The Green Building Revolution / Jerry Yudelson; Foreword by S. Richard Fedrizzi, CEO U.S. Green Building Council. London: Island press, 2008. 270 p.

УДК 004; 004.92

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМЕ САПР ДЛЯ СТУДЕНТОВ АРХИТЕКТУРНО-ДИЗАЙНЕРСКОГО НАПРАВЛЕНИЯ

О. Г. Кузнецова*

** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов*

Предложен несколько иной подход к обучению будущих архитекторов и дизайнеров компьютерному моделированию строительных конструкций (зданий и сооружений). Методика преподавания САПР ArchiCAD для студентов архитектурно-дизайнерского направления ориентирована на приобретение теоретических навыков – изучение и освоение инструментария и настроек программы – эквивалентно процессу черчения; практических навыков – закрепление общих и характерных приемов моделирования – базовый уровень; и реализация конкретно поставленной и самостоятельной задачи моделирования. Выстраиваемая структура предполагает не просто заученное использование команд, а обдуманное их применение.

Ключевые слова: система автоматизированного проектирования (САПР), компьютерное проектирование, методика преподавания системы ArchiCAD

COMPUTER MODELING SYSTEM SAPR FOR ARCHITECTURE AND DESIGNER STUDENTS

O. G. Kuznetsova*

** Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov*

Proposed a slightly different approach to training future architects and designers to computer modeling for building structures. Method of teaching SAPR ArchiCAD for architect and designer students is focused on the acquisition of theoretical skill-study and development tools and program settings-equivalent process draftsmanship; practical skills – consolidation of general and specific techniques of modeling - basic level. Implementation of specific tasks assigned and self-modeling. Marshall structure suggests not just the use of learned commands and their deliberate use.

Keywords: Automatic design system (SAPR), Computer-aided design, method teaching system ArchiCAD

В настоящее время обучение специальностям архитектурно-дизайнерского направления требует включения в образовательный процесс изучение пакета графических программ и систем. Особенно актуальной является система автоматизированного проектирования (САПР) ArchiCAD. Программа фирмы Graphisoft – достойный инструмент проектирования в области архитектуры и строительства. Пакет был разработан в 1984 году, в 1991 году он занял лидирующее положение на рынке архитектурных САПР, работающих на компьютерах Macintosh. В 1993 году была выпущен в реализацию ArchiCAD в системе Microsoft Windows, а через год ArchiCAD стал первой системой автоматизированного проектирования, которая строила сцены виртуальной реальности, используя при этом технологию

QuickTime VR. Принципиально новым отличием ArchiCAD от других систем проектирования стало использование новой концепции «Виртуальное Здание» («Virtual Building»). «Виртуальное Здание» – это трехмерная модель создаваемого проекта, которая содержит всю необходимую для работы с ним информацию и совершенствуется на протяжении всего времени проектирования. Интерфейс программы интуитивно ясен; инструментарий позволяет строить чертежи и модель из объектов привычных для архитектора-дизайнера (стен, колонн, перекрытий, лестничных маршей и т.д.); рабочая среда удобна в настройке (легко создаются свои типы линий и штриховок, новые покрытия, библиотеки элементов, шаблоны для новых проектов и т.д.). Даная система может использоваться в различных областях проектирования: дизайна интерьеров, реставрации, проектировании зданий и сооружений промышленного, общественного и жилого назначения, зданий разных типов и проектирования целых микрорайонов, т.к. в программе возможно осуществлять коллективную работу над проектом, разделяя проект между пользователями локальной сети. Таким образом, данный продукт потеснил AutoCAD на рынке архитектурных САПР. Вместо электронной чертежной доски архитекторы получили электронный конструктор, позволяющий строить объемы зданий из предоставленного набора элементов. Чертежи стали лишь промежуточным звеном этого построения. Кроме чертежей, архитектору теперь предоставляется автоматически построенные фасады и разрезы, сметы, трехмерные модели зданий и многое другое [1, 2].

Интеллектуальное построение программы требует соответствующего подхода к обучению. Для достижения наилучшего эффекта в усвоении и закреплении навыков работы в программы ArchiCAD, целесообразно её изучение выстроить следующим образом, разбив курс на три блока: ознакомительный (основной инструментарий и черчение), моделирование простых объектов (различные типовые задания), самостоятельное моделирование (создание экстерьера по образцу).

Изучение первого ознакомительного блока эквивалентно процессу черчения. На данном этапе необходимо ознакомить студентов с интерфейсом программы и основными инструментами и настройками. Для закрепления результата студентам предлагается выполнить чертеж плана по заданным параметрам и размерам. В данном задании обучающиеся овладевают навыками черчения в программе, прежде всего, учатся задавать сетку осей и корректировать её настройки; устанавливать стены и оконно-дверные блоки заданных параметров на нужных расстояниях и требуемых размеров и т.д. То есть, в итоге учащиеся должны предоставить чертеж плана, соответствующего всем заданным требованиям. И прежде всего студентам необходимо усвоить последовательность ведения чертежной работы [3].

Изучения второго блока состоит из ряда небольших практических заданий от более простых к более сложным, на которых отрабатываются наиболее общие и характерные приемы моделирования используемые в программе ArchiCAD. Также рассматриваются особенности установки света в интерьере и экстерьере; настройки материалов и визуализации. Перечислим перечень этих заданий (на рисунках представлены работы студентов): создание вальмовой, простой и ломаной двускатной кровли (см. рис. 1а); булевы операции (см. рис. 1б); экстерьеры и интерьеры (см. рис. 2). Данные задания позволяют получить практические знания и навыки общих (базовых) приемов работы в программе.

После рассмотрения первого и второго блока можно перейти на более продвинутый уровень – уровень самостоятельного моделирования.

Здесь студентам предлагается самостоятельно выбрать объект для моделирования из современных, не типовых проектов индивидуальных домов малой и средней этажности (см. рис. 3 «Создание экстерьера по образцу»). Данное задание позволяет развить навыки работы с программой.

Обучение происходит следующим образом: демонстрация обучающимся необходимого инструментария и порядка выполнения работы; выполнение студентами практических заданий первого и второго блока. В третьем блоке оценивается результат усвоения пройденного, т.е. реализация знания в практические навыки, а после усвоения третьего блока происходит процесс рефлексии, т.е. закрепления усвоенного знания в практической самостоятельной работе.



а – создание вальмовой, простой и ломаной двускатной кровли

б – булевы операции

Рис. 1



Рис. 2. Экстерьеры и интерьеры



Рис. 3. Создание экстерьера по образцу (слева образец, справа – работа студента)

Рекомендованный электронный ресурс:
Graphisoft. Обучение / http://www.graphisoft.ru

Список литературы

1. Портал для проектировщиков. Обзор САПР [Электронный ресурс] Режим доступа: http://project-help.ru, свободный. Загл. с экрана.

2. Компьютерный центр Моспроект. ArchiCAD [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.ccmpr.ru Загл. с экрана.

3. Ахметсафина И. С. О некоторых аспектах методики преподавания САПР ArchiCAD в архитектурном вузе // Проблемы профессионального образования // Архитектон: известия вузов. № 17 Март 2007. http://archvuz.ru

УДК 69.01

ЭКОДОМ ДЛЯ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В ВИДЕ ШЕСТИГРАННОЙ ПРИЗМЫ

Л. В. Лукманова*, Р. Х. Мухаметрахимов*

** Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, Казань, lianchik24121995@yandex.ru*

В настоящее время в Российской Федерации реализуются федеральные, региональные и муниципальные программы в сфере строительства и ЖКХ, которые направлены на повышение энергетической эффективности и энергосбережения зданий и сооружений, улучшение условий проживания граждан, обеспечение растущей потребности в комфортном, безопасном, долговечном, экологичном и недорогом жилье. Предлагается концепция экодома для Западной Сибири в виде шестигранной призмы.

Ключевые слова: экодом, повышение энергоэффективности, энергосбережение

THE ECOHOUSE IN A PLANE VIEW THE SHAPE OF HEXAGONAL PRISM FOR WESTERN SIBERIA

L. V. Lukmanova*, R. Kh. Mukhametrakhimov*

** Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia, Kazan, lianchik24121995@yandex.ru*

Nowadays in Russian Federation implemented multitude of federal, regional and municipal programs in the field of construction and housing and communal services, which are aimed at improving energy efficiency and conservation of buildings, improving the living conditions of citizens, ensuring the growing need for a comfortable, safe, durable, ecological and affordable housing. Offers the concept of eco-house in a plane view the shape of hexagonal prism for Western Siberia

Keywords: Eco-house, increasing energy efficiency, conservation

Экодом – это сооружение, особенностью которого является малое или нулевое энергопотребление. В понятие экодом также входят надворные постройки, приусадебный участок, система инженерного обеспечения.

Существует программа экологического домостроения, реализуемая в г. Новосибирске и Новосибирской области, которая рассчитана на 22 года и состоит из пяти этапов: организационного, пилотного, технологического, строительного и заключительного [1].

Экодом должен снабжаться электроэнергией, теплом и горячей водой за счет использования возобновляемых источников энергии. Для его строительства следует применять экологичные и энергоэффективные строительные материалы. Эксплуатация экодома предусматривает переработку и утилизацию органических отходов, повышение плодородия почвы, выращивание сельхозпродукции путем использования естественных биотехнологий.

Исследованию вопросов проектирования, строительства и эксплуатации экодомов посвящен ряд работ, в которых показаны зависимости формы здания, района строительства, используемых материалов и инженерного оборудования на его экологичность и энергоэффективность. В [2] рассматривается двухэтажное деревянное здание в Республике Мордовия с автоматической системой нагрева воды за счет установки солнечных батарей и электроснабжением из городских сетей. Экономия электроэнергии в таком доме, по мнению авторов, составляет до 48 %.

В [3] в качестве строительных материалов для экодома предлагается использовать дерево, солому и другие растительные материалы, необожженные грунтоблоки. Дом из таких материалов является весьма экологичным, недорогим, но менее долговечным и легковозгораемым. В работе [4] показано, что снижение инфильтрации холодного воздуха во внутреннем пространстве здания в Новосибирской области было достигнуто путем применения пирамидальной формы с пристроенной с южного фасада теплицей. Примером экологического домостроительства можно отметить экодеревню «Дружная» в районе озера Нарочь (Белоруссия), которая проектировалось для постоянного проживания. Комплекс экодомов включает 30 двухэтажных фахверковых экодомов из глиносоломы, глинощепы и соломенных блоков. Для строительства экодома в Приморском крае [5] был выбран деревянный балочно-стоечный каркас, который имеет свободную планировку и обладает высокой прочностью. При этом уменьшается зависимость сроков строительства от погодных условий, исчезает необходимость в несущих стенах традиционного типа и появляется возможность увеличить площадь остекления. В [6] показано, что объемно-планировочное решение в виде купола позволяет снизить теплопотери в здании как минимум на 20%, по сравнению с домом в форме параллелепипеда. В [7] рассматриваются высокоэффективная технология устройства утепленного фундамента виде плиты со встроенной системой отопления.

Выполненный анализ работ, посвященных строительству экодомов, позволил сформулировать концепцию экодома для Западной Сибири, учитывая климатические условия данного региона путем соединения положительного отечественного опыта с многовековым опытом строительства северных народов.

Предлагается концепция одноэтажного экодома для среднестатистической семьи из четырех человек. Форму дома предлагается сделать в виде шестигранной призмы. Такая форма является энергоэффективной, так как препятствует тепловым потерям (коэффициент компактности равен 0,92). Крыша дома по внешнему виду напоминает хантыйский чум, имеющий шесть скатов. Чум – это жилище северных народов, имеющее форму конуса, которая является приспособленной к условиям тайги. Коническая (пирамидальная) форма не позволяет скапливаться снегу на поверхности здания и делает жилище более устойчивым к ветровым нагрузкам. Коэффициент компактности данной формы – 1,07 [8]. Трехмерная визуализация предлагаемого экодома показана на рис. 1.

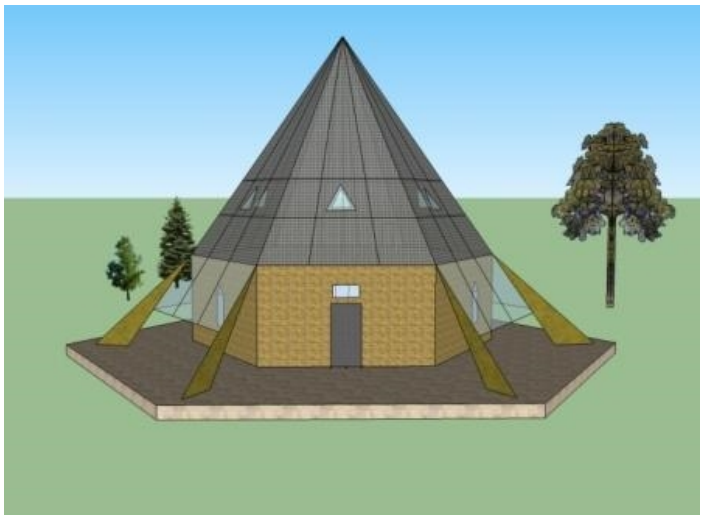


Рис. 1. Экодом для Западной Сибири в виде шестигранной призмы

В чердачном помещении рекомендуется размещать аккумуляторы для хранения электроэнергии, получаемой от солнечных батарей и ветровых установок. Отопительная система дома располагается в подвале.

Общая площадь дома – 111,4 м^2, жилая площадь – 81 м^2 (рис. 2). Количество жилых комнат – 3. Предполагается также наличие кухни, раздельного санузла, прихожей, подвала и чердачного помещения.

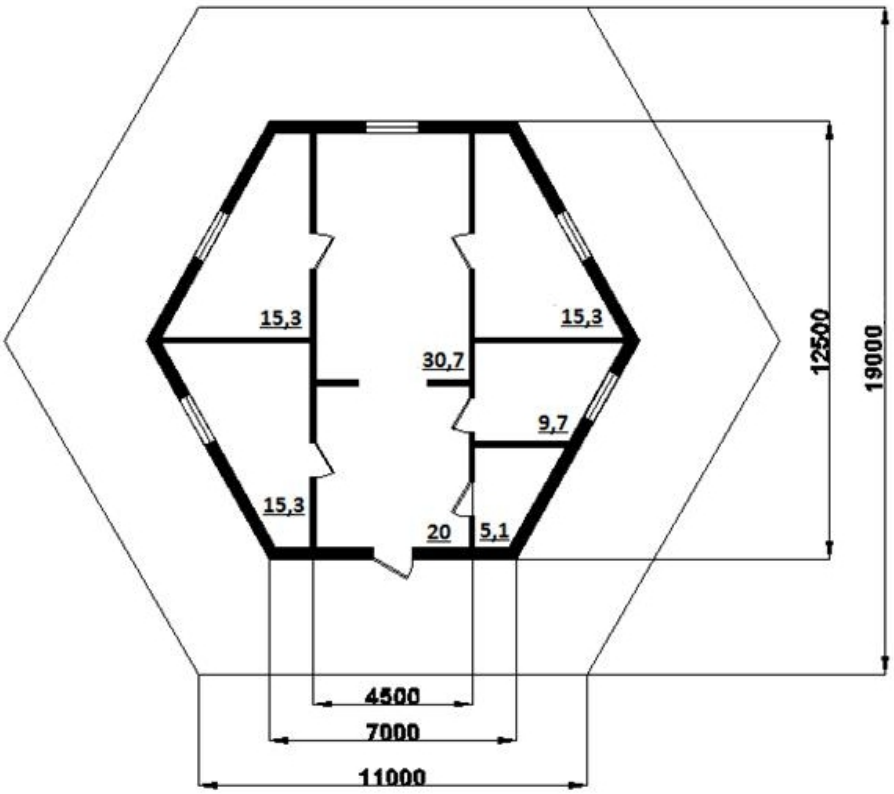


Рис. 2 – План экодома для Западной Сибири в виде шестигранной призмы

Для строительства несущих стен экодома рекомендуется применять поризованные керамические блоки, отличающиеся высокой прочностью, долговечностью, звукоизоляцией, экологичностью и противопожарной защитой. Интерьер экодома предлагается выполнить с использованием безвредных и натуральных материалов.

Список литературы

1. Горбачева Н.В., Новикова Т.С., Огородников И.А. Тепло вашему дому!.. Проект экологического малоэтажного жилищного строительства «Экодом – спутник академгородка»: Анализ опыта и перспектив // Креативная экономика. 2009. № 9. С. 128-133.

2. Аверьянова О.В., Мышкина Н.П. Экодом – средство улучшения качества жизни в республике Мордовия // Контентус. 2014. № 2 (19). С. 35-41.

3. Гнатовская А.В., Миронова Е.В., Герасимова Л.А. // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2013. Т. 1. № 9. С. 269-270.

4. Купцова Е.В. Принципы формирования архитектуры экологически чистого жилья (на примере Средней полосы России): дис. … канд. арх. Н. Новгород, 2014. 240 с.

5. Казанцев П.А. Архитектурные решения жилых малоэтажных домов с солнечным отоплением для 40-500 северной широты // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2010. № 2 (4). С. 80-91.

6. Сычев С.А. Эко технологии строительства с учетом критериев энергоэффективного зданий // Science Time. 2014. № 10 (10). С. 343-349.

7. Огородников И.А., Макарова О.Н. Сибирский дом XXI века // Технологическое образование и устойчивое развитие региона. 2010. Т.1. № 1-1(1). С. 161-175.

8. С. Н. Смирнова. Реализация архитектурно-планировочных принципов проектирования энергоэффективного жилья в традиционном жилище севера России // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 3 (28).

УДК 74

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ВНЕШНЕЙ ФОРМЫ АВТОМОБИЛЯ

С. В. Бородулина*, М. К. Решетников*

** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов, graphic@sstu.ru*

Изложены основные тенденции формообразования внешней формы автомобиля. Изменения кузова явились следствием непрерывно возрастающих требований к внешней форме как одному из основных факторов, определяющих свойства автомобиля в целом. 40-50-е гг. – период наиболее интенсивного развития внешнего вида автомобилей. Известный советский художник-конструктор, создатель кузова автомобиля «Победа» А.Н. Кириллов формулирует основные направления кузовного дизайна. Рассматриваются основные тенденции дизайна автомобиля «будущего».

Ключевые слова: автомобильный дизайн, эволюция кузова автомобиля, формообразование кузова, основные тенденции автомобильного дизайна

MORPHOGENESIS EXTERNAL FORMS CAR

S. V. Borodulina*, M. K. Reshetnikov*

** Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov, graphic@sstu.ru*

The article describes the main trends shaping the external shape of the car. Body changes were the result of continuously increasing requirements to the external form as one of the main factors determining the properties of the vehicle. 40-50th.years period of the most intensive development of the appearance of the car known. Soviet artist-designer, creator of the body of the car «Pobeda» A.N. Kirillov formulates the main directions of body design. The main trends in car design «future».

Keywords. automotive design, the evolution of the car body, body shaping, the main trends of automotive design

Тенденции развития формы кузова невозможно рассматривать в отрыве от взаимовлияния технологий и материалов Кузов является основным элементом автомобиля, основой, где размещаются все остальные узлы и агрегаты, а также водитель, пассажиры и багаж. Кроме того, кузов влияет на создание таких свойств автомобиля, как аэродинамика, дизайн, пассивная безопасность, комфорт и эргономика внутреннего пространства салона автомобиля. Через кузов передаются все эксплуатационные и аварийные нагрузки, действующие на автомобиль. По внешнему виду кузова люди отличают один автомобиль от другого. Таким образом, кузов является зрительным символом данного автомобиля и всех его технико-эксплуатационных и потребительских свойств. На цену автомобиля значительно влияет форма, пропорции, композиция и цвет кузова.

Изменение внешней формы автомобиля явилась следствием непрерывно возрастающих требований к внешней форме как одному из основных факторов,

определяющих свойства автомобиля в целом. Возникновение новой формы порождает искать новые технологические приемы и новые материалы. На развитие формы кузова также воздействуют социально-экономические факторы: класс, использование, ценовой диапазон.

Первое производство автомобилей было основано в 1888 г. в Германии Карлом Бенцем и, по лицензии Бенца, во Франции Эмилем Роже.

Автопромышленности понадобилось более тридцати лет для того, чтобы выработать современный тип кузова. Прошло 10 лет, пока уравнялись размеры передних и задних колес, приблизительно в 1915 г. были впервые применены переднее ветровое стекло и передние двери. Примерно в это же время видоизменился капот – угловатые формы исчезли, капот слился с кузовом. Открытые кузова, имевшие ранее преимущественное распространение, начиная с 1919 г. уступают место закрытым.

Закрытые кузова того времени, напоминавшие карету без лошадей, окончательно становятся на путь самостоятельного развития лишь в 1930–1931 гг. Внимательный обзор ранних типов автомобилей показывает, что до последнего времени мало внимания уделялось общей конструкции и форме. Преобладала главным образом отделка деталей, которым в декоративных интересах придавалась сложная и замысловатая форма. В. развитии форм и конструкции кузова в 1931 .г произошел резкий перелом в сторону сглаживания всех острых углов и выступающих деталей, приближая автомобиль к так называемым «обтекаемым» формам. Примерно с этого же времени (1931 г.) определился и характер изменений, вносимых в конструкцию кузова. Направленные на увеличение прочности они, как правило, всегда связываются с улучшением внешнего вида.

Развитие формы кузова хорошо прослеживается на примере моделей «Форд» с 1911 по 1968 г. (рис. 1).

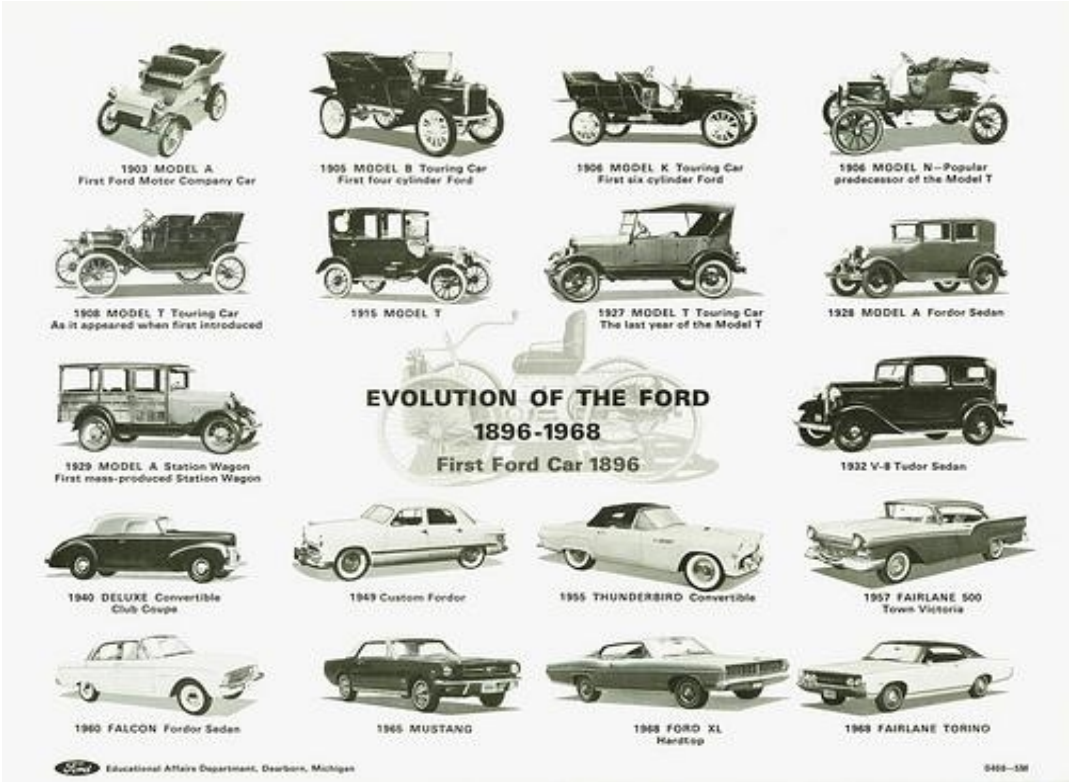


Рис. 1. Развитие кузова моделей «Форд»

Изменение технико-экономических показателей, увеличение скорости передвижения, новые материалы и технологии, необходимость улучшения аэродинамических, эргономических показателей, в значительной степени, влияют на формообразование кузова.

1940-50-е гг. – период наиболее интенсивного развития внешнего вида автомобилей известный советский художник-конструктор, создатель кузова автомобиля «Победа» (рис. 2), А.Н. Кириллов формулирует основные направления кузовного дизайна:

1. Форма и совокупность линий должна, во всех случаях, давать ощущение устремленности. Каждая линия контура или отделки, каждая деталь, видимая снаружи, должна подчеркивать основное назначение машины – движение.

2. Автомобиль должен иметь мягкие, скругленные формы с плавно переходящими друг в друга поверхностями.

В быстро передвигающихся предметах горизонтальные линии должны преобладать над вертикальными. Отсюда следует, что при конструировании быстроходных транспортных машин не следует слишком подчеркивать вертикальные линии.

В то же время передний вид облицовки радиатора, брызговиков и крыльев может заключать в себе вертикальные линии, поскольку удаляющийся или приближающийся автомобиль не кажется столь быстро движущимся, чтобы создавалось впечатление быстрого уменьшения или увеличения размера (1).

3. Форма автомобиля должна быть выбрана с учетом единообразия и симметрии.

Этот закон требует, чтобы передние и задние крылья имели одну общую форму, и не допускает комбинацию мягких закругленных линий кузова с облицовкой радиатора, имеющей прямоугольную форму. Необходимо стремиться к гармоничной увязке контуров кузова и облицовки радиатора с крыльями, фарами, дверными ручками и прочими деталями, т.е. к общей гармонии всех частей автомобиля.

4. При выборе формы автомобиля надо учитывать общую перспективу и взаимное расположение линий.



Рис. 2. Автомобиль М-20 «Победа»

С этой точки зрения горизонтальные линии должны не только повторяться, но и иметь тенденцию сходиться в общей точке. Так, например, прямая линия подножки постепенно переходит в кривую, плавно поднимающуюся к передку.

Первые шаги на пути создания внешнего вида дизайна современных автомобилей с обтекаемыми формами были предприняты еще в 90-х годах. Угловатые формы уступали закругленным линиям, поверхность кузова становилась все более обтекаемой, отвечая требованиям аэродинамики.

Дизайн автомобилей, использовавшийся в течение двух десятилетий, стал последовательно меняться, переходя от «функциональности без стильности» к «функциональности в сочетании со стильностью».

В настоящее время в автомобилестроении существуют следующие основные тенденции, которые определяют дизайн кузова:

1. Погоня за экономичностью – современные двигатели значительно меньше потребляют топлива, чем двигатели былых лет.

2. Экологичность – автомобиль не должен загрязнять окружающую среду.

3. Безопасность – современный автомобиль должен быть безопасен, чтобы защитить водителя и пассажира в случаи аварии.

4. Эргономичность – эксплуатация автомобиля должна быть максимально комфортна.

5. Хорошая обтекаемость автомобиля – для того чтобы, увеличить экономичность и мощность двигателя.

6. Уменьшение размера автомобиля – так как машин с каждым годом становится всё больше, а дорожное пространство не увеличивается.

Все более популярны сейчас автомобили малых размеров. Существует и противоположная тенденция, а именно увеличение размеров автомобиля, которая связана с увеличением безопасности и улучшением комфорта обитателей автомобиля.

Дизайн автомобиля претерпит ряд существенных изменений, будет актуален «подвижный дизайн», когда вид автомобиля будет преобразоваться в зависимости от конкретной ситуации. В будущем автомобиль разделятся на два вида: городской автомобиль и спортивный автомобиль. Городской автомобиль будет предназначен для поездок по городу, из-за этого будет иметь компактные формы, и будет экономичным. Спортивный же автомобиль будет оригинален, больших размеров для удобства водителя и будет автомобилем выходного дня.



Рис. 3. CityCar

CityCar, спроектированный в Англии городской автомобиль, может ездить даже по тротуарам, не причиняя помех пешеходам (рис. 3).

Список литературы

1. Победоносноов С.А. Дизайн-проектирование кузова автомобиля на этапе становления отечественного автостроения // Нижегородская школа дизайна: межвуз. сб. науч. тр. Вып. 2. Н.Новгород: ННГАСУ, 2011. С. 29-38.

УДК 74.01/.09

С ЧЕГО НАЧИНАЛСЯ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДИЗАЙН

А. А. Марьина*

** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов*

Рассматривается понятие слова дизайн. Когда и как зарождался промышленный дизайн. Какой образ возникает сегодня, когда мы произносим слово «дизайн».

Ключевые слова: дизайн, понятие, история, индустриальный дизайн, промышленный дизайн, создание вещей, искусство

WHERE TO BEGIN INDUSTRIAL DESIGN

A. A. Marina*

** Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov*

The article discusses the concept of the word design. When and How to emerging industrial design. What image arises today, when we say the word «design».

Keywords: design, the notion, history, industrial design, industrial design, creating things, art.

В настоящее время не существует однозначного определения термина дизайн, по этому поводу в различных источниках встречается множество разнообразных понятий.

Историческим истоком слова «дизайн» является итальянское «disegno» образное понятие его в эпоху Ренессанса означало проект, рисунок, основополагающий замысел труда. В переводе с итальянского слово «дизайн» - это «композиция», «модель», «идея». Позднее, в XVI в. в Англии появляется понятие «disegno», дошедшее до сегодняшних дней.

Если обратиться к толковому словарю английского языка Уэбстера, то слово «design» разъясняется и как глагол, и как существительное. Первое толкование – указывать, намечать, создавать, оформлять, планировать, намереваться создать что-либо с определенной целью. Второе – цель, целевое планирование, мысленный проект, схема действий, предварительный набросок, компоновка, расположение элементов в художественном произведении, декоративный мотив, область создания форм промышленных изделий с учетом эстетических качеств. Несмотря на многозначность этого слова, им называют также процесс создания, зарождения, воплощения, и результат деятельности.

В переводе с английского на русский дизайн (design) означает чертеж, проект, план, эскиз, рисунок, узор, замысел. В то же время в этом термине заключен оттенок необычности, остроумия. Потому как в переводе с английского «designer» – хитроумный человек, а не просто проектировщик новых изделий. Одновременно и дизайн – не просто проект, а остроумный проект, оригинальное, необычное предложение, красивое решение.

В англоязычных странах дизайн – это являющееся причиной возникновения машинного производства обособленное проектирование.

Наиболее широкий смысл понятию дизайна придают отдельные специалисты, вкладывая в него особый комбинаторный способ мышления, способность соединять ранее не связанные явления. Такая трактовка дизайна охватывает практи-

чески все сферы творческой деятельности человека: литературу, биологию, медицину, конструкторское проектирование и т.п. Такое понимание дизайна относят к тому времени, когда первобытные люди, соединив камень с палкой, смогли получить топор, копье, стрелу.

В Японии под словом «дизайн» имеют в виду создание вещей, которые совмещают в себе пользу и красоту. В таком понимании историческое возникновение дизайна начинается со времен зарождения прикладного искусства. Отметим, что выражение «прикладное искусство» (applied art) зародилось только в первой половине XIX века, когда проблема совмещения пользы и красоты становится актуальной. Ранее, в эпоху кустарного производства, этим вопросом не задавались из-за неразрывной взаимосвязи красоты и пользы.

С профессиональной точки зрения дизайн – это творческая проектно-художественная деятельность по созданию промышленных разработок с высокими потребительскими и эстетическими показателями качества, деятельность по организации комфортного обеспечения жилой, производственной и социально-культурной сторон жизнедеятельности человека.

В русском языке это понятие возникло сравнительно недавно, но формирование искусства началось много столетий назад.

Несколько десятилетий ведутся споры о возникновении дизайна. [1] Рассматриваются различные версии.

История дизайна как проектно-художественная деятельность берет свое начало в середине XIX века и связана с развитием индустриального производства, создавшим потребности в новой профессии [2].

Дизайн как связь искусств и ремёсел. Относится к возникновению в конце XIX века известного английского «Движения искусств и ремёсел», возглавленного Уильямом Моррисом, когда были сформированы главные положения теории и творческие принципы дизайна, повлиявшие на школы и направления более поздних лет.

Дизайн как художественно-промышленная деятельность: начало XX века, когда художники заняли ведущие посты в ряде отраслей современной промышленности и получили возможность формировать фирменный стиль предприятий и влиять на политику выпуска электротехнических приборов, автомобилей, радиоаппаратуры (деятельность Петера Беренса в компании AEG и американской автомобильной фирмы «Форд»).

Становление дизайна как профессии, в зависимости от его реального вхождения в жизнь – непосредственно в производство, торговлю. Хронологический отсчет в этом случае начинается с ещё более позднего времени – с 1930-х годов, точнее со времени выхода США из великого экономического кризиса.

Дизайн как компоновочная деятельность, берет отсчет от орудий первобытного человека, впервые столкнувшегося с понятиями удобства орудий труда, вопросами повышения производительности, компоновки предметов, первых намеков на эргономику предметов [3].

Первые промышленные дизайнеры появились ещё в XVIII веке в Англии с развитием промышленного производства набивных тканей.

Понятие «индустриальный дизайн» впервые появилось в Германии в 1919 году наряду с основанием революционной школы индустриального дизайна «Баухаус». Начали выпускать художников для работы в промышленной сфере. В

школе разрабатывались образцы промышленного производства, заключающие свойства материалов, художественные особенности, элементы профессионализма. В одном построенном здании располагался полноценный городок для дизайнеров с мастерскими, аудиториями для проведения занятий, общежитием и квартирами для преподавателей. Здание позже стало фондом мировой архитектуры. Система и методика преподавания этой школы нашли отражение в наших школах, выпускающих промышленных дизайнеров.

Отголоском немецкого Баухауза было создание московского ВХУТЕМАСа (Высшие художественно-технические мастерские). В нашем искусстве стиль «конструктивизм», взявший начало от Баухауза был основано на концепции формообразования с тенденциями производственного налета. Основоположниками были А. Родченко, К. Малевич, В. Татлин, Э. Лисицкий. Они создавали абстрактные композиции в авангардной манере из самых разнообразных материалов, названные позднее контррельефами. Из кусков жести, проволоки, дерева, бумаги, стекла, и штукатурки вырезались элементы кубической композиции и крепились на деревянную основу, образуя своеобразный коллаж. Конструктивизм в Баухаузе и у нас тяготел к кубизму. Чувство ритма, присущее кубизму, выражалось в образах, линиях, форме, досконально отражающей материал. Кубизм – это где можно разложить по полочкам объемные формы видимых реально объемов на геометрические элементы. Конструктивизм уступил место функционализму. Минимум декора, максимум удобств для человека. Главную композиционную тему объектов составляли графические архетипы. То есть повторяющиеся схемы квадратов, зигзагообразных линий, крестов и их принципиальных соотношений, контрастная характеристика цвета. В школах дизайна появляется новый предмет «Культура материала». В Германии функциональный стиль выразился в формировании стиля Deutsche Werkbund. Они рассматривали индустриализацию уже как наносящую вред национальной культуре, в дизайне проповедовали эстетическое и моральное начало.

После второй мировой войны индустриальный дизайн получил серьёзное развитие в Скандинавии и Нидерландах. Примерно в то же период интерес к направлению проявили американцы, причиной тому стало увеличения продаж. В 60-е годы прошлого века в Америке направление стало настолько популярным, что была организована Коллегия Индустриального дизайна. В 1969 году член этой коллегии Томас Малдонадо дал весьма ёмкое определение индустриальному дизайну: «Индустриальный дизайн – это творческая активность, имеющая цель улучшать внешние достоинства объектов, производимых в промышленности».

Конец прошлого столетия 1997 год был знаменательным для истории мировой культуры - девяностолетие промышленного дизайна, неординарное событие, совмещающее в себе искусство и технику.

Произнося слово «дизайн» сегодня, возникает образ, связанный с новейшими передовыми событиями так называемыми «ноу-хау» и самыми модными техническими изобретениями. Дизайнерские разработки не только идут в ногу со временем, но и, опережая, предопределяют движение современности, позволяя заглянуть в будущее, представленное не в книгах или фильмах писателей-фантастов, а в действительных промышленных моделях. Передовые компании-гиганты, тщательно анализируя динамику и специфику потребительского спроса, составляют прогнозы на будущее, трудятся на перспективу, создавая прогрессив-

ные образцы для потребителей завтрашнего дня с их разнообразными запросами и изысканным вкусом, становясь законодателями моды.

Список литературы

1. Михайлов С.М. История дизайна: учеб. для вузов. М.: Союз Дизайнеров России, 2003. 270 с.
2. Михайлов С.М., Михайлова А. С. История дизайна: краткий курс: учеб. для вузов. М.: Союз Дизайнеров России, 2004 . 279 с.
3. Ковешникова Н. А. Дизайн: история и теория. М.: Омега-Л, Группа Компаний, 2009. 202 с.
4. Рунге В. Ф. История дизайна, науки и техники. М.: Архитектура-С, 2006. 368 с.
5. Лаврентьев А. Н. История дизайна: учеб, пособие. М.: Гардарики, 2008. 320 с.

УДК 666.973.6

ДЕЗИНТЕГРАТОРНАЯ АКТИВАЦИЯ ЦЕМЕНТА И ПЕСКА С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕНОБЕТОНА ЗАДАННЫХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

К. С. Шинтемиров*, М. Ж. Рыскалиев*, Е. Д. Изгалиев *, Г. С. Бегалиева*

** Западно-Казахстанского аграрно-технического университета имени Жангир хана, Казахстан, Уральск, shintemirov@mail.ru, muratbai_84@mail.ru, yeldar-maiya@mail.ru, b.gs@list.ru*

Приводятся сведения о активации цемента в различных помольных агрегатах – трубной шаровой мельнице и дезинтеграторах. Установлено, что активация цемента в дезинтеграторах позволяет избирательно походить к зерновому составу цемента с наибольшим содержанием нужной «товарной» фракции частиц с размерами от 10 до 40 мкм. При этом активность вяжущего повышается, что объясняется приобретением частицами цемента «щебневидной» формы. Дезинтеграторная активация песка позволяет устранить негативное влияние глинистых примесей в песке с содержанием до 7%. Модификация состава пенобетона минерально-химическими добавками «Лигнопан Б-2», «Биотех-НМ» и «Акватрон-8» позволяет получать пенобетоны по прочности сравнимыми с ячеистыми бетонами автоклавного твердения.

Ключевые слова: пенобетон, пенообразователь, дезинтегратор, сроки схватывания цемента, пластическая прочность, структурная прочность пенобетона

DISINTEGRATOR ACTIVATION OF CEMENT AND SAND WITH GETTING OF FOAM CONCRETE OF SPECIFIED PHYSICAL-MECHANICAL FEATURES

K. S. Shintemirov*, M. Zh. Ryskaliyev*, E. D. Izgaliyev*, G. S. Begaliyeva*

** West Kazakhstan agrarian-technical University by named Zhangir khan, Kazakhstan, Uralsk, shintemirov@mail.ru, muratbai_84@mail.ru, yeldar-maiya@mail.ru, b.gs@list.ru*

This article consists of information about activation of cement in different milling unit-trumpet ball mill and disintegrators. It was fixed, that cement activation in disintegrators allows selectively simulate to grain composition of cement with the largest substance of need “ready-mixed” fraction of units with dimensions from 10 to 40 mkm. This time activity of cementing agent rises, that explains with procurement of cement units “rubble” form. Disintegrator sand activation allows to dispose of negative influence of argillaceous admixture in sand with substance to 7%. Modification composition of foam concrete with mineral-chemical additives “Lignopan B-2”, “Biotex-HM” and “Aqvatron-8” allows to get foam concrete with strength improve with cellular concretes of steam-cured hardening.

Keywords: foam concrete, frother, disintegrator, setting time of cement, plastic strength, structural strength foam

Проблема активации портландцемента с целью повышения его полезных свойств так же стара, как и сам портландцемент. И все же, несмотря на долгие годы теоретических изысканий и натурных опытов отработанной на сегодняшний день методики активации портландцемента, когда бы затраты на ее осуществление не превышали бы затрат на само его производство, не существует. Многочисленные публикации, эксплуатирующие тему увеличения активности портландце-

мента, в основной массе предлагают методы весьма далекие от реалий практического использования, как в части аппаратного обеспечения, так и в части экономической целесообразности предлагаемых работ. Вместе с тем увеличение активности, а в большинстве случаев просто доработка поступающего на предприятия портландцемента заводского изготовления для приведения его в соответствие с заявленной маркой, в наше время представляется особенно актуальной.

Именно сейчас, когда объемы строительства в Казахстане стремительно растут, дефицит портландцемента ощущается особенно остро. В создавшейся ситуации, когда только для поверхностного удовлетворения постоянно растущего спроса, необходимо увеличить производство до 80…90 млн. тонн, даже крупным потребителям приходится мириться с зачастую крайне низкой изначальной активностью портландцемента и приобретать материал, единственное достоинство которого – наличие на складе.

Острый дефицит портландцемента, став настоящей проблемой современного строительства, приводит к тому, что крупные цементные заводы совершенно не заинтересованы в повышении качества выпускаемой продукции. Ажиотажный спрос обеспечивает отличный сбыт материала сомнительных достоинств и низкого качества.

Если, в настоящее время при достаточно умеренном дефиците, качество цемента, в отдельных случаях, не выдерживает никакой критики, что же случится, когда потребность в данном материале многократно превысит предложение? При этом наращивание объемов производства материала не может рассматриваться как выход из сложившейся ситуации. Повышение активности портландцемента позволяет более полно использовать потенциальные возможности вяжущего, и открывает широкие горизонты снижения расхода портландцемента при получении изделий, нормируемых показателей прочности, морозостойкости и т.д. Подобный подход, когда снижение дефицита портландцемента достигается не только благодаря увеличению объемов производства, а в большей степени за счет повышения качества выпускаемой продукции, должен быть признан единственно верным. Тем более, что производство цемента не является безупречным в плане воздействия на окружающую среду, технология производства которого связана с большими выбросами в атмосферу CO_2. Одного этого факта вполне достаточно чтобы понять, что проблема нехватки портландцемента требует комплексного решения, когда увеличение объемов производства должно сопровождаться и улучшением качества выпускаемой продукции.

В этом случае центр тяжести решения данной проблемы, вполне может переместиться от крупных заводов-монополистов к предприятиям строительной отрасли, непосредственно занятым в производстве бетонных изделий и конструкций. Иными словами, цементные заводы, выпускающие продукцию усредненной активности, могут рассматриваться скорее как поставщики сырья, а не готового продукта требуемых характеристик. В этом свете методика корректировки свойств портландцемента, в том числе и увеличения его активности, адресованная, прежде всего, предприятиям средней и малой мощности, могла бы кардинально изменить существующую практику использования портландцемента.

На сегодняшний день накоплен богатый опыт увеличения активности портландцемента путем повышения дисперсности цементного порошка. Однако несмотря на впечатляющие результаты лабораторных исследований, данная методи-

ка не нашла применения в производстве строительных материалов. Многочисленные попытки внедрения методики активации портландцемента непосредственно на местах его использования, не привели к желаемым результатам, эффект повышения вяжущих свойств портландцемента не покрывал расходов на ее осуществление. В данном случае имеется в виду не отсутствие методов активации портландцемента, а отсутствие энергопродуктивного способа ее осуществления, когда затраты энергии были бы сопоставимы с полученными результатами. На сегодняшний день именно в этом несоответствии и кроется основная проблема активации портландцемента.

Хорошо известно, что многие свойства портландцемента, в том числе, его активность, скорость твердения и др., определяются не только химическим и минералогическим составом клинкера, но и в большой степени тонкостью помола продукта, его гранулометрическим составом и формой частичек порошка.

Цементный порошок состоит в основном из зерен размером от 5-10 до 30-40 мкм. Обычно тонкость помола портландцемента характеризуют остатками на ситах 0,08, а иногда 0,06 мм, а также удельной поверхностью порошка. Портландцемент рядового качества измельчают до остатка на сите № 008 5-8% (по массе), цементы же быстротвердеющие – до остатка 2-4% и меньше. При этом удельная поверхность соответственно достигает 2500-3000 и 3500-4500 $см^2/г$ и более. Однако зависимость между остатком на сите и удельной поверхностью достаточно условна. Более того, в случае если помол материала проводился не в мельнице истирающего действия, а, например, с использованием измельчительного агрегата ударного действия, остаток на сите не имеет никакого отношения к удельной поверхности полученного материала. Соответственно, остаток на сите, как, строго говоря, и показатели удельной поверхности цементного порошка не могут рассматриваться как величины, способные дать реальную картину активности цемента. Можно только отметить, что дисперсность цементного порошка, его зерновой состав, форма зерна, в основном зависят от вида помольного агрегата, применения открытого или замкнутого цикла измельчения, формы и размера мелющих тел, скорости свободного удара при дезинтеграторном способе измельчения.

Рассматривая основные модели разрушения твердых тел, в том числе и цементные зерна, можно выделить два типа разрушающей деформации, которая и вызывает разделение объекта на отдельные элементы. Как при дроблении, так и тонком измельчении куски или зерна материалов в различных механизмах разрушения подвергаются преимущественно действию сжимающих сил с двух сторон (например, в щековых, конусных и других видов дробилок, барабанных шаровых и вибрационных мельницах) или с одной стороны (например, в дезинтеграторах или ударно-отражательных дробилках). В результате воздействия сжимающих сил в кусках и зернах материала возникают напряжения, приводящие, при достижении предельных значений, к разрыву, с образованием более мелких частиц. Объективно, для разрушения твердых тел деформация сдвига со смещением (как это происходит при дезинтеграторном способе измельчения) является более предпочтительной, нежели деформация сжатия, осуществляемая в результате действия сжимающих сил с двух сторон. Это объясняется, прежде всего, тем, что большинство материалов, используемых в производстве вяжущих веществ, характеризуются прочностью на сжатие, в 6-12 раз превосходящей прочность на растяжение. Поэтому, при их измельчении с использованием помольных агрегатов, реализующих

модель разрушения на основе деформации сжатия, энергии расходуется во много раз больше, чем необходимо по расчетам. Ярким представителем помольных агрегатов двухстороннего нагружения, являются барабанные шаровые мельницы. Так, в шаровых мельницах на полезную работу измельчения расходуется не более 1,5-10% всей подводимой энергии. Остальная часть энергии переходит в безвозвратно теряемое тепло или другими словами расходуется впустую [1].

Однако именно шаровые мельницы широко используются в производстве цемента, как на этапе подготовки сырьевых компонентов, так и при окончательном помоле клинкера. Объяснить это можно особой спецификой производства цемента связанной с большими объемами перерабатываемых материалов. В данном случае выбор помольного агрегата в большей мере определяется необходимой дисперсностью продукта, а также надежностью и простотой обслуживания оборудования, а не из-за выдающихся показателей эффективности измельчения или оптимального расходования подводимой энергии.

В случае если активация портландцемента заводского изготовления производится на местах его непосредственного использования, например, на предприятии по выпуску пенобетонных изделий, именно от правильного выбора типа помольного агрегата будет зависеть экономическая целесообразность работ по активации портландцемента. Иными словами, барабанные шаровые мельницы, традиционно используемые в производстве портландцемента для получения материала требуемой дисперсности, не могут быть использованы при его активации на предприятиях малой и средней мощности. В работах, по активации портландцемента выполняемых на местах его использования, когда объемы перерабатываемого материала относительно невелики (по меркам цементных заводов) экономически целесообразным является метод ударного разрушения или как его еще называют дезинтеграторный метод.

Известно, что цементный порошок весьма неоднороден по своему гранулометрическому составу. В связи с этим ряд исследователей рекомендуют характеризовать активность цемента не только по удельной поверхности порошка, но и по зерновому составу. Так, например, равномерное и быстрое твердение цемента достигается при следующих зерновых составах: зерен мельче 5 мкм – не более 20%, зерен размерами 5-20 мкм – около 40-45%, зерен размерами 20-40 мкм – 20-25%, а зерен крупнее 40 мкм – 15-20%.

Многочисленными исследованиями, проводившимися как в нашей стране, так и за рубежом, выявлена зависимость между количеством зерен определенного размера и скоростью твердения. Так, частицы размерами 0-5 мкм оказывают решающее влияние на рост прочности цементного камня в первые часы твердения. Частицы размером 5-10 мкм влияют на прочность цементного камня в 3-7 суточном возрасте, а фракции 10-20 мкм определяют прочность в 28 суточном и более позднем возрасте.

Для продукта, измельченного в шаровых мельницах свойственен весьма разнообразный гранулометрический состав, который представлен мелкими (переизмельченными) частицами (< 5 мкм), частицами основной «товарной» фракции (5-40 мкм) и крупными частицами, размер которых в десятки раз превышает размер «товарной» фракции. При этом процентное отношение частиц каждой фракции изменяется в зависимости от вида мельницы, размера мелющих тел, формы бронеплит в шаровых мельницах, а также от соотношения между длиной и диа-

метром мельниц. Другими словами, для шаровых мельниц характерна низкая избирательность измельчения, что проявляется в отсутствии возможности регулирования гранулометрического состава полученного продукта в плане уменьшения размеров частиц средней, наиболее важной фракции цементного порошка. При попытках уменьшить размер частиц средней фракции скажем с 40 до 20 мкм (не увеличить показатель удельной поверхности, а именно уменьшит средний размер частиц), в результате неизбирательного раздавливающе-истирающего помола, попутно измельчался весь размерный ряд цементных зерен. Верхняя часть средней фракции переходит в тонкий переизмельченный класс цементных частиц, а измельчаемые крупные зерна не успевают компенсировать потерю средней фракции. В результате на фоне увеличения удельной поверхности цементного порошка фиксируется сокращение доли наиболее важных размеров 10-20 мкм. Отсутствие возможности повлиять на гранулометрический состав цементного порошка при помоле в шаровых мельницах, практически не оставляет надежды на получение материала, повышение активности которого в начальные сроки твердения не оборачивалось бы снижением прочности и морозостойкости в последующем.

Метод ударного измельчения цементного зерна, напротив, характеризуется достаточно узкой гранулометрией, процентное содержание в порошке частиц средней фракции при измельчении материала методом свободного удара гораздо выше, нежели при других способах помола. Поэтому, основной прирост прочности цемента, активированного ударным методом, наблюдается не в первые часы твердения, а спустя 3-7 суток. Что объясняется, прежде всего, высокой избирательностью измельчения методом свободного удара.

При ударном, или как его еще называют дезинтеграторном измельчении цементного зерна, гранулометрия получаемого продукта в основном зависит непосредственно от скорости свободного удара. Так, для разрушения цементного зерна, в зависимости от его размера, необходима строго определенная энергетика ударного воздействия. Чем выше скорость помольного органа дезинтегратора или скорость самой разрушаемой частицы, тем меньше размер частиц в готовом продукте. В работе нами был применен измельчитель-дезинтегратор серии «Горизонт» с центральной загрузкой исходного материала. Принципиальная схема измельчителя-дезинтегратора показана на рисунке 1.

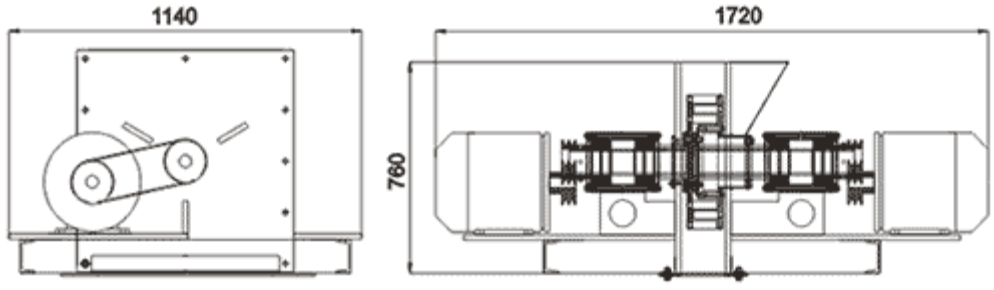


Рис. 1. Принципиальная схема измельчителя-дезинтегратора серии «Горизонт».

Многочисленные опыты показали, что у портландцемента, имеющего остаток на сите № 008 – 20%, в результате дезинтеграторного измельчения и как следствие выравнивания зернового состава средней части, частицы размерами более 80 мкм переходят в среднюю фракцию с размерами частиц менее 40 мкм.

Иными словами, крупные неактивные цементные зерна в результате ударного измельчения, переходят в активную среднюю фракцию, оказывающую ос-

новное влияние на прочность цементного камня в первые дни, недели и месяцы его твердения.

На рис. 2 и 3 приведены гистограммы соотношения основных фракций цементного зерна после помола их в дезинтеграторах и шаровой мельнице.

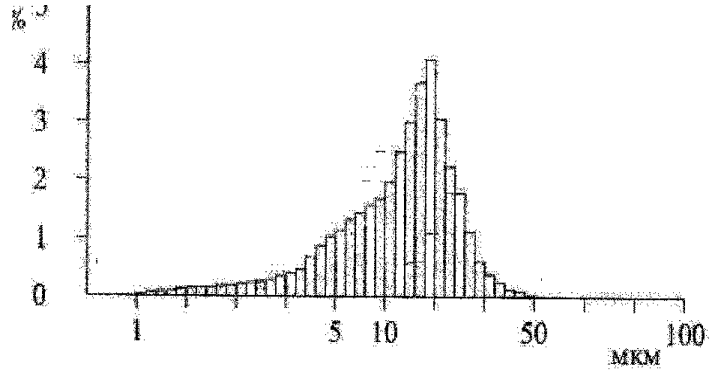


Рис. 2. Количество частиц данного размера цементного порошка дезинтеграторного измельчения

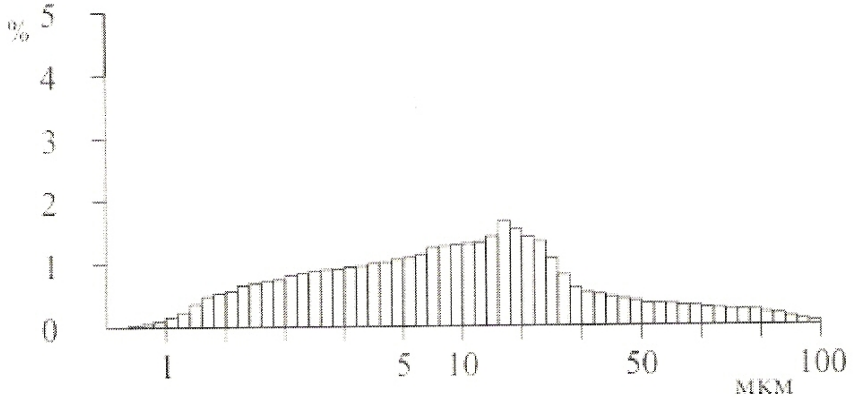


Рис. 3. Количество частиц данного размера цементного порошка, измельченного в шаровой мельнице

Как видно из представленных гистограмм, главное отличие порошков, полученных на разных помольных агрегатах, это процентное отношение основных фракций. Материал, помол которого производился в шаровой мельнице, характеризуется относительно большим количеством тонких частиц размерами менее 5 мкм, и высоким содержанием крупных зерен размерами более 40 мкм.

Цемент, активированный в дезинтеграторах, характеризуется невысоким содержанием частиц меньше 5 мкм и достаточно высоким содержанием «товарной» фракции частиц от 20 до 40 мкм, т.е. фракционный состав более узкий в сравнении с частицами цемента, активированного в шаровой мельнице.

Главная проблема переизмельчения цементного зерна (размеры частиц менее 5 мкм), большое количество которых образуется при раздавливающе-истирающем измельчении, состоит в том, что высокодисперсные частицы при затворении цемента водой гидратируют настолько быстро, что практически не участвуют в последующем его твердении. В результате высокодисперсные частицы, на получение которых бала затрачена львиная доля подведенной энергии, в твердеющем цементном камне играют роль мелкого заполнителя, так как их гидратация закончилась задолго до начала гидратации частиц более крупных. Таким образом, средняя наиболее полноценная фракция часто бывает принесена в жерт-

ву эффекта «псевдоактивации» портландцемента. Итак, при активации портландцемента совершенно необходимо получение материала узкой гранулометрии именно средней фракции (10-40 мкм), которая должна пополняться в результате измельчения крупных, малоактивных цементных зерен. В этой связи, только при использовании агрегатов измельчения ударного действия, таких как дезинтеграторы, становится возможным повышение активности цемента наиболее рациональным способом.

Известно, что характер формы и шероховатость поверхности зерен цементного порошка оказывают значительное влияние на активность цемента. В результате дезинтеграторного измельчения цементные частицы приобретают осколочную или «щебеночную» форму с острыми углами и сильно развитой конфигурацией, которая способствует их более интенсивному взаимодействию с водой, что в свою очередь позволяет говорить о повышении физико-химической активности цементного зерна [2, 3]. Цементные зерна, полученные при активации в шаровой мельнице, имеют окатанную (шаровидную) форму, поэтому их активность (при одинаковом зерновом составе) ниже активности цементных зерен прошедших дезинтеграторную обработку.

Учитывая, что энергозатраты при дезинтеграторной обработке материалов значительно ниже, чем при измельчении в шаровых мельницах, форма зерен шероховатая, мы решили активировать песок в дезинтеграторе серии «Горизонт». При этом мы преследовали цель не только активировать песок, но и снизить его абразивное действие по отношению к героторному насосу, подающему пенобетонную смесь в формы-опалубки. На рис. 4 приведена зависимость показателя формы зерен песка, молотого в дезинтеграторе и шаровой мельнице. За начальную точку у обеих кривых принята точка, отвечающая показателям исходного песка (песок карьера «Придорожный» Атырауская область).

Из рис. 4 видно, что наименьшими являются средние показатели формы зерен песка, измельченного в дезинтеграторе. При увеличении тонины помола показатель формы зерен повышается. При самом грубом помоле этот показатель значительно ниже, чем у исходного песка. Такое явление связано, видимо, со значительным дроблением продолговатых частиц природного песка ударами о пальцы дезинтегратора.

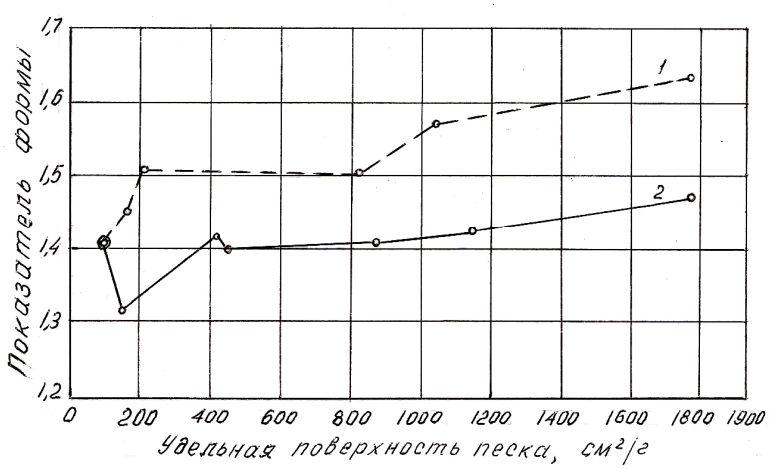


Рис. 4. Зависимость показателя формы зерен песка, молотого в различных агрегатах, от удельной поверхности: 1 – шаровой мельнице; 2 – дезинтеграторе

Показатель формы зерен этого же песка, размолотого в шаровой мельнице выше, чем у песка в природном состоянии и песка размолотого в дезинтеграторе. Объясняется это, по-видимому, тем, что в шаровой мельнице мелкие переизмельченные частицы песка служат демпфером для частичек продолговатой формы, и они размельчаются в меньшей степени. На рисунке 5 приведены показатели формы зерен песка по отдельным фракциям, размолотых в различных агрегатах.

Из рисунка 5 видно, что у всех фракций песка дезинтеграторного помола показатель формы зерен меньше, чем у песка, размолотого в шаровой мельнице. Лишь с увеличением тонины помола, т.е. у песков фракций 0,05–0,01 мм показатель формы зерен песка размолотого в шаровой мельнице примерно равен показателю формы зерен песка, размолотого в дезинтеграторе. Это объясняется способностью шаров слабыми ударами дробить мелкие продолговатые частицы песка. Однако тонкое измельчение песка мы считаем нецелесообразным, так как это может вызвать усадочные трещины в пеносиликальцитобетоне, поскольку он будет служить наполнителем, а не заполнителем. Кроме того, тонкое измельчение песка требует больших энергозатрат, что экономически нецелесообразно.

Следующим этапом наших исследований было определение сроков схватывания, нормальной густоты и активности вяжущего, прошедшего дезинтеграторную обработку. Были испытаны портландцементы марки 400 Д20 Карагандинского и Шымкентского цементных заводов. Испытания проводили по методикам, приведенным в ГОСТах 310.1 – 310.4. Результаты испытаний приведены в таблице 1.

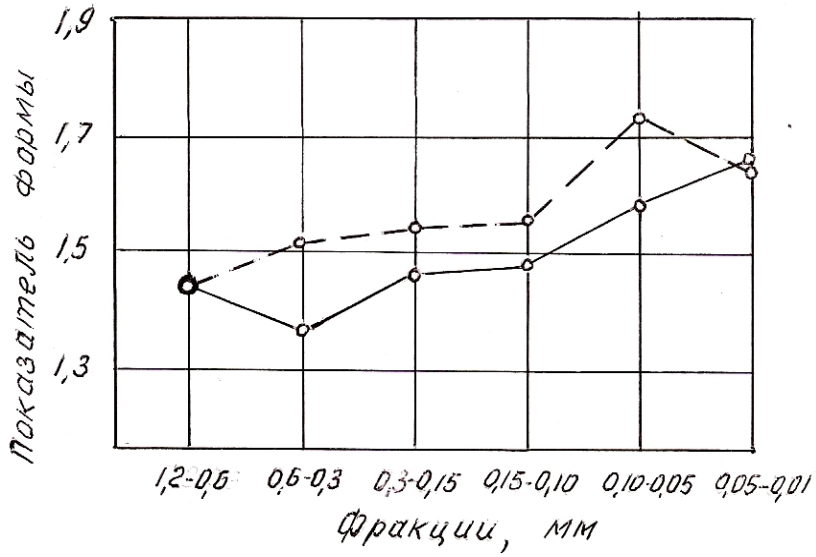


Рис. 5. Значения показателей формы зерен по отдельным фракциям песка, молотого в различных агрегатах: пунктирные линии – в шаровой мельнице; сплошные линии – в дезинтеграторе

Таблица 1 – Результаты по определению основных характеристик цементов, активированных в дезинтеграторе серии «Горизонт»

Цементы	Удельная поверхность, $см^2/г$	Нормальная густота цементного теста, %	В/Ц раствора 1 : 3	Сроки схватывания, ч - мин		Предел прочности через 28 суток, МПа	
				начало	конец	при изгибе	при сжатии
Карагандинский	4030	26,2	0,41	1-10	4-55	7,4	53,6
Шымкентский	4180	25,5	0,42	0-55	4-50	7,9	55,7

Из данных, представленных в табл. 1, видно, что сроки начала и конца схватывания дезинтегрированных цементов сокращаются примерно на 1 час 10 минут и на 2 часа 15 минут соответственно. При этом активность (марка) цементов повысилась на оду и более ступени.

Доказано, что кератиновый пенообразователь существенно удлиняет сроки начала и конца схватывания цемента (на 60 и более минут). С целью сокращения сроков схватывания и твердения пенобетона в ранние сроки, мы ввели добавки-ускорители твердения пенобетона. В качестве таких добавок были испытаны минерально-химические добавки «Лигнопан Б-2», «Биотех-НМ» и «Акватрон-8». Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Основные физико-механические свойства активированных цементов с добавками ускорителями твердения

Цементы	Вид и концентрация добавок, %	Нормальная густота цементного теста, %	В/Ц раствора 1 : 3	Сроки схватывания, ч - мин		Предел прочности через 28 суток, МПа	
				начало	конец	Rизг	Rсж
Карагандинский	«Лигнопан Б-2» - 0,5;	24,8	0,39	1- 15	4-55	8,3	57,2
	то же – 1,0;	23,5	0,38	1 - 10	4-50	8,7	59,4
	то же – 2,0	22,3	0,36	0 - 55	4-25	8,9	60,6
	«Биотех – НМ»– 0,5;	22,7	0,34	1 - 10	4 - 05	7,8	62,6
	то же – 1,0;	21,5	0,35	0 - 55	3 - 55	8,3	65,5
	то же – 1,5	20,8	0,37	0 - 50	3 - 45	8,7	67,3
	«Акватрон –8» – 0,5;	25,7	0,40	0 - 40	3 - 25	8,8	66,7
	то же – 1,0;	25,6	0,39	0 - 35	3 - 20	9,2	68,2
	то же – 1,5	25,5	0,37	0 - 30	3 - 15	9,4	69,3
Шымкентский	«Лигнопан Б-2» - 0,5;	24,7	0,40	0 - 50	4 - 45	8,5	58,4
	то же – 1,0;	24,2	0,38	0 - 47	4 - 35	8,7	59,9
	то же – 2,0	23,9	0,35	0 - 45	4 - 10	9,0	61,5
	«Биотех – НМ»– 0,5;	22,5	0,33	1 - 00	4 - 40	8,2	63,5
	то же – 1,0;	21,3	0,32	0 - 55	4 - 10	8,5	66,7
	то же – 1,5	20,5	0,31	0 - 50	3 - 35	9,1	68,9
	«Акватрон –8» – 0,5;	25,4	0,41	0-35	3-20	8,9	67,8
	то же – 1,0;	25,3	0,40	0-30	3-15	9,3	69,2
	то же – 1,5	25,2	0,39	0-25	3-10	9,5	70,3

Из данных, представленных в табл. 2, видно, что минерально-химические добавки «Лигнопан Б-2» и «Биотех–НМ» пластифицируют цементное тесто и сокращают сроки начала схватывания образцов примерно на 1 час, а конец схватывания, сокращается на 1 час и более.

При этом прочность образцов с добавками «Лигнопан Б-2» и «Биотех-НМ» повысилась более чем на одну ступень в сравнении с прочностью образцов без добавок. Введение добавки «Акватрон-8» сокращает сроки начала и конца схватывания цемента значительно больше, чем добавки «Лигнопан Б-2» и «Биотех – НМ». Начало схватывания цементов с добавкой «Акватрон-8» при добавке 0,5% от массы цемента находится в пределах от 35 до 45 минут, а при добавке 1,5% – от

25 до 35 минут. Прочность образцов с добавкой «Акватрон-8» повысилась почти на две ступени в сравнении с образцами без добавок и на одну ступень в сравнении с добавками «Лигнопан Б-2» и «Биотех-НМ» [4].

Практика приготовления пенобетона показала, что время перемешивания бетонной смеси в бетономешалке составляет примерно 7-10 минут, а время выгрузки смеси из бетономешалки и распределения ее в формах находится в пределах 15 – 20 минут. На основании этого считаем, нецелесообразным введение добавки «Акватрон-8» в концентрации 1,5% от массы цемента, так как в некоторых случаях этого времени может оказаться недостаточным для укладки пенобетонной смеси в формы, так как смесь может затвердеть в бетономешалке или шлангах героторного насоса. Поэтому оптимальной дозировкой «Акватрон-8» мы считаем 0,5% от массы дезинтегрированного цемента.

Таким образом, эксперименты показали, что дезинтеграторная активация цемента и песка повышает активность вяжущего на одну-две ступени за счет повышения «товарной» фракции частиц цемента с размерами зерен 10-40 мкм и полного отсутствия неактивных зерен цемента с размерами частиц более 60 мкм. Наряду с повышением активности цемента, сокращаются сроки начала и конца их схватывания на 1 и 2 часа соответственно в сравнении с их исходным состоянием. Применение минерально-химических добавок ускорителей твердения цемента, таких как «Лигнопан Б-2», «Биотех -НМ» и «Акватрон-8» дает еще больший эффект. Начало схватывания цемента сокращается до 1 часа и более, а конец схватывания сокращается до двух часов и более. При этом марка цемента повышается до 550-700. Благодаря активации цемента и песка в дезинтеграторах и применения добавок – ускорителей твердения, появилась возможность сократить расход вяжущего вещества.

Список литературы

1. Хинт И.А. Основы производства силикальцитных изделий. Л – М.: Госстройиздат, 1962. 601 с.

2. Бутт Ю.М., Майер А.А. Влияние способа помола на форму и характер поверхности частиц песка. // Сб. трудов РОСНИИМС. 1956. № 10. С. 51.

3. Классен В.И., Попова Э.И. К механизму измельчения мелких кварцевых зерен в шаровых мельницах. // Доклады АН СССР. 1952 Т. 85. № 1. С. 149.

4. Шинтемиров К.С., Хисметов Н.С. Технология кератинового пенообразователя и пеносиликальцита на его основе // Пенобетон-2007: материалы Междунар. науч.-практ. конф. 19-21 июня 2007 г. СПб., 2007. С. 139-144.

УДК 666.972.12

НЕКОТОРЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СТРУКТУРУ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА БЕТОНА

К. С. Шинтемиров*, М. Ж. Рыскалиев*, Д. С. Давлеткалиева*, Г. С. Бегалиева*

** Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Казахстан, Уральск, shintemirov@mail.ru, muratbai_84@mail.ru, dakdalina@bk.ru, b.gs@list.ru*

Приведены сведения о распределении макро- и микропор в цементном камне в зависимости от минералогического состава цемент, а также дисперсности и содержания песка в растворе и

бетоне. Показано, что с увеличением В/Ц возрастает общая пористость цементного камня, но сохраняется положение кривых дифференциальной пористости. Рассматривая различные способы уплотнения бетонной смеси, установлено, что наиболее эффективный вид силового воздействия на бетонную смесь – сочетание вибрирования с прессованием.

Ключевые слова: прочность цементного камня, гидратации цемента, вибрирования, тонкость помола

SOME TECHNOLOGICAL FACTORS, INFLUENCING TO STRUCTURE OF STEAM CONCRETE EXPANSION

K. S. Shintemirov*, M. Zh. Ryskaliyev*, D. S. Davletkaliyeva*, G. S. Begaliyeva*

** West Kazakhstan agrarian-technical University by named Zhangir khan, Kazakhstan, Uralsk, shintemirov@mail.ru, muratbai_84@mail.ru, dakdalina@bk.ru, b.gs@list.ru*

The information about allocation of macro- and micro interstice in cement stone was reduced, subject to mineral composition of cement, also dispersion and sand composition in mortar and concrete. It was shown that, common porosity of cement stone grows with rising V/C, but position of curve differential porosity saves. Considering different methods of consolidation of concrete mixture, it was fixed, that more effective kind of force impact to concrete mixture – combination of vibration with compressing.

Keywords: foam concrete, strength of cement paste, hydration of cement, vibration, fineness of milling

Вопросам, связанным с изучением влияния различных технологических факторов на формирование поровой структуры цементных материалов, посвящены многочисленные работы. Однако, выводы, вытекающие из этих работ, подчас противоречивы.

Так, многими исследователями [1-4] показано, что химико-минералогический и гранулометрический составы цемента оказывают влияние на структуру порового пространства цементного камня. Установлено [3], что истинная пористость цементно-песчаных образцов находится в непосредственной зависимости от дисперсности и минералогического состава исходного цемента. С увеличением тонкости помола различных по минеральной природе цементов повышается абсолютная плотность цементного камня и снижается истинная пористость. При этом для цементов с повышенным содержанием алита (C_3S или $3CaO{\cdot}SiO_2$) это сопровождается ростом относительного объема макропор (более 0,1 мкм) и уменьшением относительного объема микропор (менее 0,005 мкм). Для цементов с высоким содержанием белита (C_2S или $2CaO{\cdot}SiO_2$) увеличения количества макропор не наблюдалось.

По другим литературным данным [3], изменение дисперсности цемента с 1950 до 3000 $см^2/г$ приводит к сокращению диаметра пор цементного камня с 25-50 до 1,1-1,6 мкм. Авторы объясняют это различными седиментационными процессами, связанными с гранулометрическим составом цемента. Однако, по И.Н. Ахвердову [2], пористость цементного камня с увеличением дисперсности неравномерно, но непрерывно возрастает.

Установлена связь [5] между величиной пор цементно-песчаного раствора и крупностью песка: при использовании мелких песков размеры пор значительно снижаются. Однако другие данные свидетельствуют о том, что чем мельче песок, тем выше воздухововлечение и тем больше пор в цементно-песчаном растворе [6]. С увеличением содержания песка объем воздуха в смеси возрастает и уменьшается только при использовании песков с размером зерен менее 0,15 мм.

Установлено также, что общий объем и размеры замкнутых пор в бетоне и растворе зависят в основном от содержания песка в смеси. При увеличении содержания песка в бетоне возрастают истинная пористость и относительное количество макропор. Наличие в бетоне смеси крупного заполнителя способствует росту количества крупных пор в бетоне.

По данным многочисленных исследований, особенно большое влияние на характер структуры пор цементного камня и бетона оказывает водоцементное отношение. Однако некоторые авторы [6] утверждают, что влияние водоцементного отношения менее существенно, чем влияние содержания песка. Измерение истинной интегральной и дифференциальной пористости образцов с различными водоцементными отношениями (в пределах от 0,25 до 0,8) показало, что с увеличением В/Ц возрастает общая пористость цементного камня, но сохраняется положение кривых дифференциальной пористости [7]. Эти данные находятся в противоречии с данными других исследователей [8, 9], отмечающих, что В/Ц влияет не только на величину, но и на положение максимума дифференциальной кривой.

Вопрос влияния способов формования и их параметров и режимов на степень уплотнения и проницаемости бетона и цементного камня является одним из наиболее полно разработанных [8]. Однако, влияние этих факторов на структуру порового пространства бетона изучено не достаточно. Рассматривая различные способы уплотнения бетонной смеси, ряд авторов отмечают, что наиболее эффективный вид силового воздействия на бетонную смесь – сочетание вибрирования с прессованием. Повторное вибрирование может оказывать положительное влияние на процессы структурообразования бетона [1, 10].

Исследованиями установлено [6, 7], что изменение режима приготовления и укладки бетонной смеси может в несколько раз изменить как объем пор, так и распределение пор по размерам в цементно-песчаном растворе. Однако, некоторые авторы [8] отмечают, что условия укладки значительно влияют на истинную пористость цементного камня, в то время как положение максимума на дифференциальной пористости практически не изменяется. На это указывается и в других работах. Так, Ю.В. Чеховским и А.Г. Грайфером [1, 8] показано, что для образцов, уплотненных вибрацией, вибровакуумированием, вибропрессованием и послойным центрифугированием, характерен одинаковый максимум пор, приходящийся на поры радиусом до 0,1 мкм, которые составляют около 65% суммарного объема пор.

О влиянии пористой структуры на прочность бетона. Изучение факторов, влияющих на прочностные свойства бетона и цементного камня, является предметом многочисленных исследований. На основании своих экспериментальных данных еще в конце 1898 г., Фере [1] предложил выражать зависимость прочности цементного камня и цементно-песчаного раствора на сжатие от их относительных плотностей формулой

$$R_{сж} = \mathrm{A} \times \mathrm{d}^{\mathrm{n}},$$

где $R_{сж}$ – предел прочности образцов на сжатие; d – отношение количества цемента к объему пор бетона (цементного камня); n и A – эмпирические константы.

Пауэрс [9] предложил формулу, аналогичную по своей концепции уравнению Фере:

$$R_{сж} = \mathrm{A} \times \mathrm{X}^{\mathrm{n}},$$

где A и n – эмпирические константы; X – отношение объема геля к сумме объемов геля, капиллярного и воздушного пространства.

Аналогичные предложения высказывались и другими зарубежными исследователями. Они изучали прочность цементного камня при пористости близкой к нулю. С этой целью из цементов семи видов с В/Ц=0,21 методом горячего прессования при давлении от 175 до 700 МПа и температуре до 250 °С формовались образцы. Опыты показали, что прочность образцов горячего прессования в возрасте 1 ч была в пределах от 200 до 580 МПа. Прочность этих образцов через 28 сут. твердения в воде достигала 668 МПа при общей их пористости от 2 до 5%. Предел прочности на сжатие образцов, уплотнявшихся при комнатной температуре, после 28 сут. твердения составил 281 – 352 МПа при общей пористости 10 – 15%.

Отмечается, что степень гидратации цемента при горячем прессовании не превышала 29 – 37%. На основе своих экспериментальных данных и результатов других исследователей автор этой статьи предложил экспоненциальную зависимость прочности цементного камня от его общей пористости:

$$П_{общ} = П_0 e^{-кRц.к},$$

где $П_{общ}$ – общая пористость цементного камня; $П_0$ – пористость, соответствующая нулевой прочности, равна примерно 60%; K – константа, равная $2{,}59 \cdot 10^{-5}$ МПа.

Зависимость прочности цементного камня от его относительной плотности при максимально возможной степени гидратации цемента по А.Е. Шейкину выражается в виде

$$R_{сж} = 3100 dn^{2,7} = 3100\left[\frac{1+0{,}23\alpha Rц.к}{1+\rho цВ/Ц}\right]^{2,7},$$

где α и $\rho_ц$ – соответственно степень гидратации и плотность цемента; 0,23 – масса воды, химически связываемой 1 г цемента, равная 1.

Работы некоторых исследователей направлены на установление связи прочности с различными условными критериями и показателями, являющимися общей количественной характеристикой строения бетона. Так, в работе [10] прочность бетона рекомендуется определять в зависимости от показателя I, выражаемого формулой

$$I = \frac{\textit{объем не связанной воды+объем вовлеченного воздуха}}{\textit{абсолютный объем цементного камня}}$$

Для расчета I предлагается следующая формула:

$$I = В/Ц(2{,}04 + 20{,}4\rho/вв - 0{,}469$$

где ρ – объем вовлеченного воздуха; в – расход воды на 1 м^3 бетона.

Путем математической обработки данных испытания 150 различных составов бетона на тяжелом и легком заполнителях Ю.М. Баженов [10] установил корреляционную зависимость между прочностью бетона и его так называемым обобщенным условным критерием:

$$\Theta = \frac{C}{Побщ} = \frac{Ц/\rho ц + (В/Ц)иЦ}{В - 0{,}21\alpha Ц + Пв + Пз},$$

где С – объемная концентрация цементного камня; $П_{общ}$, $П_з$ и $П_в$ – пористость соответственно общая, заполнителя и вовлеченного воздуха; $В$ – расход воды; $Ц$ – расход цемента; $\rho_ц$ – плотность цемента; α – степень гидратации цемента.

Использование данного критерия, по мнению автора, позволяет учитывать структуру и свойства бетона при изменении различных технологических факторов: времени твердения (через степень гидратации α), заполнителя (через его водопотребность), воздухововлекающих добавок (через $П_в$).

Некоторые авторы считают, что прочность бетона в значительной степени зависит от формы, строения и характера пор, связанных с их происхождением. Так, например, Ю.М. Баженов отмечает, что поры, возникающие в бетоне при его недостаточном уплотнении, имеют неправильную форму, в то время, как при воздухововлечении образуются мелкие пузырьки воздуха. Поэтому автор приходит к выводу, что снижение прочности бетона при наличии пор воздухововлечения и защемленного воздуха неодинаково. Относительная прочность бетона при сжатии в этом случае выражается формулой

$$R_{сж} = 10^{-a1V1-a2V2},$$

где V_1 и V_2 – объем защемленного и вовлеченного воздуха, %; a_1 и a_2 – эмпирические константы, равные примерно 0,035 и 0,026.

Указывается, что поры правильной формы, например, цилиндрические, параллельные направлению приложения нагрузки, в меньшей мере снижают прочность бетона, чем случайно распределенные поры неправильной формы, имеющие тот же общий объем.

Р.Н. Лоретовой [4] при исследовании прочностных свойств реальных бетонов установлено, что существует зависимость между пределом прочности при сжатии и его пористостью, причем корреляционные связи оказываются теснее, если берется не общая пористость, а объем пор диаметром более 10^{-5} м.

Таким образом, анализ литературных данных показывает, что для получения прочного и долговечного бетона необходимо рационально подобрать состав бетонной смеси и тщательно его уплотнять.

Список литературы

1. Чеховский Ю.В. Понижение проницаемости бетона. М.: Энергия, 1978. 198 с.
2. Ахвердов И.Н. Железобетонные напорные центрифугированные трубы. М.: Стройиздат, 1967. 163 с.
3. Ступаченко П.П. Структурная пористость и ее связь со свойствами цементных, силикатных и гипсовых материалов // Труды Дальневосточного политехнического института. Владивосток, 1964. С. 127-129.
4. Смолянова З.А., Лоретова Р.Н., Румянцев С.Г., Микольская В.А. Влияние некоторых технологических факторов на пористость бетонных плит, изготовленных в кассетных формах // Труды ВНИИжелезобетона. М.: Стройиздат, 1971. Вып. 17. С. 64-66.
5. Ступаченко П.П. Особенности структуры пор и свойства автоклавных цементных и безцементных бетонов // Докл. Междунар. конф. РИЛЕМ. М.: Стройиздат, 1964. С. 115-118.
6. Шестоперов С.В. Долговечность бетона транспортных сооружений. М.: Транспорт, 1966. 500 с.
7. Кириллов А.И., Саталкин А.В., Солнечко В.А. Ускорение твердения мелкозернистых высокопрочных бетонов на всех стадиях технологических процессов изготовления сборных железобетонных конструкций // Докл. РИЛЕМ. М.: Стройиздат, 1964. С. 125-127.
8. Чеховский Ю.В., Грайфер А.Г. Железобетонные сооружения для хранения и транспортирования газов. М.: Стройиздат, 1979. 96 с.
9. Пауэрс Т.К. Физические свойства цементного теста и камня // IV Международный конгресс по химии цемента. М.: Стройиздат, 1964. С. 402-415.
10. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: Высш. шк., 1987 415 с.

УДК 691.16

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕВУЛКАНИЗАЦИИ РЕЗИН В БИТУМЕ

Д. А. Аюпов*, А. В. Мурафа*, Ю. Н. Хакимуллин**, В. Г. Хозин*, Д. Б. Макаров*, Р. И. Казакулов*

** Казанский государственный архитектурно-строительный университет*
Россия, Казань, ayupov_damir@rambler.ru
*** Казанский национальный исследовательский технологический университет*

Предложен способ девулканизации резиновой крошки в битуме. Показаны результаты исследований процессов деструкции резин в битуме. Содержание гель-фракции снижается более, чем на 90%. Плотность цепей сетки гель-фракции снижается на два порядка. Разработана косвенная методика определения молекулярной массы каучука в битуме. Показано, что основная цепь сохраняется более, чем на 60%, то есть деструкция протекает в основном по поперечным связям.

Ключевые слова: битум, девулканизация, битумно-резиновый, полимербитумный, битум-полимерный

DEVULCANIZATION OF RUBBER IN BITUMEN INVESTIGATION

D. Ayupov*, A. Murafa*, Y. Khakimullin**, V. Khozin*, D. Makarov*, R. Kazakulov*

** Kazan state university of architecture and building construction,*
Russia, Kazan, Ayupov_Damir@rambler.ru
*** Kazan national research technological university,*
Russia, Kazan, hakim123@rambler.ru

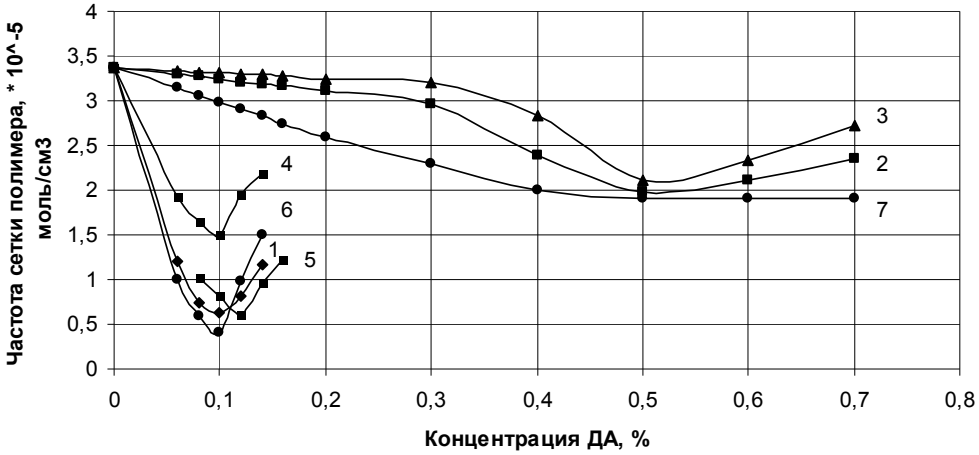
A method for rubber crumb devulcanization in asphalt is suggested. The results of research of rubber degradation processes in bitumen are presented. The contents of gel fraction is reduced by more than 90%. The grid chains density of gel fraction decreases considerably. An indirect method of determining the molecular weight of the rubber in the bitumen is developed. It is shown that the main chain remains entire for more than 60%, i.e. degradation occurs mainly by cross-linkages.

Keywords: bitumen, digestion, devulcanization, bitumen-rubber, polymer-bitumen

Проблема регенерации каучука из изношенных резинотехнических изделий и в особенности автомобильных шин широко известна [1]. Регенерация каучуков, в основе которой лежит процесс девулканизации резин, приводит к получению пластичного продукта – регенерата, но не эластичного каучука, так как в процессе девулканизации разрушение поперечных серных связей сопровождается деструкцией основной цепи.

Нами разработан способ регенерации каучука в среде битума под воздействием девулканизующих агентов (ДА). При этом образующийся каучук модифицирует битум, а технический углерод и другие нерастворимые компоненты резиновой смеси эффективно его наполняют.

Для исследования эффективности проходящей в битуме девулканизации был проведен золь-гель анализ получившейся битум-полимерной композиции, который показал, что наиболее эффективными девулканизующими агентами оказались кремнезоль и неозон Д, позволяющие перевести в золь более 90% резины. Были также исследованы гель-фракции, выделенные из битум-полимерных композиций (рис. 1).



Кривая 1 – композиция с неозоном
Кривая 2 – композиция с каптаксом
Кривая 3 – композиция с тиурамом
Кривая 4 – композиция с ацетонанилом
Кривая 5 – композиция с диафеном
Кривая 6 – композиция с кремнезолем
Кривая 7 – композиция с 10%-м водным раствором NaOH

Рис. 1. Зависимость частоты сетки полимера от концентрации девулканизующих агентов

Получившийся гель, оставаясь сетчатым полимером и не имея способности растворяться, обладает уже меньшей плотностью сетки поперечных связей. Частоту сетки полимера определяли по данным равновесного набухания вулканизата из уравнения Флори-Ренера. В качестве растворителя был выбран четырёххлористый углерод.

Представленные на рис. 1 результаты показали, что каптакс, тиурам и водный раствор едкого натра мало способствуют деструкции эластомера. Это подтверждается слабым уменьшением плотности сетки геля (рис. 1; кривые 2,3). Более эффективен ацетонанил (кривая 4), а наилучшими девулканизующими агентами оказались неозон, кремнезоль и диафен (1, 5, 6).

Необходимо отметить, что частота сетки шинной крошки составила $3{,}2*10^{-4}$ моль/см^3. А считавшиеся эффективными девулканизующие агенты Де-линк [2] и Ребонд [3] уменьшают плотность сетки лишь до $7{,}8 - 7{,}6 * 10^{-5}$ моль/см^3 [4].

Золь-гель анализ позволяет определить, сколько резины превратилось в линейный каучук, однако важной является также молекулярная масса этого каучука. До сих пор никто не определял молекулярную массу каучука, находящегося в битуме. Это связано с тем, что выделить эластомер из битума или моделирующего битум масла крайне затруднительно. А смоделировать процесс девулканизации в растворителях невозможно, ввиду большой технологической температуры.

Для определения молекулярной массы каучука в битуме нами была разработана методика, основанная на изучении вязкости модельных систем. Согласно этой методике, были приготовлены модельные системы, представляющие собой модифицированные нашим способом композиции, где вместо битума средой являлось вазелиновое масло.

Вазелиновое масло является нефтяным продуктом, то есть представляет собой лёгкую фракцию битума, в которой обычно и происходит растворение.

Концентрация резиновой крошки составила 2% вместо обычных 20% для того, чтобы растворение её было как можно более полным. Параллельно с этим были приготовлены растворы полиизопрена (СКИ, являющегося основой резиновых смесей для шин) различной степени деструкции на охлаждаемых (20 ºС) вальцах в вазелиновом масле. У получившихся композиций была замерена условная вязкость по ВЗ-4 (таблица, рис. 2). Очевидно, что составы с девулканизующими агентами соответствуют по вязкости составу, деструктированному на вальцах в течение 5 мин.

Условная вязкость модельных систем

Состав, г	Вязкость по ВЗ-4, с
Вазелиновое масло	27
Вазелиновое масло – 100, РК – 2	35
Вазелиновое масло – 100, РК – 2, неозон – 0,1	58
Вазелиновое масло – 100, РК – 2, кремнезоль – 0,1	63

Все составы готовились по разработанной технологии.

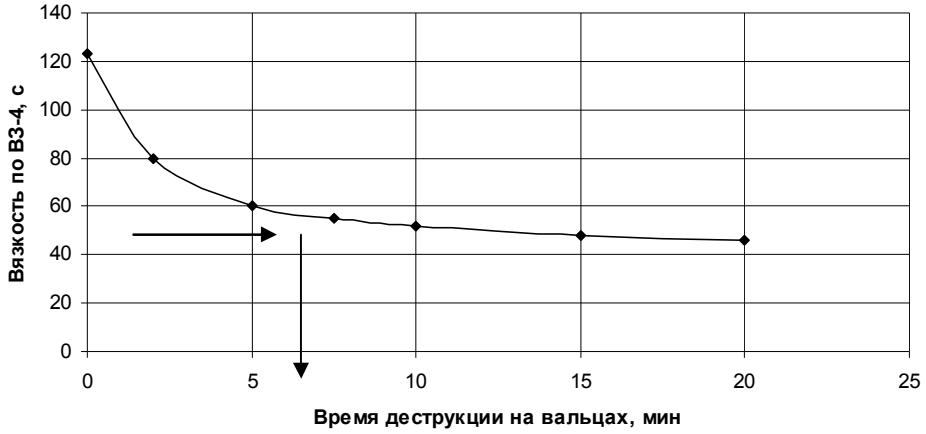


Рис. 2. Зависимость условной вязкости 2 %-х растворов СКИ в вазелиновом масле от времени деструкции полиизопрена

В дальнейшем для определения молекулярных масс полиизопрена из различных навесок нами был использован вискозиметрический метод, оценка вязкости осуществлялась на вискозиметре Уббелодде. На рис. 3 представлена зависимость изменения молекулярной массы СКИ от времени деструкции его на вальцах.

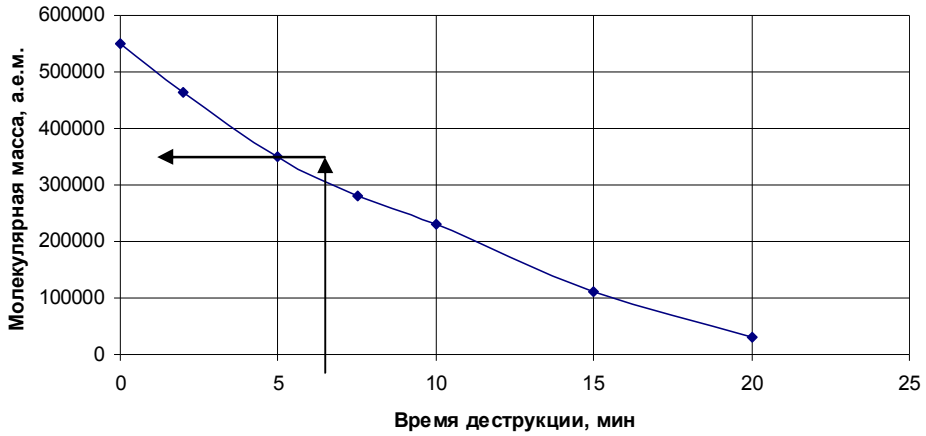


Рис. 3. Зависимость изменения молекулярной массы СКИ от времени деструкции на вальцах

Таким образом, можно сделать вывод, что молекулярная масса каучука в битуме составляет 350 000 а.е.м., т.е. 64% от исходной. Из этого следует, что деструкция резины в действительности протекает в основном по серным поперечным связям.

Список литературы

1. Acoustic and mechanical properties of recycled polyvinyl chloride/ground tyre rubber composites / Colom X., Cañavate J., Carrillo F., Lis M.J. // Journal of Composite Materials. 2014. Т. 48. № 9. С. 1061-1069.

2. Method for reclaiming used vulcanized elastomeric material and composition reclamation: pat. Japan 80411107 C08 C 19/08/ Sekhar B.C., Mironyuk V., Sotnikova E.N., Kormer V.A.; assignee: Sekhar B.C.; опубл. 02.13.1996.

3. Модификатор регенерации резиновых отходов: пат. РФ 2121484 МПК 6 С 08 J 11/10/ закрытое акционерное общество «Ребонд»; патентообладатель: Галанов О.П. - № 96118015/04; заявл. 10.09.1996; опубл. 10.11.98.

4. Вольфсон С.И. Динамически вулканизованные термоэластопласты. М.: Наука, 2004. 172 с.

УДК 691.327:666.97

РОЛЬ ПОЛИКАРБОКСИЛАТНЫХ ДОБАВОК В ФОРМИРОВАНИИ СТРУКТУРЫ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

Э. Р. Авзалов*, Н. М. Морозов*, Н. М. Красиникова*

** Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, Казань, nikola_535@mail.ru*

Рассмотрена возможность модификации цементного камня суперпластификаторами на основе поликарбоксилатов. Показано, что использование таких добавок снижает водопотребность цемента и снижает степень его гидратации. Прочность цементного камня, при использовании поликарбоксилатных добавок, увеличивается.

Ключевые слова. Цементный камень, суперпластификатор, гидратация, плотность, прочность

THE ROLE OF POLYCARBOXYLATE ADDITIVES IN THE FORMATION OF THE STRUCTURE OF CEMENT STONE

E. R. Avzalov*, N. M. Morozov*, N. M. Krasinikova*

** Kazan State University of Architecture and Engineering Russia, Kazan, nikola_535@mail.ru*

The possibility of modification of cement superplasticizer based on polycarboxylates. It is shown that the use of such additives reduces water requirement of cement and reduces the degree of hydration. The strength of cement stone, with the use of polycarboxylate additives increases.

Keywords. Cement stone, superplasticizer, hydration, density, strength

Для улучшения структуры цементного камня, с целью повышения прочности, необходимо использовать различные виды добавок [1,2]. Химические добавки дают возможность с самого начала осуществлять направленное воздействие на формирование структуры цементного камня и оптимизацию его заданных качественных характеристик. В настоящее время все большее применение находят добавки суперпластификаторы на основе поликарбоксилатов [3, 4]. Их преимуществом по сравнению с обычными суперпластификаторами (С-3, Полипласт СП-1 и

др.) является более высокая разжижающая способность при более низких дозировках. Однако добавки поликарбоксилатов значительно замедляют твердение портландцемента в раннем возрасте и чувствительны к минералогическому составу цемента [5].

Поэтому целью данного исследования явилось оценка степени гидратации цемента в присутствии пластифицирующих добавок и ее влияние на прочность.

В качестве вяжущего использовали портландцемент ПЦ500Д0 ОАО «Вольскцемент». В качестве суперпластификаторов использовали добавки: С-3, Melflux 2651F, Sika Visco Create 3 New. Гидратацию портландцемента оценивали по кинетике набора прочности, контракционной усадке и химически связанной воде. Первым этапом работы была оценка влияния цемента на нормальную густоту цементного теста (табл.1)

Как видно из табл. 1, добавки на основе поликарбоксилатов (Melflux и Sika VC3N) больше снижают нормальную густоту цементного теста. Так добавка Melflux снижает водопотребность на 43% при максимальной дозировке, в то время как С-3 только на 21%. Такое значительно снижение водопотребности существенно повлияет на прочность цементного камня и бетона.

Таблица 1 – Влияние пластифицирующих добавок на нормальную густоту цементного теста

№	Кол-во цемента, г	Вид и дозировка СП	Количество воды, г	НГ, %	Снижение водопотребности, %
1	300	–	76	25.3	-
2	300	С-3 (0,5%) 1,5	65	21.6	14
3	300	С-3 (0,75%) 2,75	61	20.3	20
4	300	С-3 (1%) 3	60	20	21
5	300	Melflux (0,5%) 1,5	48	16	37
6	300	Melflux (0,75%) 2,75	45	15	40
7	300	Melflux(1%) 3	43	14.3	43
8	300	SVC 3N (0,5%) 1,5	63	21	17
9	300	SVC 3N (0,75%) 2,75	60	20	21
10	300	SVC3N (1%) 3	58	19.3	23

Для оценки степени гидратации цемента было исследовано содержание химически связанной воды (табл. 2). Составы цементного камня после соответствующего срока твердения размалывали в ступке высушивали при температуре 105 ºС и затем прокаливали при температуре 950 ºС. Как видно из табл. 2, все пластифицирующие добавки снижают количество связанной воды. Больше уменьшается количество связанной воды в составах с добавкой Melflux, что также подтверждается медленным набором прочности показанным ранее. Следует отметить, что добавки на основе поликарбоксилатов в большей степени замедляют гидратацию цемента.

Таблица 2 – Влияние пластификаторов на количество связанной воды

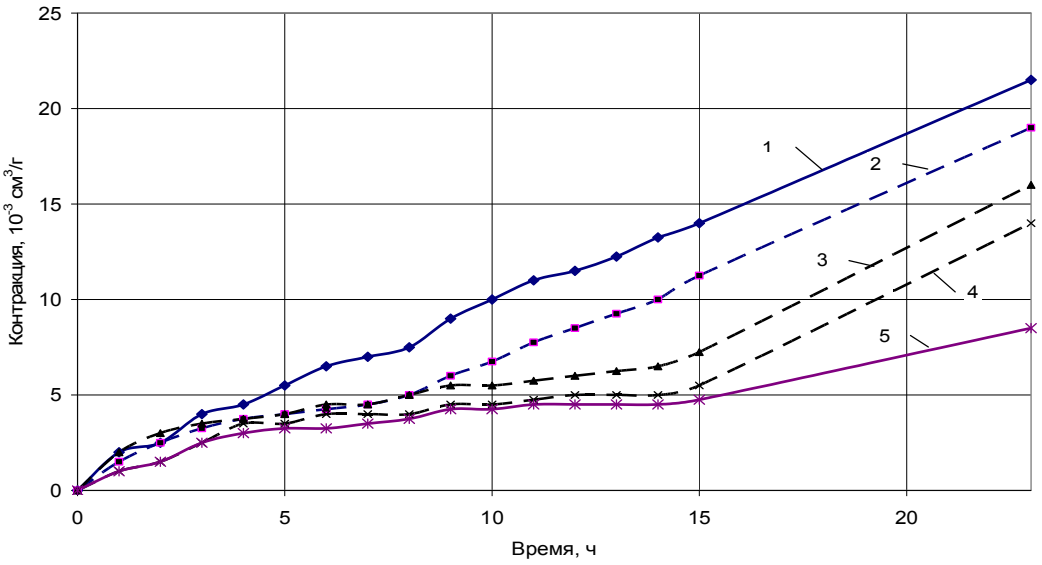
№	Кол-во цемента, г	Вид и дозировка СП, г	Расход воды, г	Количество связанной воды, %		
				1 сут	3 сут	7 сут
1	300	-	76	8,6	9,46	12,02
2	300	С-3, 2,25	61	7,6	8,91	10,77
3	300	Melflux 2651, 1,5	48	6,7	7,99	8,79
4	300	Melflux 2651, 2,25	45	5,7	6,61	8,61
5	300	SVC 3N, 1,5	63	6,9	8,3	10,23

Влияние добавок на прочностные показатели цементного камня представлено в табл. 3.

Таблица 3 – Влияние пластифицирующих добавок на прочность цементного камня

№	Вид добавки	Количество, г (%)	Плотность цементного камня, кг/м^3	Прочность на сжатие, МПа в возрасте			
				16 ч	24 ч	48 ч	28 сут
1	-	-	2124	31,4	49,5	67,5	111,3
2	С-3	0,5 (0,25%)	2133	31,5	52,6	69,0	115,0
3		1 (0,5%)	2144	31,9	54,7	70,1	130,0
4		1,5 (0,75%)	2161	31,7	54	69,4	128,0
5		2 (1%)	2168	33,9	61,2	72,5	123,8
6	Melflux 2651F	0,5 (0,25%)	2173	37,1	63,2	73,4	139,8
7		1 (0,5%)	2265	38,1	66,5	84,8	147,0
8		1,5 (0,75%)	2268	21,5	61,3	85,6	159,2
9		2 (1%)	2271	3,75	42,3	77,3	147,8
10	SikaVC 3N	1,5 (0,5%)	2149	34,9	69,5	71,1	123,3
11		2,75 (0,75)	2171	18,9	56,3	72,1	129,1
12		3 (1%)	2182	10,5	15,3	71,7	120,8

Как видно из табл. 2, пластификаторы на основе поликарбоксилатов замедляют твердение в начальные сроки твердения и чем выше дозировка, тем замедление более заметно. При использовании добавки Melflux 2651 в больших дозировках (1% и более от массы цемента) прочность цементного камня снижается практически в 10 раз в возрасте 16 часов, но уже в возрасте 48 часов прочность модифицированного цементного камня превышает прочность бездобавочного состава на 10-25%. В возрасте 28 суток цементный камень с добавкой Melflux имеет наибольшую прочность. Повышение прочности цементного камня с данной добавкой связано не только со значительной водоредуцирующей способностью, но и пониженной контракцией при гидратации (рисунок), что уменьшает пористость камня.



Влияние добавки Melflux на контракцию цементного теста: 1 – без добавки; 2 – Melflux 0,25%; 3 – Melflux 0,5%; 4 – Melflux 0,75%; 5 – Melflux 1%

Как видно из рисунка, с увеличением дозировки добавки Melflux 2651 контракция цемента уменьшается, что связано с замедлением гидратации. При введении добавки в количестве 1% от массы цемента индукционный период гидратации удлиняется до 15 часов.

Таким образом, суперпластификаторы на основе поликарбоксилатов замедляют процессы гидратации цемента в первое время, уменьшают степень гидратации цемента во все сроки твердения, но при этом значительно увеличивают прочность цементного камня вследствие значительного снижения водоцементного отношения и контракции цементного камня.

Список литературы

1. Карбонатные цементы низкой водопотребности – зеленая альтернатива цементной индустрии России / Хозин В.Г., Хохряков О.В., Сибгатуллин И.Р., Гиззатуллин А.Р., Харченко И.Я. // Строительные материалы. 2014. № 5. С. 76-82.

2. Боровских И.В., Хозин В.Г. Изменение длин базальтовых волокон при его распределении в композиционном вяжущем высокопрочных базальтофибробетонов // Известия КазГАСУ. 2009. №2. С. 233-237.

3. Касторных Л.И. Добавки в бетоны и строительные растворы: учеб.-справ. пособие / Ростов н/Д.: Феникс, 2007. 221 с.

4. Морозов Н.М., Хозин В.Г., Мугинов Х.Г. Особенности формирования структуры модифицированных песчаных бетонов // Строительные материалы. 2010. № 9. С. 72-73.

5. Вовк А.И. Суперпластификаторы в бетоне: еще раз о сульфате натрия, наноструктурах и эффективности // Бетон и железобетон. 2009. № 2. С. 23-25.

УДК 691.327:666.97

ВЛИЯНИЕ МОЛОТОГО ПЕСКА НА ВОЗДУХОВОВЛЕЧЕНИЕ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА

В. И. Авксентьев*, А. Ф. Галеев*, Н. М. Морозов*, В. Г. Хозин*

** Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, Казань, nikola_535@mail.ru*

Рассмотрено влияние минерального наполнителя и суперпластификатора на свойства мелкозернистого бетона. Показано, что использование молотого кварцевого песка снижает воздухововлечение мелкозернистого бетона и повышает его прочность.

Ключевые слова. Молотый песок, суперпластификатор, мелкозернистый бетон, воздухововлечение

THE INFLUENCE OF GROUND SAND ON THE VOLUME OF THE ENTRAINED AIR FINE CONCRETE

V. I. Avksentjev*, A. F. Galeev*, N. M. Morozov*, V. G. Khozin*

** Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia, Kazan, nikola_535@mail.ru*

The influence of mineral filler and superplasticizer on the properties of fine-grained concrete. It is shown that the use of ground quartz sand reduces the volume of the entrained air fine concrete and increases its strength.

Keywords. Ground quartz, superplasticizer, fine concrete, the volume of the entrained air

Мелкозернистый бетон – композиционный материал, получаемый в результате формования и твердения специально приготовленной смеси, состоящий из

вяжущего материала, мелкого заполнителя и воды. При необходимости в бетонную смесь вводят специальные добавки, улучшающие его технологические и структурные характеристики. Структура песчаного бетона, в значительной мере определяющая его свойства, состоит из дисперсного каркаса – носителя прочности материала и порового пространства, от величины и характера которого, в первую очередь, зависит долговечность. Чем выше плотность каркаса, адгезия цементного камня к поверхности заполнителя и чем больше величина этой поверхности, тем прочнее бетон. На плотность мелкозернистого бетона оказывает влияние воздухововлечение смеси при ее изготовлении. От степени воздухововлечения бетонной смеси зависят основные свойства бетона, такие как водопоглощение, прочность и морозостойкость, от которых в свою очередь зависит качество и долговечность изделий [1]. Для регулирования воздухововлечения используют введение в состав бетона различных модификаторов, таких как суперпластификаторы, пеногасители и наполнители. Применение добавок является наиболее эффективным способом, повышающим качество бетонов, не требующим больших капитальных затрат [2]. Грамотное применение целевых комплексных добавок позволяет решить любые проблемы, связанные с получением бетонов с заданными свойствами. Высокая прочность, низкая проницаемость, повышенная долговечность и морозостойкость могут быть достигнуты с применением высокоподвижных бетонных смесей, содержащих современные добавки. К основным преимуществам получаемым при использовании суперпластификаторов относятся: высокая удобоукладываемость бетона без снижения расхода цемента и прочности; возможность получать высокопрочный бетон с нормальной удобоукладываемостью, но при более низком водосодержании; при комбинировании этих свойств получать бетонную смесь с лучшей, чем обычно удобоукладываемостью и более низким водосодержанием; получать бетон с меньшим содержанием цемента и нормальной прочностью и удобоукладываемостью бетонной смеси [3]. Применение наполнителя (молотого песка) направлено на управление водонепроницаемостью и морозостойкостью, также введение молотого песка положительно сказывается на прочностных характеристиках [4]. Наполнитель увеличивает сплошность среды, уменьшая межзерновое расстояние в бетоне; кроме того, частицы наполнителя могут выполнять роль центров кристаллизации [5, 6].

Поэтому целью работы стало исследование совместного влияния наполнителей и суперпластификаторов на воздухововлечение мелкозернистого бетона.

Введение наполнителей в значительной степени снижает капиллярную пористость бетона, а следовательно уменьшает водопоглощение бетонного камня. В работе в качестве наполнителя использовали молотый кварцевый песок с удельной поверхностью 600 $м^2$/кг. Наполнитель вводили как взамен, так и дополнительно к цементу в составе бетона. В качестве вяжущего использовался цемент марки ПЦ 500 Д0 производства ООО «Вольскцемент». В качестве заполнителя был использован кварцевый песок с модулем крупности 2,1, что привело к увеличению воздухововлечения. Также дополнительно использовали суперпластификатор С-3. Результаты представлены в табл. 1, 2. Как видно из табл. 1, Введение молотого кварцевого песка взамен части цемента, в количестве 10%, от массы вяжущего увеличило воздухововлечение бетонной смеси на 22%, уменьшило водопоглощение до 3,89%, на прочность данная дозировка не повлияла.

Таблица 1 – Влияние молотого кварцевого песка
на свойства бетонной смеси и бетона

№	Ц,г	П,г	В,г	С-3, г	Молотый кварцевый песок, г	Возд. вовл.%	Водо-поглощение, %	Прочность на сжатие в возрасте 7 сут, МПа
1	500	1500	180	4	-	8	4,52	309,63
2	450		165		50	9,8	3,89	307,44
3	400		100		100	7,6	3,97	276,22
4	350		150		150	8	4,76	241,71

Увеличение количества наполнителя с 20% до 30% и уменьшение количества цемента не изменяет воздухововлечения бетонной смеси и уменьшает прочность бетона на 10 и 22% соответственно, по сравнению с бездобавочным составом. Увеличение дозировки наполнителя до 20% ведет к уменьшению водопоглощения бетона, что связано с увеличением объема цементного камня и следовательно уплотнением структуры мелкозернистого бетона. Как видно из табл. 2, введение молотого кварцевого песка в довесок к цементу, с дозировкой 15%, 25%, 40% от массы вяжущего, уменьшает воздухововлечение бетонной смеси.

Таблица 2 – Влияние молотого кварцевого песка
на свойства бетонной смеси и бетона

№	Ц,г	П,г	В,г	С-3, г	Молотый кварцевый песок, г	Возд. вовл.%	Водо-поглощение, %	Прочность на сжатие в возрасте 7 сут, МПа
1	500	1500	135	4	-	7,5	6,45	309,80
2			160		75	6,8	5,90	350,22
3			158		125	6,2	5,45	379,96
4			163		200	4,9	5,35	343,88

Наилучший результат по снижению воздухововлечения на 34,6% в сравнении с бездобавочным составом показал состав с дозировкой 40% молотого кварцевого песка. Увеличение дозировки наполнителя также ведет к уменьшению водопоглощения бетона. По прочности наилучший результат показал состав с количеством наполнителя 25%.

Таким образом, одним из эффективных способов снижения воздухововлечения мелкозернистых бетонных смесей является использование минеральных наполнителей. Совместное применение суперпластификатора и молотого кварцевого песка снижает водопоглощение бетона и повышает его прочность.

Список литературы

1. Опыт внедрения мелкозернистых бетонов при производстве дорожных плит / Красиникова Н.М., Морозов Н.М., Боровских И.В., Хозин В.Г. // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 7. С. 46-54.

2. Ананенко А.А., Нижевясов В.В., Успенский А.С. Мелкозернистые бетоны с комплексными модификаторами // Известия вузов. Строительство. 2005. № 5. С. 42-45.

3. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. М.: Стройиздат, 1981. 464 с.

4. Оптимизация состава цементного бетона для аэродромных покрытий / Красиникова Н.М., Морозов Н.М., Хохряков О.В., Хозин В.Г. // Известия КазГАСУ. 2014. № 2. С. 166-172.

5. Цементные бетоны с минеральными наполнителями / под. ред. Л. И. Дворкина. Киев: Будивэльнык, 1991. 221 с.

6. Модификация цементных бетонов малыми легирующими добавками / Хозин В.Г., Морозова Н.Н., Сибгатуллин И.Р., Сальников А.В. // Строительные материалы. 2006. № 10. С. 30-32.

УДК 691.32

ТЕХНОЛОГИЯ ЗИМНЕГО БЕТОНИРОВАНИЯ С ПРОТИВОМОРОЗНЫМИ ДОБАВКАМИ

А. М. Биккенов*, Р. А. Ибрагимов*

** Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, Казань*

Рассматривается применение механоактивации растворной смеси с добавлением противоморозных добавок. Показано, что совместное применение механоактивации с добавками позволяет повысить прочность бетона.

Ключевые слова: противоморозные добавки, технология зимнего бетонирования

TECHNOLOGY WINTER CONCRETING WITH ANTIFREEZE ADDITIVES

A. M. Bikkenov*, R. A. Ibragimov*

** Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia, Kazan*

The article discusses the use of mechanical activation of the concrete mix with the addition of antifreeze additives. It is shows that the use of mechanical activation of the concrete mix with the addition of antifreeze additives can increase the strength of concrete.

Keywords: antifreeze additives, technology concreting with antifreeze additives

Климатические особенности России обусловили особые требования, предъявляемые к строительным материалам. Высокая влажность, в сочетании с низкой температурой в зимний период в северных районах страны, разрушительным образом воздействует на бетон, замедляя процесс гидратации бетонной смеси, тем самым препятствуя достижению необходимой прочности.

Авторами была поставлена задача выявить прочностные характеристики бетона с применением противоморозных добавок и механоактивацией при гидратации, происходящей в среде с отрицательной температурой. В статье представлены результаты испытания бетона на прочность сжатия.

Эффектам механоактивации материалов путем измельчения отводят на практике важную роль в связи с улучшением их технологических свойств, таких как, повышение скорости образования химических соединений и прочностных параметров конечных продуктов при производстве строительных материалов. Изменения технологических свойств оценивают различными параметрами в зависимости от вида измельчения и предназначения структурно-модифицированных материалов: вяжущими свойствами, прочностью изделий, скоростью растворения, температурой реакции, расходом реагентов, степенью раскрытия ценных минералов, эффективностью обогащения [1].

Составы растворных смесей для всех образцов представлен в табл. 1.

Проведены испытания на определение нормальной густоты и сроков схватывания. В качестве вяжущего использовали портландцемент Ульяновского завода М400 Д20. Модифицирующими добавками служили гиперпластификаторы серии Одолит, выпускаемые ООО «Сервис-Групп». Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 1

Наименование	Цемент (гр.)	Песок (гр.)	В/Ц	Вода (гр.)	Одолит-Фриз (гр.)	Актив.
Контрольный	700	2100	0,42	294	-	-
Добавка 3% FRIZ	700	2100	0,294	235	21	-
Добавка 4% FRIZ	700	2100	0,307	215	28	-
Активированный 3% FRIZ	700	2100	0,336	235	21	+
Добавка Т-2	700	2100	0,33	231	-	-
Добавка Т-2	1050	2100	0,65	690	-	+

Таблица 2

Наименование добавки	Дозировка, % от массы цемента	Нормальная густота	Начало схватывания, мин	Конец схватывания, мин
–	–	0,28	295	365
Одолит-К	0,8	0,258	–	–
	1	0,252	–	–
	1,2	0,24	–	–
	1,5	0,22	360	400
	2	0,215	–	–
Одолит-Т	1	0,24	–	–
	1,5	0,23	360	400
	2	0,22	–	–
Одолит-К Супер	1	0,24	–	–
	1,5	0,23	225	345
	2	0,218	–	–
Одолит-Фриз	1	0,286	–	–
	1,5	0,263	215	320
	2	0,26	–	–

При определении прочности «холодного бетона» была проведена серия испытаний каждого состава и определены средние прочностные показатели. После изготовления бетонной смеси, после 4 часов гидратации в среде нормального хранения, кубики были помещены в морозильную камеру на 28 суток, по достижению которых и последующего оттаивания в соленой воде в течение 3 часов, были испытаны на прочность при сжатии. Результаты испытания на прочность образцов «холодного бетона» представлены в табл. 3.

Таблица 3

№ п/п	Наименование	$R_{сж}$ на 28 сутки (кг/см^2)
1	Контрольный	374 (100%)
2	Неактив. FRIZ 4%	92 (25%)
3	Неактив. FRIZ 3%	56 (14%)
4	Активир FRIZ 3%	118 (31%)
5	Добавка Т-2 (Актив. 50%)	12 (3%)
6	Добавка Т-2 (35% р-р)	6 (1,5%)

Введение противоморозных добавок в сочетании с применением механоактивации бетонной смеси обеспечивает набор необходимой прочности при испытаниях «холодного бетона» более 30% по сравнению с контрольными образцами,

как того требует ГОСТ 30459-2008. Из таблицы видно, что таким запасом прочности обладает только образец с добавкой «Одолит-FRIZ» в количестве 3%, изготовленная с помощью механоактиватора (образец под номером 4), у которого прочность сжатия на 28 сутки составила 31% от прочности контрольных образцов.

Список литературы

1. Kovalenko V. Gorobets L. Impact of mechanical activation of binding agent and filler on strength properties of concrete // Scientific Bulletin of the National mining university // The scientific and technical journal. Dnipropetrovsk. 2008. № 6. P. 27-28.

УДК 691.54

ВЛИЯНИЕ ГЕНЕЗИСА КВАРЦЕВОГО КОМПОНЕНТА И ТИПА ПЛАСТИФИКАТОРА НА РЕОЛОГИЮ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ

А. И. Бондаренко*, В. В. Нелюбова*, И. Д. Лабинский*, А. А. Горяйнов*

** Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, Белгород*

Показано влияние генезиса кремнеземистого компонента и химической основы пластификатора на реологические особенности композиционных вяжущих с их использованием. На основании полученных данных доказана эффективность использования для кварца магматического генезиса добавок на меламиноформальдегидной основе, для метаморфогенного кварца – на поликарбоксилатной.

Ключевые слова: композиционные вяжущие, генезис, пластификатор, реология

THE INFLUENCE OF THE SILICEOUS COMPONENT GENESIS AND PLASTICIZER CHEMICAL BASIS ON THE RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF COMPOSITE BINDERS

A. I. Bondarenko*, V. V. Nelubova*, I. D. Labinsky*, A. A. Gorjajnov*

** V.G. Shoukhov Belgorod State Technological University, Russia, Belgorod*

The article shows the influence of the genesis of siliceous component and chemical basis of plasticizer on the rheological characteristics of composite binders with their use. Based on these data proved the effectiveness of using quartz for magmatic genesis of additives on the basis of melamine, for metamorphic quartz – on polycarboxylate.

Keywords: composite binders, genesis, plasticizer, rheology

В настоящее время одним из эффективных способов сокращения доли клинкерной составляющей на ряду с увеличением прочностных свойств композита является использование композиционных вяжущих, в частности, вяжущих низкой водопотребности (ВНВ) [1, 2]. При этом рядом работ доказана эффективность раздельного помола [3, 4], в процессе которого пластификатор вводится на различных стадиях.

Степень разжижения цементных систем суперпластификатором зависит от нескольких физико-химических факторов, таких как химический состав добавки и особенности строения молекул суперпластификатора, которые являются объектами повышенного интереса. Известно, что с увеличением содержания добавок в дисперсии предельное напряжение сдвига приближается к нулю, а вязкость при-

нимает минимальное постоянное значение. Характерным для таких систем является также то, что при увеличении концентрации пластифицирующих добавок система последовательно переходит от бингамовского характера течения к ньютоновскому, а затем к дилатантному, что объясняется возникновением стесненных условий и преобладанием сил отталкивания над силами притяжения.

Исходными материалами для получения ВНВ являлись цемент ЦЕМ I 42,5 Н; кварцевые компоненты различных генетических типов, а именно: в качестве интрузивно-магматогенного использовался кварц песка Корочанского месторождения, в качестве метаморфогенного – кварц отсева дробления кварцитопесчаников Лебединского ГОКа. В качестве пластификаторов использовались добавки одного пластифицирующего класса на меламинформальдегидной (Melment F10) и поликарбоксилатной (FOX-8H) основе.

В работе применяли совместный и раздельный способы получения вяжущего. Совместный помол производился одностадийно до удельной поверхности 500–550 м^2/кг. Раздельный помол осуществляли в две стадии: на первой стадии осуществляли измельчение кварцевого компонента до удельной поверхности 300–350 м^2/кг, на второй – производили домол с цементом. Для изучения влияния пластификатора на процессы помола добавки вводили на различных стадиях получения КВ.

Анализ реограмм (рис. 1, 2) свидетельствует о типичном для цементных суспензий тиксотропном характере течения, однако, кинетика снижения вязкости суспензий различного состава значительно отличается друг от друга.

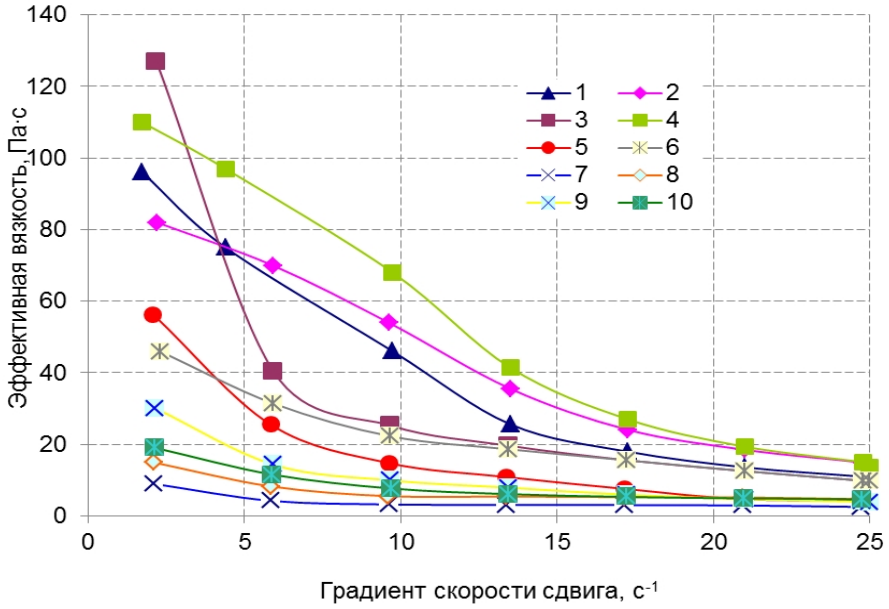


Рис. 1. Реограммы суспензий композиционного вяжущего на кварцевом сырье различного генезиса в зависимости от состава и способа введения поликарбоксилатного пластификатора: 1 – ТМЦ–50 на кварцитопесчанике, полученный по одностадийной технологии; 2 – ТМЦ–50 на песке, полученный по одностадийной технологии; 3 – ТМЦ–50 на кварцитопесчанике, полученный по двустадийной технологии; 4 – ТМЦ–50 на песке, полученный по двустадийной технологии; 5 – совместный помол ВНВ–50 на кварцитопесчанике; 6 – совместный помол ВНВ–50 на песке; 7 – раздельный помол вяжущего на кварцитопесчанике, ПАВ вводится на первой стадии; 8 – раздельный помол вяжущего на песке, ПАВ вводится на первой стадии; 9 – раздельный помол вяжущего на кварцитопесчанике, ПАВ вводится на второй стадии; 10 – раздельный помол вяжущего на песке, ПАВ вводится на второй стадии

Суспензии ВНВ на основе поликарбоксилатной добавки характеризуются несколько иными свойствами. Так, композиционное вяжущее на основе интрузивно-магматогенного кварца отличается большей седиментационной устойчивостью системы, однако, разница между начальной и минимальной вязкостью составляет всего 4,5 раза, тогда как наименьшая вязкость ВНВ на основе метаморфогенного кварца и поликарбоксилатной добавки в 14 раз меньше начальной, что свидетельствует о существенном разжижающем эффекте пластификатора. Уменьшение пластической вязкости, связано в первую очередь с высвобождением иммобилизованной воды и увеличением в связи с этим относительного содержания дисперсионной среды. Увеличение толщины водных прослоек между частицами приводит к уменьшению трения между движущимися слоями и падению пластической вязкости.

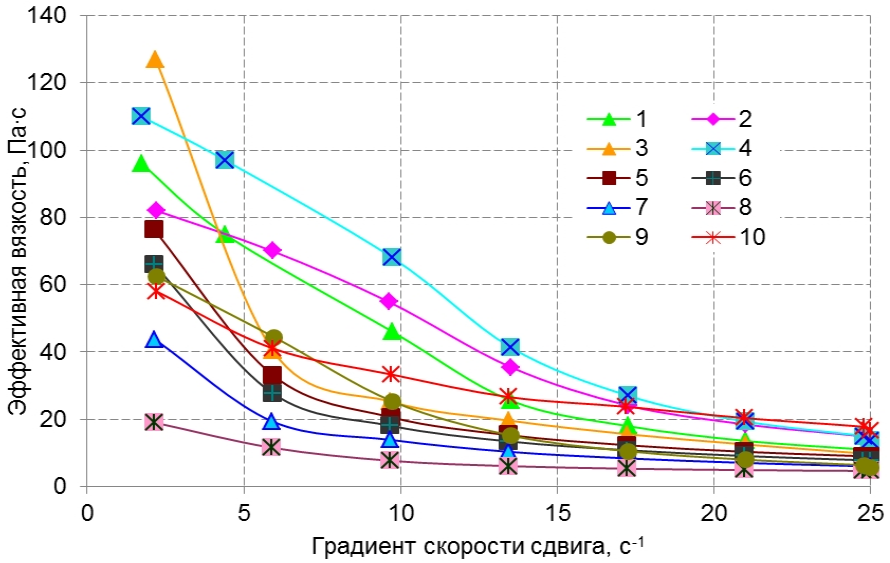


Рис. 2. Реограммы суспензий композиционного вяжущего на кварцевом сырье различного генезиса в зависимости от состава и способа введения меламинформальдегидного пластификатора:
1 – ТМЦ–50 на кварцитопесчанике, полученный по одностадийной технологии; *2* – ТМЦ–50 на песке, полученный по одностадийной технологии; *3* – ТМЦ–50 на кварцитопесчанике, полученный по двустадийной технологии; *4* – ТМЦ–50 на песке, полученный по двустадийной технологии; *5* – совместный помол ВНВ на кварцитопесчанике; *6* – совместный помол ВНВ на песке; *7 – раздельный помол вяжущего на кварцитопесчанике, ПАВ вводится на первой стадии; 8 – раздельный помол вяжущего на песке, ПАВ вводится на первой стадии; 9* – раздельный помол вяжущего на кварцитопесчанике, ПАВ вводится на второй стадии; *10* – раздельный помол вяжущего на песке, ПАВ вводится на второй стадии

Так, суспензии тонкомолотых цементов на основе интрузивно-магматогенного и метаморфогенного кварца характеризуются существенно большей начальной вязкостью, по сравнению с составами, содержащими пластификатор. При этом вязкость ТМЦ–50, полученного по двустадийной технологии, выше на 32 и 33 % для интрузивно-магматогенного и метаморфогенного кварца, соответственно, в отличие от ТМЦ-50, полученного по одностадийной технологии. Повышение вязкости связано с качественным измельчением кварцевого компонента при раздельном способе получения ТМЦ, что способствует существенному росту свободных связей, и, как следствие, формирует более прочную пространственную коагуляционную структуру.

Стоит также отметить, что все суспензии на основе метаморфогенного кварца характеризуются большей сравнительной из всех указанных систем

начальной вязкостью, что обусловлено высокой активностью кварцевого компонента, входящего в состав композиционного вяжущего, которая определяется фазово-размерной гетерогенностью кремнеземного компонента, формируемой в процессе механоактивационного воздействия.

Анализ реологических характеристик суспензий ВНВ–50, полученных совместным помолом всех компонентов, на основе кварцевых компонентов различного генетического типа с использованием меламиноформальдегидной добавки, свидетельствует о схожести характера течения. В области сверхмалых значений градиента скорости сдвига ($\dot{\varepsilon}$ = 2–5 $с^{-1}$) течение цементного теста происходит с неразрушенной коагуляционной структурой, обладающей максимальной пластической вязкостью. При градиенте скорости сдвига $\dot{\varepsilon}$ = 6–14 $с^{-1}$ наблюдается разрушение коагуляционной структуры теста, сопровождающееся снижением пластической вязкости, и, далее, течение происходит при полностью разрушенной структуре с практически постоянной минимальной вязкостью. При этом, несмотря на более высокую начальную вязкость ВНВ на основе метаморфогенного кварца, снижение вязкости до наименьшего значения для суспензий вяжущих на основе кварца обоих генетических типов с использованием меламиноформальдегидного пластификатора составляет 9,5 раз. Результаты реологических исследований свидетельствуют также о существенном влиянии способа получения композиционного вяжущего. Раздельный способ получения композиционного вяжущего позволяет получать суспензии со сниженными значениями вязкости, и, как следствие, подвижности системы по сравнению с вяжущими, полученными совместным помолом всех компонентов. Суспензии КВ на основе интрузивно-магматогенного кварца и меламиноформальдегидной добавки, полученного по двустадийной технологии с введением пластификатора на I стадии, характеризуются минимальной начальной вязкостью (19 Па·с), по сравнению с остальными суспензиями. При этом суспензии отличаются высокой стабильностью, т.е. разница между начальной (19 Па·с) и минимальной (4 Па·с) вязкостью составляет 74%.

Суспензии ВНВ–50 на основе метаморфогенного кварца и поликарбоксилатной добавки характеризуются минимальной из всех изученных систем начальной вязкостью, равной 9 Па·с, что в два раза ниже аналогичного значения для ВНВ на основе интрузивно-магматогенного кварца и меламиноформальдегидной добавки. Отсутствие перегиба на кривой, обусловленное разрушением структуры суспензии, свидетельствует о высокой стабильности указанного состава. Максимальное разжижение системы на основе метаморфогенного кварца можно связать с вероятной адсорбцией молекул ПАВ на наиболее активных участках поверхности частиц, характерных для механоактивированных метаморфогенных пород.

Анализ полученных экспериментальных данных позволяет сделать вывод, что оптимальным с точки зрения максимального разжижения системы, необходимого для получения самовыравнивающихся полов, является двустадийный способ получения вяжущего, при котором производится предварительное измельчение кремнеземного компонента совместно с ПАВ. При этом целесообразно использовать: метаморфогенный кварц – совместно с пластификаторами на поликарбоксилатной основе, а интрузивно-магматогенный кварц – с добавкой на меламиноформальдегидной основе.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, договор 14-43-08020/14.

Список литературы

1. Перспективы использования вулканического песка Эквадора для производства мелкозернистых бетонов / Строкова В.В., Алфимова Н.И., Наваретте Велос Ф.А., Шейченко М.С. // Строительные материалы. 2009. №2. С. 32-33.

2. Оценка влияния кварца различного происхождения на свойства ВНВ // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. №3. С. 41-44.

3. Вишневская Я.Ю., Лесовик В.С., Алфимова Н.И. Энергоемкость процессов синтеза композиционных вяжущих в зависимости от генезиса кремнеземсодержащего компонента // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. №3. С. 53-56.

4. Влияние способа помола на энергоемкость изготовления и качественные характеристики композиционных вяжущих / Трунов П.В., Алфимова Н.И., Вишневская Я.Ю., Евтушенко Е.И. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. № 4. С. 37-39.

УДК 691.327:666.97

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ВВЕДЕНИЯ ТОНКОГО БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА В ЦЕМЕНТНУЮ МАТРИЦУ

А. Ф. Галеев*, И. В. Боровских*, Н. М. Красиникова*

** Казанский государственный архитектурно-строительный университет*
Россия, Казань, borigor83@gmail.com

Рассмотрены различные способы введения тонкого базальтового волокна в среду цементного вяжущего. Показано, что наилучшие результаты по сохраняемости и равномерному распределению тонкого базальтового волокна достигаются при кратковременном совместном помоле с цементом, при этом максимально возможное количество вводимого волокна составляет 4-5% от массы цемента.

Ключевые слова. Тонкое базальтовое волокно, совместный помол, цементное вяжущее, прочность

TECHNOLOGICAL METHODS OF INTRODUCING A THIN BASALT FIBERS IN THE CEMENT MATRIX

A. F. Galeev*, I. V. Borovskikh*, N. M. Krasnikova*

** Kazan state University of architecture and construction Russia, Kazan,*
borigor83@gmail.com

Different ways of introducing a thin basalt fibers into the environment of a cement binder. It is shown that the best results on the persistence and uniform distribution of thin basalt fiber are achieved with short-term joint grinding of cement, with the maximum possible number of input fiber is 4-5% by weight of cement.

Keywords. Thin basalt fiber, joint grinding, cement binder, strength

Проблема распределения волокна в среде цементного теста и бетона является одой из наиболее важных при изготовлении дисперсно-армированных бетонов. Получение максимального распределения волокон решает сразу несколько задач, таких как комкование смеси, образование пор и пустот, повышенная водопотребность, и как результат – недостаточная прочность полученного материала.

Известно [1], что наилучшую «распределяемость» в бетоне имеют волокна с отношением длины фибр к диаметру l/d = 80 - 120. Увеличение длины фибр приводит к тому, что в массе они приобретают связанность [2]. В нашем исследовании используется базальтовое моноволокно с отношением длины к диаметру l/d = 900.

Таким образом, были проанализированы различные способы введения базальтовой фибры в цементное тесто [3]. Были рассмотрены следующие способы:

I – порционное введение волокна в готовое (затворенное водой) цементное тесто (по 10-20% от общей массы вводимого волокна при непрерывном перемешивании цементного теста);

II – предварительное сухое смешение цемента с базальтовым волокном в шаровой мельнице с резиновыми пробками;

III – предварительное сухое смешение с частичным домолом цемента с базальтовым волокном в шаровой мельнице с металлическими шарами;

IV – предварительное сухое смешение цемента с базальтовым волокном в пружинной мельнице (помол производится за счет удара, раскалывания и перетирания материала между витками вращающейся пружины).

Результаты исследования показаны на рис. 1.

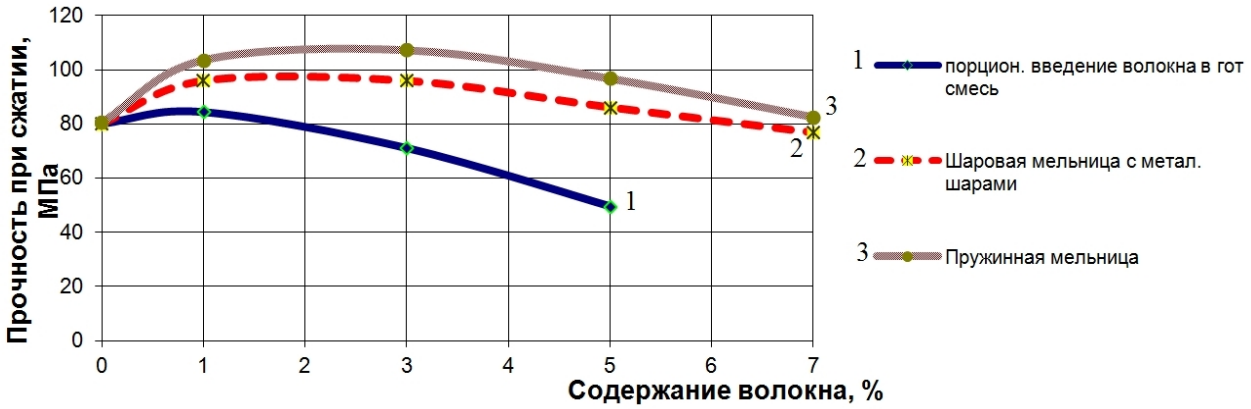


Рис. 1. Зависимость прочности дисперсно-армированного цементного камня от способа введения и содержания базальтового моноволокна

Из рис. 1 видно, что наилучшим способом введения волокна в смесь, является предварительное перемешивание с частичным помолом сухой смеси цемента с волокном в пружинной мельнице. Этот способ введения волокна при процентном содержании волокна от 2-5% показывает наибольшую прочность при сжатии цементного камня. На 3 сутки хранения в при влажности W=95-100% прочность образцов дисперсно-армированного цементного камня, полученного путем домола цемента с базальтовым моноволокном в пружинной мельнице, составила 108,5 МПа, что превышает прочность контрольного состава без волокна на 34% и прочность состава, полученного перемешиванием и домолом в шаровой мельнице с металлическими шарами, на 10% при 2% содержании волокна и на 15% при 3% содержании волокна.

Следует также отметить, что составы полученные в пружинной мельнице при одноминутном помоле и составы, полученные в шаровой мельнице с металлическими шарами при 30 минутном помоле не имеют комков, легко перемешиваются. Составы, полученные путем порционного введения в готовую смесь с ее непрерывным перемешиванием и помола в шаровой мельнице с резиновыми

пробками, имеют плохое распределение волокна, комкуются. Максимальное содержание волокна, которое удалось ввести этим способом, составило 5%, при этом составы не имели связности, резко увеличивалась водопотребность (рис. 2).

Таким образом, из рис.2. следует, что при максимально возможном распределении базальтового волокна в сухой смеси мелкозернистого бетона водопотребность практически не возрастает. Следует также отметить, что наиболее подходящим, из рассмотренных способов введения волокна в цементную матрицу, является сухой помол в пружинной мельнице.

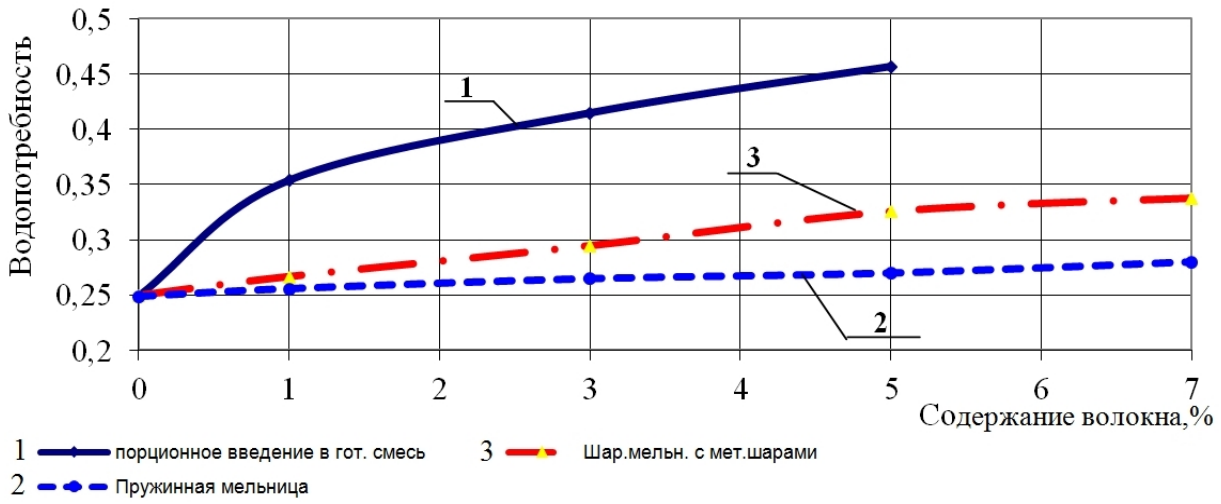


Рис.2. Зависимость водопотребности дисперсно-армированного цементного камня от содержания волокна.

Распределение базальтового волокна зависит не только от способа смешения с другими компонентами бетона, но и немалое влияние оказывает среда, в которой происходит смешение, – помол базальтового волокна [4], как показано на рис. 3.

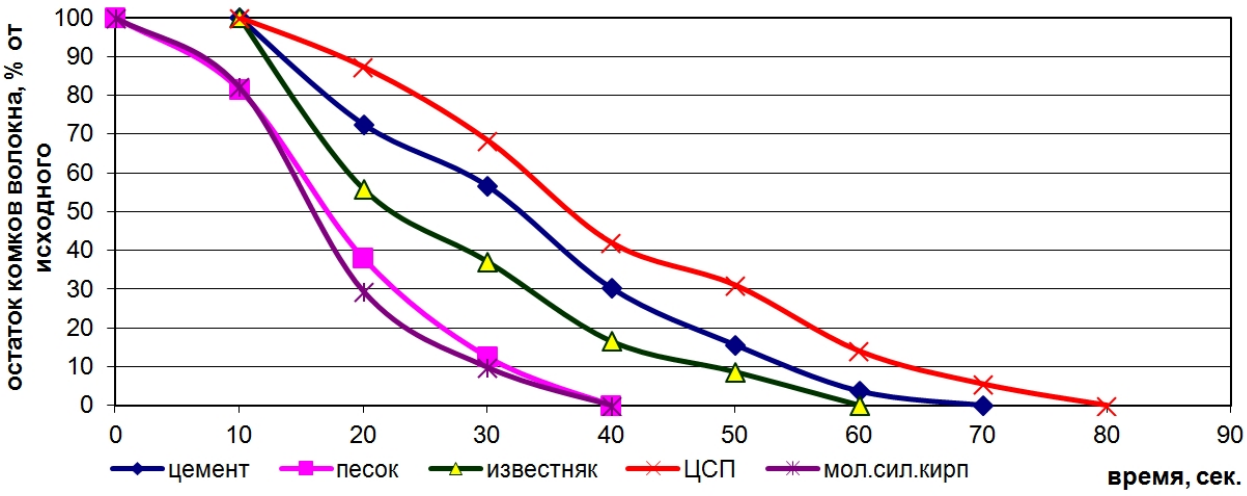


Рис.3. Зависимость времени смешения волокна от среды помола

Исходные удельные поверхности всех материалов, с которыми производился совместный помол базальтового волокна, находились в интервале от 2900 см^2/г до 3300 см^2/г. При такой удельной поверхности средний размер частиц составляет

от 5 до 9 мкм, что позволяет частицам материала проникать между волокнами при помоле в пружинной мельнице, принцип действия которой сдавливание с частичным перетиранием за счет вращающейся вокруг своей оси пружины. При этом следует также учитывать твердость материала, при помоле именно частицы материала должны измельчаться и раздвигать волокна.

Характеристики порошков использованных нами для распределения волокон в пружинной мельнице представлены в табл. 1. Основным критерием выбора порошков являлась их твердость по шкале Маоса.

Таблица 1 – Характеристика порошков, используемых для распределения базальтового волокна

Наименование	Удельная поверхность, $см^2/г$	Истинная плотность, $г/см^3$	Средний размер зерна, мкм	Твердость по шкале Маоса [173]
Базальт. волокно	1380	2,64	-	6
Кварц. песок	3120	2,65	7,26	7
Мол. силикат. кирпич	2980	2,55	7,9	5
Цемент	3250	3,0	6,15	4
Известняк	3060	2,8	7,0	3
ЦСП	2920	2,23	9,2	1

После совместного измельчения порошка и базальтовых волокон из полученной смеси производилась аналитическая выборка 10 навесок по 0,1 г из общей массы полученной смеси в соответствии с указаниями ГОСТ 8.207-76 «Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений». Для каждой навески производился подсчет количества волокон, находящихся в смеси.

В табл. 2 представлен подсчет количества волокон и распределение их по длине.

Таблица 2 – Изменение длины волокон в зависимости от среды помола

Наименование	Суммарное кол-во волокна в 0,1 г гот. смеси, шт.	Количество волокна в % от общего количества				
		l = 7-9 мм	l = 5-7 мм	l = 3-5 мм	l = 1-3 мм	l < 1 мм
Кварц. песок	322	4	12	17	24	43
Мол. силикат. кирпич	587	12	19	26	22	21
Цемент	712	21	28	26	17	8
Известняк	623	19	27	31	16	7
ЦСП	535	12	19	27	32	10

Как видно из табл. 2, наибольшая сохраняемость волокна обеспечивается при совместном помоле с цементом. Однако здесь следует учитывать как общее количество волокна, так и распределение его по длине при помоле. При известных геометрических размерах волокон и истинной плотности можно подсчитать процентное содержание волокна после его распределения в мельнице, как показано в табл. 3.

Таблица 3 – Изменение содержания волокна в зависимости от среды помола

Наименование	Суммарное кол-во волокна в 0,1 г гот. смеси, шт./г						Содержание волокна в гот. смеси, %
	l = 7-9 мм	l = 5-7 мм	l = 3-5 мм	l = 1-3 мм	l < 1 мм	Итого	
Кварц. песок	13 / $2{,}15*10^{-4}$	39 / $4{,}85*10^{-4}$	54 / $1{,}7*10^{-4}$	77 / $1{,}21*10^{-4}$	139 / $1{,}08*10^{-4}$	322 / $12*10^{-4}$	1,2
Мол. силикат. кирпич	70 / $4{,}40*10^{-4}$	112 / $5{,}28*10^{-4}$	153 / $4{,}80*10^{-4}$	129 / $2{,}03*10^{-4}$	123 / $0{,}97*10^{-4}$	587 / $17{,}5*10^{-4}$	1,75
Цемент	150 / $9{,}43*10^{-4}$	199 / $9{,}38*10^{-4}$	185 / $5{,}90*10^{-4}$	121 / $1{,}90*10^{-4}$	57 / $0{,}45*10^{-4}$	712 / $27{,}06*10^{-4}$	2,71
Известняк	118 / $7{,}42*10^{-4}$	168 / $7{,}92*10^{-4}$	193 / $6{,}05*10^{-4}$	100 / $1{,}57*10^{-4}$	44 / $0{,}35*10^{-4}$	623 / $23{,}31*10^{-4}$	2,33
ЦСП	64 / $4{,}02*10^{-4}$	102 / $4{,}81*10^{-4}$	144 / $4{,}52*10^{-4}$	171 / $2{,}69*10^{-4}$	54 / $0{,}43*10^{-4}$	535 / $16{,}47*10^{-4}$	1,65

Как видно из табл. 3, наибольшую сохраняемость волокно имеет при помоле совместно с цементом, т.е. после помола до полного распределения волокна в смеси остается 2,71% при изначальном содержании 3%. Большое значение здесь имеет и процентное распределение волокна по длине после помола. При уменьшении длины теряются армирующие свойства волокна. Здесь следует отметить, что при помоле с цементом в диапазоне длины от 9 до 3 мм остается 75% всех волокон, а в случае помола с кварцевым песком, к примеру, остается в этом диапазоне длины лишь 33% волокон. Суммарное количество волокон, находящихся в интервале длины от 9 мм до 1 мм, в смесях изменяется тоже в достаточно большом диапазоне от 712 до 322 шт.

Поэтому, исходя из задачи наибольшей сохраняемости волокна, следует сделать вывод, что цемент по своей твердости и размолоспособности больше подходит для совместного помола, нежели другие использованные нами материалы. К тому же, при совместном помоле волокна и цемента происходит не только распределение волокна, но и дополнительная механоактивация самого цемента, что сказывается благоприятно на конечных физико-механических свойствах материала.

Список литературы

1. Рекомендации по проектированию и изготовлению сталефибробетонных конструкций. НИИЖБ, ЛенЗНИИЭП, ЦНИИПромзданий. 1987. 148 с.

2. Хозин В.Г., Хохряков О.В., Якупов М.И. Современный метод исследования кинетики гидратации цемента // Технологии бетонов. 2011. № 5-6. С. 22-23.

3. Морозов Н.М., Хохряков О.В., Хозин В.Г. Сравнительная оценка мельниц по размолоспособности кварцевого песка и его эффективности в цементных бетонах // Известия КазГАСУ. 2011. № 1. С. 177-181.

4. Морозов Н.М., Хозин В.Г., Степанов С.В. Влияние гальванического шлама на процессы твердения цементных композиций // Цемент и его применение. 2011. № 3. С. 129-131.

УДК 691.213.2, 691.115

ПОЛУЧЕНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННО-КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ КОРЫ

В. Е. Данилов*, А. М. Айзенштадт*

** Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Россия, Архангельск*

Предложен способ получения эффективного теплоизоляционно-конструкционного минерально-древесного материала, состоящего из отсева дробления базальта в виде песка и пыли, отходов окорки хвойных деревьев, цемента. Показано, что наиболее эффективна армирующая добавка базальта, имеет средний размер частиц в диапазоне 100÷300 нм. Получена зависимость между pH среды и дзета-потенциалом материала, позволяющая оптимизировать состав. Получена зависимость между временем набухания и размером частиц коры.

Ключевые слова: конструктивная теплоизоляция, минерально-древесная плита, отсев базальта, отходы деревообработки, нанокомпозит, рациональное природопользование

OBTAINING OF HEAT-INSULATING-CONSTRUCTION MATERIAL BASED ON BARK

V. E. Danilov*, A. M. Ayzenstadt*

** Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Russia, Arkhangelsk*

A method of producing effective thermal-constructive mineral-wood material consisting of screenings of crushing of basalt in form of sand and dust, waste debarking conifers, cement. It is shown that the most efficient reinforcing additive of basalt has a mean particle size in the range of 100 ÷ 300 nm. Information was received about dependence between the pH of the medium and the zeta potential of the material, which allows to optimize the composition. The dependence between time and particle size of the swelling of bark was obtained.

Keywords: constructive insulation, mineral-wood slabs, dropouts of basalt, wood waste, nanocomposite, rational nature use

О производстве строительных материалов из древесных отходов известно уже давно. Еще в 1972 году советскими учеными Коротаевым Э.И. и Симоновым В.И. были даны классификация и подробное описание как самих древесных отходов с их химическими и физическими свойствами, так и всех производимых на их основе строительных материалов и изделий. Даже спустя более 40 лет интерес к производству этих материалов не иссяк. Причина кроется в возрастающих мировых тенденциях к инновациям в области эффективных ресурсосберегающих технологий. С ростом потребления древесины все больше предприятий лесной индустрии начинают задумываться о расширении производства строительных материалов на основе древесных отходов. Наиболее перспективными, с нашей точки зрения, являются материалы, полученные на основе окорки, ввиду ее небольшой себестоимости и хороших теплоизоляционных свойств.

Учеными многих стран уделяется самое большое внимание вопросам использования коры, и уже есть некоторые положительные результаты в этой области. Например, Орегонским научно-исследовательским центром по изучению продукции из древесины в г. Корвалис (США) разработана технология производства плит из коры без связующих. Технологический процесс состоит из измельчения коры на молотковой мельнице, высушивания дробленки, просеивания ее через сито, настилки ковра на поддон и прессования. Плиты из коры могут быть исполь-

зованы для обшивки внутренних стен, в качестве подкладочных слоев под другие материалы, среднего слоя столярных плит, панелей и для изоляции. В связи с тем, что кора под воздействием тепла и давления обладает способностью к текучести, из нее могут быть изготовлены формованные изделия способом выдавливания [1].

Кора используется в ограниченных масштабах. На лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях она либо вывозится на свалки, что приводит к крайне нежелательным последствиям (пожароопасности, загрязнению окружающей среды), либо сжигается, что малоэффективно. Утилизация коры - одна из важных проблем в свете решения задачи комплексного использования древесного сырья [2].

Интересной идеей видится проект получения цементно-корьевых теплоизоляционных плит на основе отходов окорки и отсева базальта. В качестве древесной матрицы для новой композиции будет использоваться кора сосны обыкновенной (Pinus silvestris L), как наиболее распространенная и пригодная для изготовления строительных материалов древесная порода в России [3]. В качестве армирующего компонента был взят отсев базальта месторождения Мяндуха (Архангельская область, Россия), полученный при дозировании и просеивании сырья в шихтовом отделении завода по производству минеральной ваты.

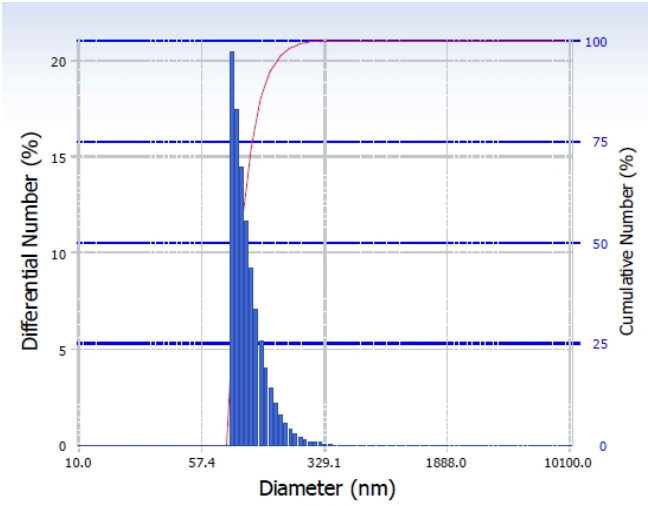
Кора, используемая в данном исследовании, была взята из отвала лесоперерабатывающего предприятия в сентябре 2014 года. Бревна сосны были окорены на роторных станках летом того же года и свалены в один отвал. Кора была равномерно взята по периметру отвала с глубины 30 см для того, чтобы избежать пограничных эффектов на границе раздела фаз кора-воздух. Большинство частиц коры имели серповидную форму, выгнутые в сторону корки. Вместе с корой частично срезался и прилегающий к ней слой древесины. Содержание древесины в отходах коры составило 5%, что совпало с литературными данными для роторных станков. Срезаемые частицы коры имели длину от 30 до 600 мм и ширину от 30 до 100 мм. Более 50 % частиц коры имели размеры от 100 мм. Среди отходов встретилось большое количество сильно извитых и переплетенных между собой полос коры длиной 400–500 мм и более, характерных для летней окорки.

Отсев базальта с месторождения Мяндуха (Архангельская область, Россия) был получен при дозировании и просеивании сырья в шихтовом отделении завода по производству минеральной ваты. Размер частиц базальта находился в пределах от 1 до 20 мм, но присутствовали и более мелкие частицы, в том числе, в большом количестве пылевидная часть. Выбор базальта в качестве армирующего компонента был обоснован его физическими свойствами: высокой прочностью на растяжение, устойчивостью к температурным воздействиям и агрессивным средам [4].

Известно, что содержащиеся в коре водорастворимые экстрактивные вещества негативно влияют на процесс твердения цемента. Поэтому, для удаления данных соединений, необходимо провести промыв и замачивание коры в дистиллированной воде при температуре 20°С на одни сутки.

Было замечено, что при производстве древесно-цементных композитов на основе коры, принципиальное значение на набор прочности и внешний вид материала играет гранулометрический состав заполнителя. Так, в [5] приводится информация, что при уменьшении размера частиц коры увеличивается прочность на изгиб изоляционных плит изготовленных из нее на 13%. На основании анализа литературных данных нами было решено, что наилучшие эстетические и проч-

ностные показатели будут получены при максимальной доле фракций 0,5-1 мм. Необходимые размеры частиц коры и базальта получали в результате механического помола на планетарной шаровой мельнице РМ 100. Диспергирование коры проводили сухим способом, по методике, описанной в [6]. Размеры частиц определяли гранулометрическим анализом на стандартном наборе сит с отверстиями. Диспергирование базальта проводили мокрым способом. Размеры частиц определяли на анализаторе Delsa Nano Series Zeta Potential and Submicron Particle Size Analyzers (рисунок). Оптимальные режим измельчения коры и базальта подбирали опытным путем (изменяли вариативные режимные параметры: количество размольных тел диаметром 2 см, скорость вращения и время работы мельницы).



Распределение нанодисперсного базальта с пиком 112 нм

Армирование коры наночастицами базальта происходит в воде, поэтому нами был проведен эксперимент по определению величины дзета-потенциала высокодисперсных частиц базальта и коры в нейтральной, кислой и щелочной среде на анализаторе Delsa Nano. Для этого 1 г. исследуемого вещества взятого на технических весах, помещали в мерный цилиндр и добавляли 100 мл дистиллированной воды, после чего тщательно перемешивали. Предварительно, воду доводили до требуемого значения pH, путем добавления к ней слабых растворов кислот (HCl) и щелочей (NaOH). Приготовленную суспензию выдерживали в течение 5 минут, после чего проводили измерение величины дзета-потенциала частиц методом электрофоретического рассеяния света. Для этого заполняли специальную кювету с электродной парой внутри, суспензией с помощью дозатора и помещали в прибор Delsa Nano.

Данные, приведенные в таблице, показывают, что при значении pH от 7 до 7,5 в водной среде поверхность частиц базальта и коры имеет разноименный заряд. Следовательно, электростатический барьер, препятствующий интенсивному протеканию процесса армирования древесной матрицы наночастицами базальта, не возникнет.

Для определения оптимального времени выдержки реакционной смеси, проводили следующий эксперимент: частицы ультрадисперсной коры размером 0,5-1 мм и массой 2,5 г количественно переносили в мерный цилиндр емкостью 15 мл и доводили объем смеси в цилиндре дистиллированной водой до 10 мл (предварительно воду выдерживали в термостате при температуре 20±2°C). Затем тща-

тельно в продолжение 30 сек, путем интенсивного встряхивания цилиндра, перемешивали реакционную смесь. После чего фиксировали изменение объема в цилиндре через равные промежутки времени, считая, что данный параметр характеризует процесс набухания анализируемой пробы.

Зависимость дзета-потенциала от pH суспензии

pH суспензии	Дзета-потенциал коры	Дзета-потенциал базальта
5	-55,12	-52,78
6	-48,46	-66,41
7	0,92	-49,89
8	54,51	54,13
9	46,09	80,78

Оптимальное соотношение коры и базальта определяли экспериментально на приборе Delsa Nano. Для этого 1 г измельченного базальта, помещали в мерный цилиндр и добавили 100 мл дистиллированной воды, тщательно перемешали. Приготовленную суспензию базальта выдерживали в течение 20 минут, после чего проводили анализ размера частиц. Состав считали оптимизированным, когда поровая структура коры насыщалась частицами базальта, и в исследуемой суспензии появлялись наноразмерные частицы базальта. Проведенные эксперименты показали, что при соотношении: 70 % коры и 30 % базальта (по массе) наблюдается появление наноразмерных частиц базальта, не проникающих в поровое пространство коры и не осаждающиеся на ее поверхности, находящихся во взвешенном состоянии в суспензии.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что наноразмерные частицы базальта способны проникать в поровую структуру коры и тем самым армировать ее.

Исследования проведены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках базовой части государственного задания в сфере научной деятельности.

Список литература

1. Коротаев Э.И., Симонов В.И. Производство строительных материалов из древесных отходов. М.: Лесная промышленность, 1972. 144 с.

2. Цывин М.М. Использование древесной коры. М.: Лесная промышленность, 1973 96 с.

3. Demidov Maksim L., Aisenstadt Arcadiy M. New approach in the creation of environmentally friendly building materials based on the highly dispersed mineral-reinforced wooden matrix // Journal of International Scientific Publications: Ecology and Safety. Bulgaria. 2014. Vol. 8. P. 146-151.

4. Babaev V.B., Strokova V.V., Nelubova V.V. Basalt fiber as a component for micro reinforcing of cement composites // Bulletin of Belgorodsky state technology university named after V.G. Shukhov. 2012. № 4 P. 58-61.

5. Bark as Heat Insulation Material / Kain G., Barbu M. C., Hinterreiter S., Richter K., and Petutschnigg A. // BioResources. 2013. 8(3). 3718-3731.

6. Данилов В. Е., Айзенштадт А. М. Подбор оптимальных режимных параметров измельчения коры для получения нового композиционного материала // Инновационные материалы и технологии для строительства в экстремальных условиях: I Всероссийская научно-техническая конференция с междунар. участием, 2-4 декабря 2014 г. : материалы конференции / М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. автоном. образов. учреждение высш. проф. образования «Сев. (Аркт.) федер. ун-т им. М. В. Ломоносова». Архангельск, 2014. С. 90-93.

УДК 691.619.8

ВЛИЯНИЕ МЕХАНОАКТИВАЦИИ САПОНИТ-СОДЕРЖАЩЕГО ОТХОДА НА ЕГО СВЯЗУЮЩИЕ СВОЙСТВА

Т. А. Дроздюк*, А. М. Айзенштад*, А. С. Тутыгин*, А. А. Носуля*

** Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова, Россия, Архангельск*

Рассмотрено влияние маханоактивации сапонит-содержащего отхода горнодобывающей промышленности на его вяжущие свойства в качестве связующего компонента для минераловатной теплоизоляции. Сапонит-содержащий материал представляет собой экологически чистый многотоннажный отход обогащения кимберлитовых руд месторождения алмазов имени М.В. Ломоносова. Механоактивация образцов сапонит-содержащего отхода до микродисперсного состояния проводилась на планетарной шаровой мельнице Retsch PM100. Связующие свойства сапонит-содержащего отхода оценивались путем калориметрического определения величины теплового эффекта реакции гидратации. Установлено, что механоактивация повышает связующие свойства сапонит-содержащего отхода.

Ключевые слова: высокодисперсное состояние, механическое диспергирование, сапонит, связующее для минераловатной теплоизоляции, теплоизоляция, удельная теплота гидратации

INFLUENCE MECHANICAL ACTIVATION SAPONITE-CONTAINING WASTES ON ITS BINDING PROPERTIES

T. A. Drozdyuk*, A. M. Ayzenstadt*, A. S. Tutygin*, A. A. Nosulya*

** Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Russia, Arkhangelsk*

In this paper we examine the effect of mechanical activation saponite-containing waste mining at its binding properties as a binder for mineral wool insulation. Saponite-containing material is an environmentally friendly large-tonnage ore tailings kimberlite diamond deposit named after MV Lomonosov. Mechanoactivation saponite samples containing waste to a microfine state was carried out on a planetary ball mill Retsch PM100. Binding properties of saponite-containing waste were estimated by colorimetric determination of the value of the thermal effect of the hydration reaction. Established that mechanical activation increases the binding properties of saponite-containing wastes.

Keywords: binder for mineral wool insulation, heat insulation, highly dispersed state, saponite, mechanical grinding, specific heat of hydration

В настоящее время в качестве связующего для минераловатных теплоизоляционных материалов в основном используются термоотверждаемые фенолформальдегидные и аминоформальдегидные смолы, имеющие невысокую водостойкость и выделяющие в процессе эксплуатации канцерогенные вещества (фенол, формальдегид, метилизоцианат и др.), негативно сказывающиеся на здоровье человека [1]. При производстве жестких минераловатных плит расход связующего может превышать 10 % от массы изделия, что приводит к горючести плит, наблюдающейся уже при содержании смолы 2-3 %. Такие смолы подвержены старению и воздействию высоких температур. Перечисленные отрицательные свойства минераловатной теплоизоляции можно свести к минимуму или совсем устранить путем замены органического на минеральное связующее.

Вместе с тем, в качестве связующего компонента возможно использовать высокопластичную бентонитовую глину, что позволит устранить недостатки минераловатной теплоизоляции на синтетических связующих. Такой опыт использования глин имеется на «Заводе изоляции» (г. Ирпень, Украина) [2].

Разновидностью бентонитовой глины является сапонит, который в больших количествах содержится в отходах обогащения кимберлитовых руд. Сапонит-содержащий отход (ССО), выделенный методом электролитной коагуляции [3] из пульпы хвостохранилища промышленного обогащения руд месторождения алмазов имени М.В. Ломоносова Архангельской области, характеризуется наличием следующих компонентов: сапонит 63%, кварц 10%, доломит 10%, содержание остальных минералов (хлорит, гематит, кальцит, апатит и др.) не превышает 2-3 % [4]. Химический состав ССО, определенный методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии на спектрофотометре Shimadzu EDX-800 HS в центре коллективного пользования научным оборудованием «Арктика» САФУ [5], показал отсутствие вредных примесей. Вместе с тем, наличие в составе опытных образцов химических соединений, содержащих (в пересчете на оксиды) SiO_2 (52%), MgO (19%), Al_2O_3 (10%), CaO (4%) позволяет предположить возможность протекания реакции гидратации с образованием гидросиликатов из сапонит-содержащего сырья предварительно подвергнутого механоактивации (механическое диспергирование на шаровой мельнице до ультрадисперсного состояния) [6,7,8]. Оценить связующие свойства ССО можно путем калориметрического определения величины теплового эффекта реакции гидратации [9].

Целью данной работы является оценка вяжущих свойств ССО как связующего вещества для минераловатной теплоизоляции путем определения удельной теплоты гидратации механоактивированных образцов.

Калориметрическое определение удельной теплоты гидратации ССО проводили на следующих образцах. В качестве исходного сырьевого материала использовали предварительно высушенный до постоянной массы ССО (образец ССО1). Образцы ССО2, ССО3, ССО4 и ССО5 получали путем измельчения образца ССО1 на планетарной шаровой мельнице Retsch PM100 в течение 15, 30, 45 и 60 минут соответственно. Размер частиц полученных образцов ССО определяли на анализаторе размера субмикронных частиц DelsaNano. Характеристики фракций образцов ССО представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристика фракций ССО, полученных сухим диспергированием на планетарной шаровой мельнице

Образец	Размер по фракциям, нм / Содержание, %							Средний размер, нм
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	
ССО2	1270/16	1375/22	1489/21	1613/15	53774/2	58235/2	63066/1	5259
ССО3	1111/8	2809/35	4134/6	36018/8	57274/4	66850/1	78028/1	8898
ССО4	900/9	968/13	1041/15	1119/14	1245/22	1390/8	1502/9	1230
ССО5	964/20	1061/14	1142/14	1228/13	1321/11	1421/8	1528/6	1269

Термохимические исследования, связанные с измерениями тепловых эффектов, проводили калориметрическим методом на установке «Эксперт-001К-2», причем для механоактивированных образцов измерения проводились непосредственно после их помола. В предварительных экспериментах устанавливалась постоянная калориметрической системы (k) путем введения определенной навески (2,5040 г) соли хлорида калия (k=580 Дж/К). Для определения удельной теплоты гидратации опытных образцов использовалась навеска сухого образца ССО мас-

сой 4-5 г, взятая на технических весах с точностью до сотых значений. Объем дистиллированной воды во внутренней камере калориметра равнялся 100 мл. Калориметрические измерения (заключительный период) проводились в течение двух часов, причем время предварительного периода измерений температуры системы колебалось от 10 до 15 минут. Изменение температурного режима реакционной смеси фиксировалось с точностью до 0,1 ^{0}C.

Результаты калориметрического определения удельной теплоты гидратации (ΔH) образцов ССО представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты калориметрического определения удельной теплоты гидратации образцов ССО

Образец	m, г	K, кДж	Температура, ºС		Δt	- ΔH, кДж/кг
			Начальная	Через 2 часа от начала эксперимента		
ССО1	5,40	0,58	23,5	24,1	0,6	64
ССО2	5,09	0,58	23,5	24,8	1,3	148
ССО3	5,10	0,58	23,5	24,9	1,4	159
ССО4	5,04	0,58	23,5	25,5	2,0	230
ССО5	5,09	0,58	23,5	25,5	2,0	227

Определенная теплота гидратации (за 2 часа) для образцов ССО, отобранных после проведения механоактивации в течение 45 и 60 минут сопоставима со значением удельной теплоты гидратации основного клинкерного минерала (двухкальциевого силиката β – $2CaO•SiO_2$) - 260 кДж/кг.

Сравнивая полученные значения удельной теплоты гидратации для высокодисперсных образцов ССО, отобранных после проведения механоактивации, и образца ССО, не подвергнутого механоактивации, можно сделать вывод о том, что механоактивация и увеличение времени механоактивации усиливают вяжущие свойства ССО.

С практической точки зрения результаты исследований позволят определить оптимальную степень дисперсности ССО как связующего вещества для минераловатной теплоизоляции.

Список литературы

1. Бобров Ю.Л., Овчаренко Е.Г., Шойхет Б.М., Петухова Е.Ю. Теплоизоляционные материалы и конструкции: учеб. для средних профессионально-технических учебных заведений. М.: ИНФРА-М, 2003. 268 с.

2. Рожанский А. И., Радчук Н. М., Городова Н. В. Получение и свойства теплоизоляционных изделий из базальтового штапельного волокна и минеральной связки [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.basaltfiber.ru/library/articles/poluchenie.htm.

3. Влияние природы электролита на процесс коагуляции сапонит-содержащей суспензии / А.С. Тутыгин, М.А. Айзенштадт, А.М. Айзенштадт, Т.А. Махова // Геоэкология. 2012. № 5. С. 379-383.

4. Коршунов А.А. Геоэкологическое обоснование складирования и использования отходов обогащения кимберлитовых руд (на примере месторождения алмазов им. М. В. Ломоносова): дис. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2010. 125 с.

5. Расчет энергоемкости горных пород – как сырья для производства строительных материалов / И.Р. Абрамовская, А.М. Айзенштадт, В.С. Лесовик, Л.А. Вешнякова, М. А. Фролова, С.А. Казлитин // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 10. С. 23-25.

6. Лесовик В.С. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса. М.: Изд-во Ассоц. строит. вузов. 2006. 526 с.

7. Глезер А.М. Аморфные и нанокристаллические структуры: сходство, различия, взаимные переходы // Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева. 2002. т. XLVI. № 5. С. 57-63.

8. Особенности фазообразования в композиционном наноструктурированном гипсовом вяжущем / В.В. Строкова, А.В. Череватова, И.В. Жерновский, Е.В. Войтович // Строительные материалы. 2012. № 7. С.9-12.

9. Рахимбаев И.Ш. Зависимость прочности цементной матрицы бетонов от теплоты гидратации: дис. ... канд. техн. наук. Белгород, 2012. 133 с.

УДК 691.535

МИНЕРАЛЬНАЯ ВЫСОКОДИСПЕРСНАЯ ДОБАВКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ МОРОЗОСТОЙКОСТИ БЕТОНА

М. В. Морозова*, А. В. Стрельникова*, А. М. Айзенштадт*

** Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова, Россия, Архангельск*

Предложен способ регулирования водоцементного соотношения бетонной смеси в процессе ее твердения с помощью введения высокодисперсной добавки из сапонит-содержащего материала (ССМ). Показано, что наиболее эффективна добавка, имеющая средний размер частиц в диапазоне 400÷600 нм. Получена зависимость между водопоглощением и степенью дисперсности материала, позволяющая рассчитать необходимое количество добавки в композиционную смесь. Результаты испытаний опытных образцов на прочность при сжатии показали, что 7% добавка в бетон сапонит-содержащего материала даёт увеличение прочности более чем в два раза, при этом марка по морозостойкости бетонного композита достигает F150.

Ключевые слова: сапонит, бетон, прочность, морозостойкость, удельная поверхность, водопоглощение, водоцементное соотношение, размер частиц, высокодисперсный материал

FINELY MINERAL SUPPLEMENT FOR IMPROVING FROST RESISTANCE OF CONCRETE

M. V. Morozova*, A. V. Strelnikova*, A. M. Ayzenstadt*

** Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Russia, Arkhangelsk*

A method for regulating the water-cement ratio of the concrete mix in the process of hardening by the introduction of finely divided additives saponite-containing material (SCM). It is shown that the most efficient additive having an average particle size in the range of 400 ÷ 600 nm. The dependence between the water absorption and the degree of dispersion of the material, which allows to calculate the necessary amount of additive in the composite mixture. Test results for the prototypes compressive strength showed that 7% of an additive in concrete saponite containing material provides an increase in strength more than doubled, with the stamp reaches frost resistance of the concrete composite F150.

Keywords: saponite, concrete strength, frost resistance, specific surface area, water absorption, water-cement ratio, particle size, a finely material

Экономическая эффективность производства и применения бетонных композитов обусловлена использованием доступных сырьевых компонентов, рационально подобранным составом, а также получением материалов с улучшенными технико-эксплуатационными характеристиками. Данное положение предопределяет актуальность исследований в строительном материаловедении, направленных на расширение использования локально распространенной сырьевой базы строительных материалов.

Для мелкозернистого бетона одним из ключевых свойств в этом плане является морозостойкость. Доказано, что основным технологическим параметром, определяющим получение бетона с высокой морозостойкостью, является водоцементное (В/Ц) соотношение [1].

Особенностью пород трубки «Архангельская» месторождения алмазов имени М.В. Ломоносова является их масштабная сапонитизация (60…70%). Такие отходы обогащения кимберлитовых руд при добыче алмазов можно рассматривать как техногенные месторождения магнезиальных глин [2]. Утилизация таких глин, а именно применение высокодисперсных отходов обогащения для создания высокопрочных морозостойких бетонов, повысит рентабельность разработки месторождения [3].

Поэтому целью исследований является разработка состава и технологических приемов получения морозостойких мелкозернистых бетонов с использованием добавки на основе сапонит-содержащего отхода, с целью регулирования водоцементного соотношения.

Для этого была изучена динамика процесса водопоглощения сапонит-содержащим материалом (ССМ), выделенного из суспензии оборотной воды и переведенного методом механического диспергирования в состояние высокодисперсного порошка. Исследуемый образец ССМ предварительно высушивали и доводили до постоянной массы при температуре 105 ^{0}С. Полученные характеристики ССМ, используемого в качестве добавки представлены в [4].

Экспериментальным путем были подобраны оптимальные режимы диспергирования материала на планетарной шаровой мельнице Retsch PM100. При этом скорость вращения составила 420 об/мин. В результате были получены опытные образцы с размерным диапазоном частиц от 1000 нм до 400 нм. Данные режимы диспергирования позволили получить устойчивые воспроизводимые результаты размерных характеристик ССМ. Для диспергирования использовали карбид вольфрамовые размольные тела (20 шт.).

Размер частиц определяли на анализаторе размера субмикронных частиц и дзета-потенциала Delsa Nano Series Zeta Potential and Submicron Particle Size Analyzers методом измерения динамического и электрофоретического светорассеяния.

Интенсивность процесса сорбции воды в исследуемой твердой фазе, измеряемая изменением объема реакционной смеси (вода-ССМ), должна зависеть от размерных характеристик сапонит-содержащего материала. Вместе с тем этот материал представляет собой структуру с развитой поверхностью, поэтому для него корректнее использовать не размерную характеристику частиц, а удельную поверхность [5].

Поэтому высокодисперсный образец был охарактеризован методом сорбции азота на анализаторе Autosorb-iQ-MP по величине удельной поверхности $S_{уд}$.

Изучение процесса водопоглощения высокодисперсным ССМ с учетом временного фактора проводили на трех независимо отобранных опытных пробах (три параллельных эксперимента) по методике [6].

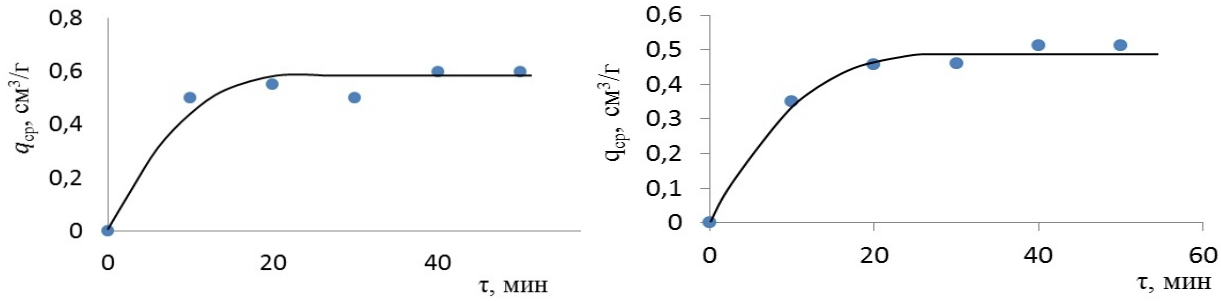
Проведенные измерения позволили получить следующие характеристики высокодисперсных образцов (табл. 1).

Таблица 1 – Параметры диспергирования, размерная и поверхностная характеристики образцов ССМ

№ фракции	Время диспергирования проб, мин.	Средний размер частиц, нм.	Удельная поверхность $S_{уд}$, $м^2/кг$
1	5	1113±23	18610±10
2	10	827±52	19810±10
3	30	764±43	21210±20
4	60	591±28	35280±30
5	90	445±40	50670±20

Проведенные по данной методике эксперименты показали, что ССМ с размером частиц меньше 591 нм проявляет высокую активность в процессах сорбции воды. Следовательно, данные размер частиц обладает оптимальным водопоглощением, для получения морозостойких бетонов.

На рис. 1 представлены функциональные зависимости удельного массового изменения объема реакционных систем (q) от времени их выдержки (τ), которые показывают наличие активного, практически прямолинейного участка водопоглощения в первые 10 мин экспериментов. Аппроксимация полученных функциональных зависимостей различными полиномами показала, что наиболее высокое значения коэффициента достоверности аппроксимации имеют уравнения третьей степени [6].



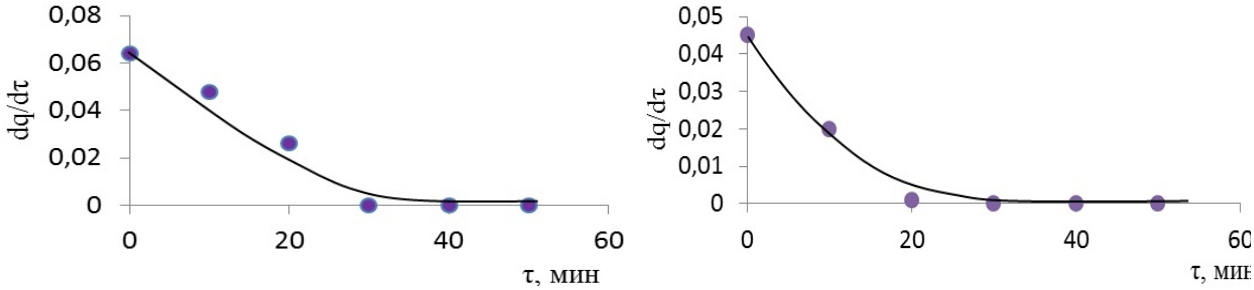
а б

Рис. 1. Функциональные зависимости вида $q = f(\tau)$ для реакционной смеси с размерами частиц: а) 445 нм.; б) 591 нм

Дифференцирование выражений по времени позволяет получить математические выражения для расчета скорости процесса водопоглощения опытных образцов высокодисперсного ССМ.

На рис. 2 приведены зависимости скорости процесса водопоглощения опытных образцов ССМ от времени, которая показывает, что через 30 мин эксперимента опытные образцы сапонит-содержащего материала достигают максимального водонасыщения. Максимальная скорость процесса наблюдается при $\tau \to 0$, при этом следует отметить, что физический смысл данной величины, связан с удельной поверхностью опытного образца и характеризует ее активность в сорбционных процессах.

Полученные образцы бетонных кубиков с добавкой ССМ с размером частиц 445 нм испытывались на прочность разрушающим методом по ГОСТ 10180-90. Затем опытные образцы подвергались замораживанию по ускоренной методике, описанной в ГОСТ 10060.0-95. Для определения марки по морозостойкости бетонных образцов использовалась камера тепла и холода «ТХВ-64».



а б

Рис. 2. Функциональные зависимости вида $dq / d\tau = f(\tau)$ для реакционной смеси с размерами частиц: а) 445 нм.; б) 591 нм.

Образцы мелкозернистого бетона основного состава готовились с добавкой ССМ, причем количество добавки в бетонную смесь равное 7% от массы цемента и песка, рассчитывалось по результатам кинетических исследований процесса водопоглощения из условия, что сапонит-содержащий материал за 30 минут изменит В/Ц соотношение смеси с 0,7 до 0,5. Для приготовления контрольного образца бетона использовался состав, состоящий из тех же компонентов за исключением ССМ.

Среднее значение максимальной нагрузки образцов контрольного состава составила 5,66 Н/мм^2 (модуль упругости 8,39 МПа), а образцов основного состава 17,36 Н/мм^2 (модуль упругости 25,97 МПа).

Полученные данные, показывают, что при добавлении в бетонную смесь сапонит-содержащего материала прочность композита повышается более чем в два раза. Испытания на морозостойкость проводили ускоренным методов, выдерживая образцы в 5% растворе хлорида натрия (таблица 2).

Таблица 2 – Показатели марки по морозостойкости бетонных образцов

Количество циклов (марка)	Контрольный состав		Основной состав	
	Максимальная нагрузка, Н/мм^2	Модуль упругости, МПа	Максимальная нагрузка, Н/мм^2	Модуль упругости, МПа
75 (F75)	5,11	7,72	23,73	32,43
100 (F100)	6,84	12,59	22,94	30,56
150 (F150)	3,00	4,36	22,20	30,50

Результаты испытаний опытных образцов бетона показали, что при добавлении высокодисперсного сапонит-содержащего материала в композиционную смесь достигается марка бетона по морозостойкости F150, в то время как контрольные образцы имеют марку F75. Необходимо отметить, что для образцов бетона основного состава испытания на морозостойкость были завершены после 150 циклов замораживания и оттаивания.

Выводы:

1. Экспериментально доказано, что добавка ССМ повышает прочность и морозостойкость мелкозернистого бетона за счет оптимизации В/Ц отношения в процессе набора прочности бетонного композита;

2. Испытания образцов с добавкой ССМ на прочность при сжатии, показали существенное увеличение прочности (более чем в два раза), а марка по морозостойкости бетонного композита достигает F150.

3. Доказано, что наиболее эффективный результат для получения морозостойкого бетона, показывает высокодисперсная добавка со средним размером частиц не более 600 нм ($S_{уд}$ = 35280 м^2/кг).

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках базовой части государственного задания в сфере научной деятельности.

Список литературы

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: Изд-во АСВ, 2002. 500 с.

2. Карпенко Ф. С.: Условия накопления сапонитсодержащих осадков и технология их сгущения в хвостохранилище месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова: дис. ... канд. геол.-минералог. наук: 25.00.08. М., 2009. 155 с.

3. Шпилевая Д. В.: Геологическое строение, минеральный состав и эколого-экономические аспекты освоения трубки Архангельская: месторождение алмазов им. М.В. Ломоносова: дис. ... канд. геол.-минералог. наук: 25.00.11. М., 2008. 150 с.

4. Морозова М.В., Айзенштадт А.М. Свойства термически модифицированного сапонитсодержащего отхода кимберлитовых руд // Theoretical foundation of civil engineering: XXII Slovak-Polish-Russian seminar. Moscow, 2013. P. 573-576.

5. Добшиц Л.М. Основы получения долговечных бетонов // Строительное материаловедение. Теория и практика: сб. тр. Всерос. науч.-практ. конф. М.: Изд-во СИП РИА, 2006. С. 39-45.

6. Морозова М.В., Айзенштадт А.М., Тутыгин А.С. Водопоглощение сапонитсодержащих отходов обогащения кимберлитовых руд // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 11. С. 29-31.

УДК 666.973.6

НЕАВТОКЛАВНЫЙ ПЕНОБЕТОН ИЗ МОДИФИЦИРОВАННОЙ СУХОЙ СМЕСИ

Э. В. Ерусланова*, В. К. Жугар*, А. И. Габитова*, Н. М. Красиникова*

** Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, Казань, knm0104@mail.ru*

Предложена новая технология получения пенобетона из сухих смесей. Применение сухих «пенобетонных» смесей открывает возможность производства изделий (блоков, плит и др.) и монолитных конструкций по предельно простой технологии: смешению с водой и заливке пенобетонной смеси в формы или опалубку непосредственно на строительной площадке. Показана возможность модификации сухой смеси для неавтоклавного пенобетона. Получен материал, обеспечивающий высокие показатели по прочности, теплопроводности.

Ключевые слова: пенобетон неавтоклавного твердения, керамзитопенобетон, пеностеклопенобетон, прочность

NOT AUTOCLAVING FOAM CONCRETE FROM THE MODIFIED DRY MIX

E. V. Eruslanova*, V. K. Zhugar*, A. I. Gabitova*, N. M. Krasinikova*

** Kazan state architectural and construction university, Russia, Kazan, knm0104@mail.ru*

The new technology of receiving foam concrete from dry mixes is offered. Use of dry «foam-concrete» mixes opens possibility of production of products (blocks, plates, etc.) and monolithic designs on extremely simple technology: to mixture with water and filling of foam-concrete mix in forms or a

timbering directly on a building site. Possibility of modification of dry mix for not autoclave foam concrete is shown. The material providing high rates on durability, heat conductivity is received.
Keywords: foam concrete of not autoclave curing, керамзитопенобетон, пеностеклопенобетон, durability

Самый простой метод изначального снижения теплопотерь зданий заключается в рациональной теплоизоляции их ограждающих конструкций, в первую очередь стеновых. Основные требования, предъявляемые к зданиям, кроме стоимости и сроков возведения – это использование эффективных теплоизоляционных материалов (ТИМ), отвечающих требованиям СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий».

В современном строительстве существует три способа утепления наружных стен: внутренняя, наружная теплоизоляция и применение стеновых конструкций, где теплоизоляция используется в качестве среднего слоя. Кроме этого применяют однослойные конструкции из ячеистого газо- или пенобетона, полистиролбетона.

Следует отметить, что ячеистые бетоны (автоклавный газобетон и неавтоклавные пенобетон и газобетон) являются наиболее эффективным конструкционно-теплоизоляционным материалом для стеновых конструкций, так как по комфортности проживания и экологической безопасности жилые дома из ячеистых бетонов занимают второе место после домов из древесины, значительно превосходя их по долговечности. Хочется отметить, что в Белоруссии уже внедрили программу «Основные направления развития материально-технической базы строительства РБ на период 1998-2015 год», в результате которой довели применение ячеистого бетона в надземной части малоэтажных зданий до 97% [1].

Конечно же, на сегодняшний день в строительстве из ячеистого бетона доминирует автоклавный газобетон, показывающий стабильные механические характеристики, хотя его производство намного сложнее, более металло- и энергоемкое.

Идеологической основой конкурентоспособной технологии неавтоклавного пенобетона может стать принцип производства строительных материалов из предварительно приготовленных сухих смесей. Их неоспоримыми достоинствами являются высокая точность дозирования и высокая степень гомогенизации компонентов, обеспечивающие стабильность технологических и эксплуатационно-технических свойств материала. Нами была разработана общая принципиальная схема одностадийного производства сухой смеси для неавтоклавного пенобетона, заключающаяся в одновременном смешении с помолом всех компонентов, включая жидкий пенообразователь, в энергонапряженных мельницах. В продолжение этой работы [2, 3] авторы предложили улучшить прочностные характеристики пенобетона путем введения в него крупнопористого заполнителя. При объединении пенобетона с керамзитовым гравием или пеностеклом пенобетон будет дисперсной средой или матрицы для керамзитового гравия или стекла.

В работе использовались следующие материалы:

– вяжущие: сухие смеси для неавтоклавного пенобетона [2,3].

– заполнитель: керамзитовый гравий фр. 5-10 мм (П100), керамзитовый гравий фр. 10-20 мм (П75), пеностеклокерамический материал «Кремнегран» – фр. 0-5 мм с насыпной плотностью 270 кг/м^3.



Рис. 1. Структура пенобетона
с керамзитовым гравием

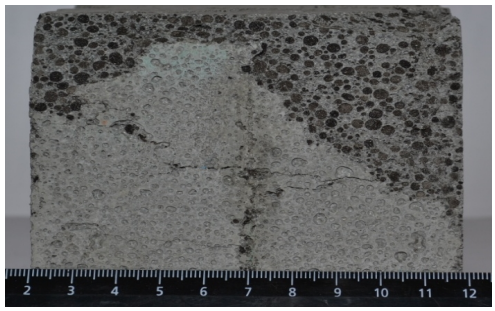


Рис. 2. Структура пенобетона
с пеностеклом

Очевидным является и то, что прочность керамзитопенобетона (рис. 1) и пеностеклопенобетона (рис. 2) зависит не только от «матрицы», но и от вида, характеристик самого заполнителя (табл. 1).

Полученные физико-механические характеристики заполнителей и материала на его основе представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Физико-механические характеристики пенобетона из сухой смеси

№	Наименование заполнителя	Характеристики заполнителей		Наименование материала	Характеристики материала		
		Насыпная плотность, кг/м^3	Прочность при сжатии, кг/см^2		плот-ность,	ность при сжатии	Тепло-провод-ность, Вт/м*°С
1	Керамзитовый гравий	450	П100	Керамзитопенобетон	700	2,0-2,5	0,24
2	Пеностекло на основе диато-мита	120-270	10,5	Пеностеклопенобетон	400	3,5-4,0	0,0896
3	-	-	-	Пенобетон требования ГОСТ 25485	400	0.7-1.1	0,1

Получен материал, обеспечивающий высокие показатели по прочности, теплопроводности, при этом практически устранена усадка – один из основных недостатков пенобетона.

Более высокая средняя плотность первого материала не обеспечивает таких же показателей по прочности в сравнении со вторым, имеющим значительно меньшую среднюю плотность. Это связано с разным водопоглощением керамзита и кремнеграна. Сухой керамзит впитывает воду в процессе перемешивания, препятствуя образованию необходимой структуры пеномассы и вызывая дефицит воды для гидратации цемента. В случае с кремнеграном эта проблема практически отсутствует.

Следует также отметить, что предложенный способ получения неавтоклавного пенобетона из сухих смесей обеспечивает высокое качество, как пенобетонной смеси, так и пенобетонных изделий в сочетании с простой технологией их изготовления непосредственно на строительной площадке. Опыты показали, что пенобетон из сухой смеси можно заливать на высоту до 1,5 м (рис. 3).



Рис. 3. Этапы приготовления пенобетона из сухой смеси

Разница по плотности и прочности между нижним и верхним слоем не превышает 5 %.

Список литературы

1. В. Савицкий. Жилье в прогнозах до 2015 года // Недвижимость Белоруссии. 2006. № 41.

2. Красиникова Н.М., Хозин В.Г. Новый способ приготовления пенобетона // Известия КазГАСУ. 2009. № 1. С. 273-276.

3. Пат. РФ № 2342347. Способ приготовления сухого тонкодисперсного пенообразователя и способ приготовления сухой сырьевой смеси для пенобетона с использованием этого пенообразователя / Хозин В.Г., Магдеев У.Х., Красиникова Н.М., Морозова Н.Н., Рахимов М.М. Приоритет от 18.01.2007 .

УДК 691.33

АКТИВАЦИЯ ВЯЖУЩЕГО ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ

Р. А. Ибрагимов*, В. С. Изотов*

** Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, Казань*

Рассматривается влияние механохимической активации цементной суспензии на физико-механические показатели тяжелого бетона производственного состава. Показано, что применяя механохимическую активацию суспензии в роторно-пульсационном аппарате, резко возрастает прочность бетона, особенно в ранние сроки твердения, а также достигается высокая марочная прочность.

Ключевые слова: механохимическая активация, цементная суспензия

CEMENTING ACTIVATION IN PRODUCTION CEMENT CONCRETE

R. A. Ibragimov*, V. S. Izotov*

** Kazan state architectural and construction university, Russia, Kazan*

This article examines the impact of mechanochemical activation of the cement slurry on the physic-mechanical properties of heavy concrete production. It has been shown that the mechanochemical activation applying slurry in rotary pulsation apparatus, the concrete strength increases dramatically, especially in the early stages of hardening, as well as high-grade strength is achieved.

Keywords: mechanochemical activation, cement slurry

В последнее время широко применяются различные методы активации вяжущего и сырьевых компонентов для улучшения физико-механических характеристик цементных композитов [1]. Одним из таких направлений является механохимическая активация (МХА) вяжущего.

Повысить активность вяжущих композиций можно с помощью разработанной авторами установки [2], которая позволяет доизмельчать и активировать вяжущее, что приводит в итоге к существенному повышению прочности строительных композитов.

В большинстве случаев МХА вяжущего производится в мельницах или измельчителях различного типа с добавлением или без использования модифицирующих добавок. Разработка роторно-пульсационных аппаратов (РПА) привела к возможности активировать цемент совместно с водой затворения, т.е. цементно-водную суспензию [3, 4]. Однако в связи с недостаточностью изученностью вопросов структурообразования и гидратации активированных цементных систем, затрудняется широкое использование РПА в технологии бетонных и железобетонных изделий.

Нами определены физико-механические свойства цементных растворов и бетонов, в технологии получения которых использовалась МХА вяжущего в РПА 0.8-55А-2.2УЗ, производимого по ТУ 5132-001-70447062.

Для эксперимента использовался портландцемент ЦЕМ III/А 32,5Н Ульяновского завода, отвечающий требованиям ГОСТ 31108-2003, обогащенный песок Камского месторождения с модулем крупности 2.7, щебень гранитный фракции 5-20 мм. В качестве модифицирующей добавки использовался нафталинформальдегидный суперпластификатор Реламикс Т-2, производимый по ТУ 5870-002-14153664-04 в количестве 1% от массы цемента.

Изучено влияние МХА цементной суспензии на физико-механические свойства тяжелого бетона в присутствии добавки Реламикс Т-2.

Эксперимент проводили следующим образом: предварительно 50 % расчетного количества цемента перемешивали с водой затворения, содержащей суперпластификатор Реламикс Т-2 в количестве 1% от общей массы цемента и далее цементную суспензию подвергали МХА в РПА в течение 2 мин. Затем в полученную суспензию добавляли оставшуюся часть цемента, крупный и мелкий заполнитель и перемешивали в бетоносмесителе в течение 5 минут. Для исследования принят следующий состав бетонной смеси кг/м^3: цемент 490, песок 555, щебень 1315. Расход воды корректировался из условия обеспечения равной подвижности бетонной смеси (осадка конуса 7-9 см) во всех составах. Испытаниям подвергались образцы – кубы с ребрами 10 см. Результаты испытаний приведены в таблице.

№ п/п	Дозировка добавки, %	Время МХА, мин	В/Ц	Сред. плот. бетона кг/м^3	Прочность бетона при сжатии, МПа		
					1 сут.	3 сут.	28 сут.
1	-	-	0,42	2420	8,13* / 100%	23,2* / 100%	42,8* / 100%
2	1	-	0,31	2472	15,0 / 185%	39,2 / 169%	59,8 / 140%
3	1	2	0,31	2492	28,4 / 349%	59,4 / 256%	71,2 / 166%

Примечание*: над чертой приведено среднее значение показателя; под чертой – относительное значение показателя в процентах от контрольного.

По результатам, приведенным в табл. 1, видно, что применение добавки Реламикс Т-2 (состав № 2) приводит к повышению прочности бетона в суточном возрасте на 85 % (с 8,1 до 15 МПа), в возрасте 3 суток – на 69 % (от 23,2 до 39,2 МПа), а в возрасте 28 суток – на 40 % (от 42,8 до 59,8 МПа) по сравнению с контрольным составом. Повышение прочности бетона сопровождается повышением плотности (на 2 %) во все сроки твердения.

Еще более существенный прирост прочности бетона на сжатие обеспечивается с использованием МХА цементной суспензии в присутствии добавки Реламикс Т-2 (состав № 3). В этом случае прирост прочности бетона на 1 сутки твердения составляет 249 % (от 8,1 до 28,4 МПа), на 156 % на 3 сутки твердения (от 23,2 до 59,4 МПа) и на 66 % – в возрасте 28 суток (от 42,8 до 71,2 МПа). Повышение прочности бетона сопровождается повышением его плотности на 3 % по сравнению с контрольным составом.

Таким образом, эффективность диспергации цемента в роторно-пульсационном аппарате существенно повышается в присутствии суперпластификатора: увеличивается плотность бетона, резко возрастает прочность бетона, особенно в первые сутки нормально-влажностного твердения, что вероятно связано со спецификой формирования микроструктуры цементного камня в бетоне.

Список литературы

1. Морозов Н.М., Степанов С.В., Хозин В.Г. Ускоритель твердения бетона на основе гальванического шлама // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 8 (34). С. 67-71.

2. Уваров В.А., Шаптала В.Г., Шаптала В.В., Овчинников Д.А. Новое направление механоактивации цемента // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 3. С. 68-73.

3. Qian J., Shi C., Wang Z. Activation of blended cements containing fly ash // Cement and Concrete Research. 2001. Vol. 31. No 8. P. 1121-1127.

4. Родионов Р.Б. Инновационные разработки роторно-пульсационной техники для производства строительных материалов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2006. №4. С. 24-25.

УДК 631.33

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПУТЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДИСПЕРГАЦИИ ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА

Р. А. Ибрагимов*, А. М. Кадирова*

** Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, Казань*

Рассматривается возможность применения ультразвуковой диспергации цементного теста при приготовлении цементных растворов. Показано, что применение ультразвуковой диспергации позволяет повысить физико-механические показатели цементных растворов.

Ключевые слова: ультразвуковая диспергация, цементное тесто

IMPROVING ENERGY EFFICIENCY BY ULTRASONIC DISPERSION OF CEMENT PASTE

R. A. Ibragimov*, A. M. Kadirova*

** Kazan state architectural and construction university, Russia, Kazan*

The article discusses the possibility of using an ultrasonic dispersion of the cement paste in the preparation of cement mortars. It is shown that the use of ultrasonic dispersion increases the physical and mechanical properties of cement mortars
Keywords: ultrasonic dispersion of, the cement paste

Одним из путей решений проблемы повышения энергоэффективности производства в технологии бетона является активация сырьевых компонентов, в первую очередь цемента. Например, активация цемента при помощи ультразвукового воздействия позволяет получить существенный прирост прочности бетона [1-4] или снизить расход цемента.

В данной статье приводятся результаты исследования влияния ультразвуковой обработки (УЗО) цементного теста на сроки схватывания теста и физико-механические свойства цементного раствора. Исходная вода соответствует ГОСТ 2874-82.

Ультразвуковую обработку цементного теста проводили с помощью ультразвукового прибора УЗГ13-0,1/22, мощность воздействия варьировалась от 0 до 92 Вт, частота пьезокерамического преобразователя составляла 22 кГц.

В работе использовали гиперпластификаторы «Гиперлит» и «Remicrete-SP60». Добавка «Гиперлит» производится компанией ООО «Сван», представляет собой сополимер на основе полиоксиэтиленовых производных ненасыщенных карбоновых кислот, содержание сухого вещества 30-35 %. Оптимальная дозировка 0,9-1,5 % от массы цемента.

«Remicrete-SP60» – сополимер на основе полиэфиркарбоксилатов, плотность водного раствора 1,09 г/см^3, имеет сертификационный номер: 0764-CPD-0012 (согласно EN 934-2:2001). Производится немецкой компанией «Шомбург». Оптимальная дозировка 1% от массы цемента.

Исследование влияния УЗО цементного теста выполнялось на портландцементе Вольского завода ПЦ400 Д20. Сравнивались составы, обработанные при различной мощности и времени ультразвукового воздействия. Водоцементное отношение составов составило 0,42.

Во второй серии опытов ультразвуковому воздействию подвергалось пластифицированное цементное тесто постоянной подвижности. В качестве пластификаторов использовались добавки «Гиперлит» и «Remicrete SP-60» в оптимальных дозировках.

Результаты исследований, приведенные в табл. 1, свидетельствует о значительном влиянии продолжительности ультразвукового воздействия на сроки схватывания пластифицированного цементного теста.

С увеличением продолжительности ультразвукового воздействия наблюдается сокращение времени начала и конца схватывания цементного теста, модифицированного как добавкой «Гиперлит», так и добавкой Remicrete SP-60, при этом наиболее интенсивное сокращение сроков схватывания (на 63-67 %) происходит в случае применения добавки «Гиперлит». Это обусловлено тем, что данная добавка, даже без ультразвукового воздействия сокращает сроки начало схватывания теста с 440 мин до 330 мин, в то время как добавка Remicrete SP-60 увеличивает сроки схватывания на 12-18 % по сравнению с контрольным составом.

Исследовано влияние ультразвуковой активации пластифицированного цементного теста на физико-механические свойства цементного раствора состава 1:3.

Таблица 1 – Влияние интенсивности ультразвукового воздействия на сроки схватывания пластифицированного цементного теста

№ п/п	Вид и дозировка добавки, %		Время УЗВ, мин	Мощность, Вт	t° С	В/Ц	Начало схватывания, мин	Конец схватывания, мин
	Гиперлит	Remicrete SP-60						
1	-	-	-	-	22,0	0,42	440	510
2	1,25	-	-	-	22,1	0,31	330	505
3	1,25	-	3	92	25,7	0,31	320	390
4	1,25	-	5	92	31,1	0,31	290	380
5	1,25	-	7	92	42,3	0,31	275	340
6	-	1	-	-	22,2	0,3	520	570
7	-	1	3	92	26,4	0,3	460	550
8	-	1	5	92	33,0	0,3	380	440
9	-	1	7	92	45,7	0,3	330	390

Испытания выполнялись в соответствии с методикой ГОСТ 310.4-81, при этом расплыв конуса составил 106-108 мм. В качестве вяжущего применялся портландцемент Вольского завода ПЦ400 Д20, а в качестве мелкого заполнителя - песок Камско-Устьинского месторождения с модулем крупности 2,7. Результаты эксперимента приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Влияние гиперпластификаторов и ультразвуковой обработки на физико-механические свойства цементного раствора

№ п/п	Вид и дозировка добавки, %		Время диспергации, мин	Мощность, Вт	В/Ц	Прочность при изгибе, МПа		Прочность при сжатии, МПа	
	Гиперлит	Remicrete SP-60				2 сут.	28 сут.	2 сут.	28 сут.
1	-	-	-	-	0,42	2,43	4,87	9,24	27,63
2	-	-	7	92	0,42	2,89	5,60	11,18	32,05
3	1,25	-	-	-	0,31	3,69	6,72	14,88	40,89
4	1,25	-	7	92	0,31	4,06	6,87	17,09	44,76
5	-	1	-	-	0,3	4,52	7,13	25,52	52,70
6	-	1	7	92	0,3	4,68	7,50	29,04	60,63

Из табл. 2 видно, что при введении в состав цементно-песчаного раствора данных гиперпластификаторов происходит снижение водоцементного отношения с 0,42 до 0,3-0,31, одновременно существенно повышается прочность раствора, как в ранние сроки твердения, так и в возрасте 28 суток. Так, в возрасте 2 суток нормального твердения прочность раствора с добавкой «Гиперлит» повышается на 52% при изгибе и на 38% при сжатии, в возрасте 28 суток – на 61% при изгибе и на 48% при сжатии.

При введении добавки «Remicrete SP-60» в оптимальной дозировке повышение прочности, как при изгибе, так и при сжатии значительно выше, чем в случае применения добавки «Гиперлит». Так, например, в возрасте 2 суток нормального твердения прочность раствора с добавкой «Remicrete SP-60» повышается на 85% при изгибе и на 46% при сжатии, а в возрасте 28 суток прочность раствора повышается на 186% при изгибе и на 91% при сжатии.

В случае если раствор приготовить на пластифицированном цементном тесте, подвергнутом ультразвуковой обработке, может быть получен дополнительный прирост прочности как в ранние сроки твердения, так и в проектном возрасте. Так, при ультразвуковой обработке цементного теста, пластифицированного добавкой «Гиперлит», прочность цементно-песчаного раствора в возрасте 2 суток дополнительно повышается на 15% при изгибе и на 13% при сжатии, а в возрасте 28 суток – на 24% при изгибе и на 14% при сжатии.

Еще более существенный прирост прочности раствора наблюдается, если ультразвуковой обработке подвергать цементное тесто, пластифицированное добавкой Remicrete SP-60. В этом случае дополнительный прирост прочности составит через 2 суток 17% при изгибе и 18% при сжатии, а через 28 суток – 38 и 28% соответственно.

Список литературы

1. Robler C., Stockigh M., Peters S., Ludwig H.-M. Power- ultrasound – an efficient method to accelerate setting and early strength development of concrete. F.A. Finger-Institute for building Materials Science, Bauhaus- University Weimar, Germany, 2009.

2. Daniel Peter Kennedy. A study to determine and quantify the benefits of using power ultrasound technology in a precast concrete manufacturing environment. Trinity College Dublin, 2012

3. Пат. РФ 2371414 С1. Бетонная смесь / Белов В.В., Кузнецов М.Ю., Брусов А.С.; Заявл. 03.04.2008, Опубл. 27.10.2009.

4. Изотов В.С., Ибрагимов Р.А. Влияние комплексной добавки на долговечность тяжелого бетона // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2011. №2 (16). С. 190-194.

УДК 691.33

ЦЕМЕНТНЫЕ КОМПОЗИЦИИ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ

Р. А. Ибрагимов*, В. С. Изотов*

** Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, Казань*

Рассматривается применение однослойных и многослойных углеродных нанотрубок в составе комплексной добавки при модификации цементных растворов. Показано, что наиболее существенное повышение физико-механических показателей цементного раствора достигается при применении однослойных углеродных нанотрубок

Ключевые слова: цементный раствор, углеродные нанотрубки

CEMENT COMPOSITIONS MODIFIED WITH CARBON NANOPARTICLES

R. A. Ibragimov*, V. S. Izotov*

** Kazan state architectural and construction university, Russia, Kazan*

The article discusses the use of single-walled and multi-walled carbon nanotubes in the complex additive for modifying cement mortars. It is shown that the most significant improvement of physico-mechanical properties of the cement slurry is achieved using single-walled carbon nanotube.

Keywords: mortar, carbon nanotubes

Одним из способов повышения эксплуатационных свойств тяжелого бетона является его модификация химическими добавками, особенно углеродными нанотрубками. На современном этапе развития нанотехнологий изучение свойств бе-

тона, модифицированного нанотрубками, представляет собой особый научный и практический интерес.

Для улучшения механических свойств цементных композитов рационально использовать вытянутые наночастицы, например углеродные нанотрубки (УНТ) [1]. Они обладают высокой прочностью, инертностью к кислотам и щелочам, армируют цементный камень и являются центрами кристаллизации, превращая его в высокопрочный материал [2].

В данной работе приведены исследования по влиянию УНТ на основные свойства цементно-песчаного раствора, который в принципе может служить моделью обычного тяжелого бетона. Растворную смесь состава 1:3 (цемент : песок) затворяли водопроводной водой, в которой предварительно размешивалась суспензия УНТ в водном растворе смеси гиперпластификатора (ГП) и гидрофобизатора (ГФ). Для обеспечения однородности данной суспензии все ее компоненты предварительно подвергались ультразвуковой диспергации. Время ультразвукового диспергирования составило 3.5 мин, мощность – 100 Вт, объем суспензии – 100 мл. В качестве ГП использовалась добавка Remicrete SP60 (на основе эфира поликарбоксилата), в качестве ГФ – Типром-С (55 % концентрат на основе алкилсиликоната калия). В составе комплексной добавки, содержащей ГП и ГФ, использовали однослойные УНТ «Таунит» с удельной геометрической поверхностью 90-130 $м^2/г$, и многослойные УНТ «Таунит-МД» с удельной геометрической поверхностью 180-200 $м^2/г$ производства ООО «НаноТехЦентр». Удельная поверхность определялась по многоточечному методу БЭТ.

Предварительными экспериментами определена оптимальная дозировка УНТ в составе цементных композиций, которая составила для однослойных УНТ 0.005 % от массы цемента, а для многослойных – 0.0005 % от массы цемента.

Изучено влияние исследуемых модификаторов как монодобавок, так и в составе комплексной добавки на физико-механические свойства цементного раствора. Экспериментальные работы выполнялись по методике ГОСТ 310.4-81 с использованием портландцемента ЦЕМ III/А 32.5Н Ульяновского завода. В качестве мелкого заполнителя использовался песок Камско-Устьинского месторождения с модулем крупности 2.7. Дозировка добавок принята в процентах от массы цемента. Результаты испытаний приведены в таблице.

Физико-механические свойства модифицированного цементного раствора

№ п/п	Дозировка добавок, %				В/Ц, %	Прочность при изгибе, МПа		Прочность при сжатии, МПа	
	ГП	ГФ	Однослойные УНТ	Многослойные УНТ		7 сут.	28 сут.	7 сут.	28 сут.
1	0	0	0	0	42* / 100%	4.19* / 100%	4.96* / 100%	30.17* / 100%	39.96* / 100%
2	1	0.1	0	0	32 / 76%	5.04 / 130%	5.76 / 126%	35.69 / 138%	44.90 / 122%
3	1	0	0	0	32 / 76%	5.67 / 135%	6.44 / 130%	33.95 / 142%	50.35 / 129%
4	1	0.1	0.005	0	32 / 76%	5.91 / 141%	6.74 / 136%	42.24 / 155%	51.95 / 146%
5	1	0.1	0	0.0005	32 / 76%	4.94 / 118%	5.90 / 119%	33.79 / 112%	47.95 / 119%

*Примечание: над чертой – численные показатели, под чертой – относительные показатели в процентах от контрольного.

Из таблицы видно, что при введении в цементный раствор добавки Remicrete SP60 (состав № 3) прочность при изгибе цементно-песчаного раствора через 7 суток нормального твердения повышается на 35 %, а через 28 суток – на 30 %, при сжатии увеличение прочности составляет 42 и 22 % соответственно по отношению к составу без добавок.

Цементно-песчаный раствор, модифицированный комплексной добавкой, где однослойные УНТ диспергированы в растворе ГП и ГФ (состав № 4), показывает наибольший прирост прочности. Так, прочность при изгибе на 7 и 28 сутки твердения повышается на 41 и 36 % соответственно, а при сжатии – на 55 и 46 % по сравнению с контрольным составом.

Модификация многослойными углеродными нанотрубками по сравнению с однослойными оказывает меньшее влияние на прочность цементного раствора как при сжатии, так и при изгибе (состав № 5).

Таким образом, для цементных растворов наиболее существенным является повышение прочности при модификации однослойными углеродными нанотрубками «Таунит» в составе рассматриваемой комплексной добавки.

Список литературы

1. Королев Е.В. Основные принципы практической нанотехнологии в строительном материаловедении // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2009. № 1. С. 66-79.

2. Модификация поризованных цементных матриц углеродными нанотрубками / Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Бурьянов А.Ф., Кодолов В.И., Крутиков В.А., Фишер Ф.Б., Керене Я. // Строительные материалы. № 3. 2009. С. 99-102.

УДК 693.547

ТЕХНОЛОГИЯ ЗИМНЕГО БЕТОНИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕРМОАКТИВНОЙ ОПАЛУБКИ

Д. Г. Имайкин*, Р. А. Ибрагимов*, А. Р. Сунгатуллина*

** Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, Казань*

Представлены результаты исследований температурных и прочностных показателей конструкций при прогреве в термоактивной опалубке. Также произведен анализ эффективности прогрева щитами термоактивной опалубки в морозильной камере с комплексной добавкой КРИОПЛАСТ П25-1 тип 2.

Ключевые слова: технология зимнего бетонирования, опалубка, нагреватели, комплексная добавка

TECHNOLOGY WINTER CONCRETING USING THERMOSETS SHUTTERING

D. G. Imaykin*, R. A. Ibragimov*, A. R. Sungatullina*

** Kazan state architectural and construction university, Russia, Kazan*

The results of investigations of temperature and strength characteristics in the design at warming thermosetting formwork. And also the analysis of efficiency of warming up is made by boards of a thermoactive timbering in the complex additive CRYOPLAST P25-1 type 2.

Keywords: Technology of winter concreting, timbering, heaters, complex additive

На сегодня запущены программы по обеспечению граждан России жильем, поэтому на строительный сегмент возложена серьезная задача - увеличение объемов строительства. Технологические процессы строительной отрасли подвержены влиянию многих факторов, а именно: изменению температурных и погодных условий, технических характеристик материалов и механизмов, изменению требований к качеству конструкций [1].

Монолитное строительство, являясь наиболее прогрессивной строительной технологией, занимает лидирующие позиции, как в промышленно-гражданском, так и в дорожно-мостовом строительстве [2]. И поэтому как один из вариантов реального выхода из сложившегося положения – широкое использование в жилищном строительстве монолитного домостроения.

В монолитном строительстве для сокращения сроков строительных процессов необходимо ускорить темп набора прочности уложенного бетона и сократить сроки его выдержки перед распалубкой. Для этого весьма эффективным являются использование методов прогрева с комплексными добавками.

Именно поэтому нами была разработана конструкция щита термоактивной опалубки. Для большей эффективности был проведен эксперимент прогрева с комплексной добавкой КРИОПЛАСТ П25 тип 2. За контрольный образец принят образец прогреваемый в греющей опалубки без использования добавок.

Для приготовления бетонной смеси использовался цемент марки М400, обогащенный песок Камского месторождения с модулем крупности 2,8 щебень фракции 5-20 мм, производимый из пород Саткинского месторождения (Челябинская область). Соотношение всех составляющих компонентов составило 1:1,4:3,1 (цемент: песок: щебень). Комплексная добавка вводилась в предварительно перемешанную бетонную смесь с оставшейся частью воды затворения незадолго до окончания перемешивания, что позволяло получить более пластифицирующий эффект. Дозировка добавки составила около 6% от массы цемента. При этом количество воды было подобрано таким образом, чтобы подвижность бетонной смеси соответствовала классу П2 по ГОСТ 7473-94. Водоцементное отношение образца с добавкой составила В/Ц=0,38, а образца без добавки В/Ц=0,5.

Бетонную смесь укладывалась в термоактивную опалубку (рис. 1) слоями и уплотнялась штыкованием. Далее осуществлялся прогрев бетонной смеси греющими проводами.

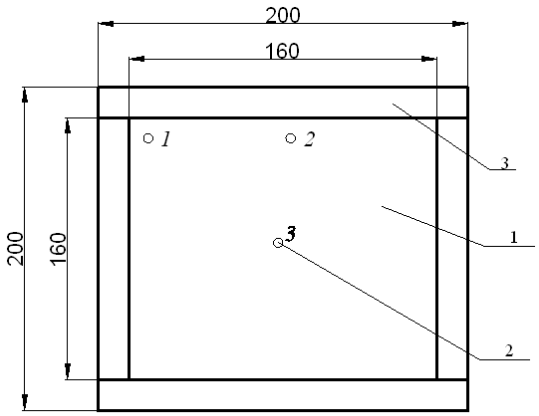


Рис. 1. Конструкция опалубки
1 – бетонная смесь; 2 – термопара; 3 – опалубка

Образцы помещались в морозильную камеру при температуре -18°С на 1, 3, 7, 28 суток. При этом первые десять часов после помещения бетонной смеси в морозильную камеру в образцах поддерживалась положительная температура около 16 °С. Для определения значения температуры внутри бетонной смеси использовался измерительный комплекс термохрон, который был установлен в углу, в центре и около середины стенки греющей опалубки. Полученные результаты занесены в табл. 1.

Таблица 1 – Распределение температурных полей внутри бетона

Время прогрева, ч	Температура внутри бетона, градусы		
	Стенка	Центр	Угол
1	17	15,5	17
2	17	15,5	16,5
3	16,5	15,5	16,5
4	16,5	15,0	16,5
5	16,5	15,0	16,5
6	16,5	15,0	16,0
7	16,5	15,0	16,0
8	16,5	15,0	16,0
9	16,0	15,0	16,0
10	16,5	15,0	15,5

Термоактивная опалубка представляет собой коробчатую конструкцию, состоящую из щитов ламинированной фанеры толщиной 20 мм с встроенными в опалубку проводами марки ПНСВ-1,2 (рис. 2). Общий размер конструкции 200×200 мм, высотой 200 мм.

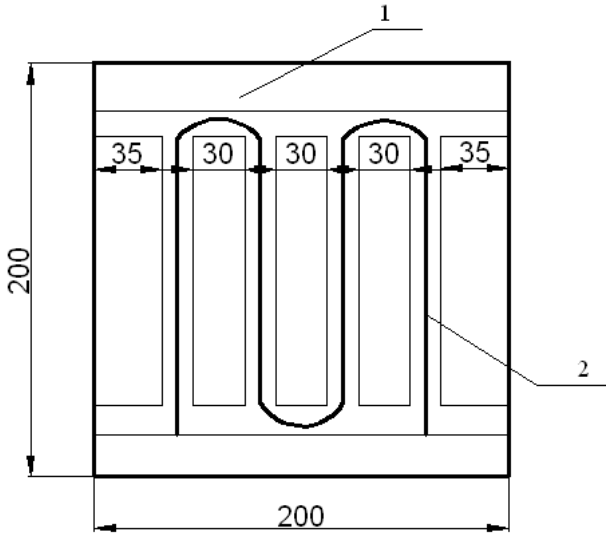


Рис. 2 – Конструкция щита опалубки
1 – опалубка; 2 –нагревательный элемент

Определены прочностные показатели испытываемых образцов (табл. 2).

Таблица 2 – Показания термопар в зависимости от времени прогрева

Название добавки	Прочность при сжатии (МПа) бетона в возрасте, сут.			
	1	3	7	28
Без добавки	6,24	14,9	24,3	31,1
	100%	100%	100%	100%
КРИОПЛАСТ П25 тип 2	6,9	18,0	33,3	48,8
	110%	121%	137%	157%

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Разработана конструкция щита термоактивной опалубки, позволяющая бетонировать строительные конструкции в зимних условиях.

2. По результатам проведенного эксперимента самая низкая температура наблюдаются в центре опалубки.

3. Бетон с комплексной добавкой Криопласт п-25 тип 2 имеет прочность на сжатие выше на 57% по сравнению с контрольным образцом.

Список литературы

1. Гныря А.И., Коробков С.В. Технология бетонных работ в зимних условиях. Томск: Изд-во ТГАСУ, 2011. 412 с.

2. Садович М.А. Методы зимнего бетонирования в условиях севера. Братск, 2009. 104 с.

УДК 691.327:666.97

КОМПЛЕКСНАЯ ДОБАВКА ДЛЯ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ

Р. Р. Кашапов*, Р. А. Зиянгиров*, Н. М. Красиникова*, И. В. Боровских*

** Казанский государственный архитектурно-строительный университет*

Россия, Казань, ramires120490@mail.ru

Рассмотрено влияние комплексной добавки на физико-механические свойства бетонной смеси и бетона. В составе комплексной добавки содержится пластификатор на поликарбоксилатной основе и добавки-ускорители. Показано, что при использовании разработанной добавки, происходит снижение водоредуцирующего эффекта, повышение призменной прочности и прочности на осевое сжатие.

Ключевые слова. Комплексная добавка, бетонная смесь, бетон, пластификатор, добавка-ускоритель, призменная прочность

COMPLEX ADDITIVE FOR CEMENT CONCRETE

R. R. Kashapov*, R. A. Ziyangirov*, N. M. Krasinikova*, I. V. Borovskikh*

** Kazan State University of Architecture and Engineering*

Russia, Kazan, ramires120490@mail.ru

Influence of a complex additive on physicomechanical properties of concrete mix and concrete is considered. As a part of a complex additive softener on a policarboxilated basis and additives accelerators contains. It is shown that when using of the developed additive, there is a decrease in the water reducing effect, increase of prismatic durability and durability on axial compression.

Keywords: complex additive, concrete mix, concrete, softener, additive accelerator, prismatic durability

Повышение эффективности, и качества бетона является весьма актуальной проблемой и в полной мере не может быть успешно решена без использования в технологии бетона химических добавок

Опыт применения добавок в бетон показывает, что во многих практически важных случаях наиболее перспективными являются комплексные добавки [1,2]. Основные преимущества многокомпонентных добавок в общем случае выражаются в том, что однокомпонентные добавки часто наряду с положительным оказывают и отрицательное влияние на свойства бетонов, что снижает их эффективность. Например, применение пластифицирующих добавок позволяет значительно повысить подвижность бетонных и растворных смесей, однако, в то же время, они могут вызвать недопустимое снижение прочности бетона [3]. Для устранения недостатков, присущих простым пластификаторам, была разработана комплексная добавка, представляющая собой смесь гиперпластификатора с ускорителями твердения, один из которых является отходом производства.

Целью экспериментального исследования является определение влияния разработанной комплексной добавки на свойства бетона.

Испытания проводились на тяжелом бетоне по ГОСТ 30459-2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов». В качестве основных компонентов бетонной смеси использовались материалы: портландцемент ЦЕМ I 42,5Б (ОАО «Мордовцемент»), крупный заполнитель-щебень (фракции 10-20 мм), мелкий заполнитель – кварцевый песок (Мк=2,7).

В качестве гиперпластификатора использовали Melflux 2651F. Ускорителями являются нитрат натрия, и отход производства – содосульфатная смесь (ССС). Эффективности комплексной добавки была проверена на тяжелом бетоне по ГОСТ 24211-2008.

Результаты влияние комплексной добавки на свойства бетонной смеси и бетона приведены в таблице. Видно, что добавление комплексной добавки не привело к существенному изменению плотности и воздухововлечения бетонной смеси. Для оценки прочности на сжатие были изготовлены образцы 10×10×10 см.

Влияние добавки на свойства бетонной смеси и бетона

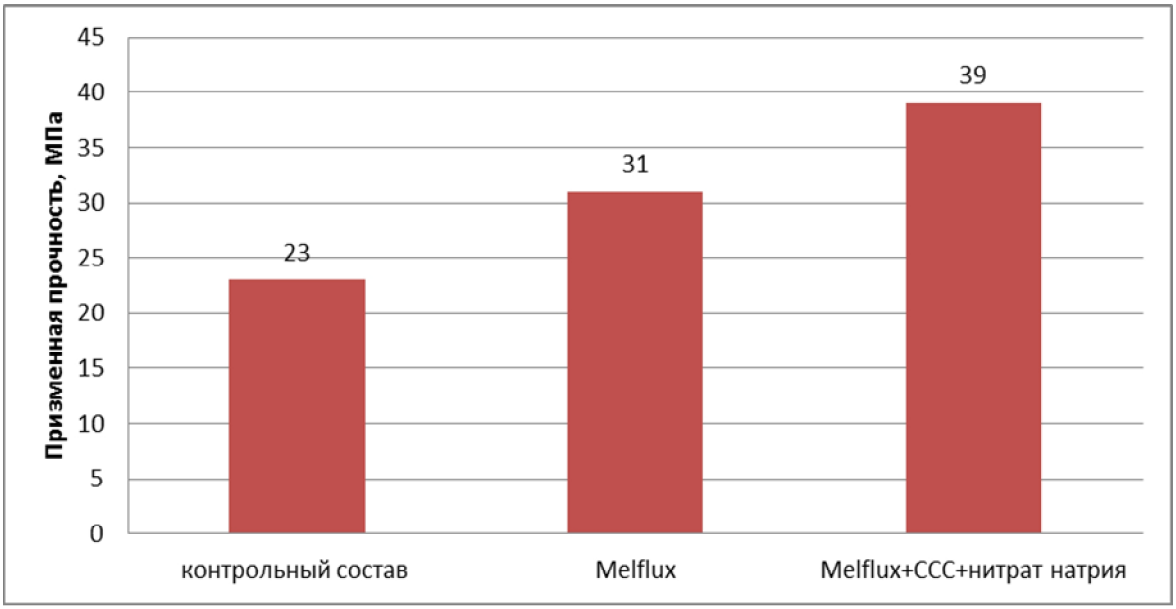
№ состава	1	2	3	4	5
Цемент, кг	350	350	350	350	350
Песок, кг	850	850	850	850	850
Щебень, кг	1050	1050	1050	1050	1050
Наименование добавки	-	Melflux	Melflux +ССС	Melflux + $NaNO_3$	Melflux+ССС+ $NaNO_3$
Дозировка добавки, %	-	0,3	0,8	0,8	1,3
В/Ц	0,59	0,41	0,42	0,42	0,42
Осадка конуса, см	12	14	13	13	13
Плотность бетонной смеси, кг/м^3	2522	2510	2506	2500	2510
Воздухововлечение бетонной смеси, %	3,5	3,8	4,2	4,5	4,1
Прочность на сжатие через 1 сутки, МПа	14 (0)	16 (14%)	22 (60%)	24 (67%)	34 (142%)
Прочность на сжатие через 3 сутки, МПа	22 (0)	30 (36%)	34 (54%)	35 (59%)	44 (101%)
Прочность на сжатие через 28 суток, МПа	31 (0)	44 (42%)	47 (52%)	48 (55%)	56 (78%)

Из таблицы видно, что применение комплексной добавки – суперпластификатора Melflux + CCC+ $NaNO_3$ приводит к снижению водоцементного отношения на 40%, что способствует ускорению процесса набора прочности бетона в 1-е сутки твердения на 142%, на 28 сутки – 78% от контрольного состава.

Для расчета железобетонных конструкций используют также значение призменной прочности бетона. Были проведены испытания призменной прочности по ГОСТ 24452-80 «Бетоны. Методы определения призменной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона».

Призменную прочность определяли на образцах-призмах 10×10×40 см. Испытания образцов из тяжелого бетона проводили через 28 суток.

Из рисунка видно, что призменная прочность бетона в возрасте 28 суток нормального твердения, при введении комплексной добавки, повысилась на 70% от контрольного состава.



Призменная прочность бетона с использованием комплексной добавки

Разработанная комплексная добавка приводит к повышению прочностных характеристик в ранние сроки твердения и в возрасте 28 суток. Это позволяет существенно сократить продолжительность процесса изготовления железобетонных изделий.

Список литературы

1. Морозов Н.М., Хозин В.Г., Мугинов Х.Г. Особенности формирования структуры модифицированных песчаных бетонов // Строительные материалы. 2010. № 9. С. 72-73.

2. Касторных Л.И. Добавки в бетоны и строительные растворы: учеб.-справ. пособие. Ростов н/Д.: Феникс, 2007. 221 с.

3. Опыт внедрения мелкозернистых бетонов при производстве дорожных плит / Красиникова Н.М., Морозов Н.М., Боровских И.В., Хозин В.Г. // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 7. С. 46-54.

УДК 691.316

«ЗЕЛЕНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ» СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА

Г. В. Кузнецова*, Н. Н. Морозова*, А. А. Короткова*
** Казанский государственный архитектурно строительный университет,*
Россия, Казань, Kuznetzowa.gal@yandex.ru

Предложено использование «формовочной земли» – отхода литейного производства в технологии силикатного кирпича в качестве кремнеземистого компонента. Исследованием фракционного состава отхода установлено его соответствие группе мелкого песка. Частичная замена (10-20%) речного песка на отход приводит к повышению сырцовой и автоклавной прочности, а полная замена – к повышению сырцовой, но снижению автоклавной прочности, при этом обеспечивается прочность не менее М150.

Ключевые слова: отходы, кирпич силикатный, сырцовая прочность, фракционный состав

«GREEN TECHNOLOGIES» SILICATE BRICK

G. V. Kuznetsova*, N. N. Morozova*, A. A. Korotkova*
** Kazan State Architecture and Construction University,*
Russia, Kazan, Kuznetzowa.gal@yandex.ru

Suggested the use of «molding the earth» – foundry waste sand-lime bricks in the technology as a silica component. Study of the fractional composition of the waste found to comply with the group of fine sand. Partial replacement (10-20%) of river sand on waste leads to higher raw strength and autoclave, and a complete replacement - to an increase in raw, but decrease the strength of the autoclave, while ensuring the strength of not less than the M150.

Keywords: waste, silicate brick, raw strength, fractional compositio

Правительство большее внимание уделяет развитию жилья эконом-класса. По утвержденной государственной программе обеспечения граждан Российской Федерации доступным и комфортным жильём планируется расширение доли жилья эконом-класса до 43% в 2015-м и до 55% в 2020-м годах. В ближайшие годы жилищное строительство в России будет продолжать восходящий тренд [1].

Силикатный кирпич известен своими уникальными эксплуатационными качествами, представляющими огромную ценность для строительства прочного и надежного дома. Он может применяться как основной строительный, так и облицовочный для возведения стен, прежде всего, в строительстве многоквартирных домов, общественных центров, больниц и социального жилья.

В России ежегодно образуется около 7 млрд. тонн отходов. Используется же лишь около 2 млрд. тонн, или 28% от общего объёма. В связи с этим в отвалах и шламохранилищах страны накоплено около 80 млрд. тонн только твердых отходов. Под полигоны для их хранения ежегодно отчуждается около 10 тыс. га пригодных для сельского хозяйства земель [4].

Известно, что отходами литейного производства машиностроительной промышленности, по физико-механическим свойствам приближающиеся к супеси являются пески формовочные горелые или, второе их название, земля формовочная. Эти отходы образуются в результате применения способа литья в песчаные формы. Часть формовочной земли пускают для повторного использования в наполнительную смесь, остальное отправляют в отвал. Формовочная земля – сыпучий материал темно-коричневого цвета с дисперсностью частиц не более 100 мм и влаж-

ностью не более 10%. Их вещественный состав преимущественно представлен кварцевым песком (85%), бентонитами (10 %) и карбонатными добавками (до 5%). Поэтому этот материал представляет интерес в производстве силикатного кирпича для стен ограждения, к которым не предъявляются требования по цвету.

В связи с этим были проведены исследования с целью расширения сырьевой базы, утилизации отходов производства и получения требуемых физико-механических свойств готового продукта.

Формовочная земля для автоклавной технологии представляет интерес в том, что она сложена из высокопрочных зерен кремнезема и должна обеспечит хорошее сцепление с цементирующей пленкой с образованием гидросиликатов.

На первом этапе работы проведен анализ фракционного состава двух проб формовочной земли и традиционно используемого – речного песка. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристика фракционного состава использованных материалов

Остатки на ситах, %	Номер сита						$М_{кр.}$
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	менее 0,16	
Формовочная земля – проба 1							
Частные остатки на сите	2,25	1,75	13,0	54,25	23,75	5,0	1,89
Полные остатки на сите	2,25	4,0	17,0	71,25	95	100	
Формовочная земля – проба 1							
Частные остатки на сите	0	0,2	4,0	66,8	26,6	2,4	1,73
Полные остатки на сите	0	0,2	4,2	71,0	97,6	100	
Песок строительный (речной)							
Частные остатки на сите	0	0,2	0,3	39,2	57,8	2,5	1,37
Полные остатки на сите	0	0,2	0,5	39,7	97,5	100	

Как видно из табл. 1, формовочная земля проба 1 и 2 согласно требованиям ГОСТ 8736-93 относится к группе мелких, а речной песок – к группе очень мелких. Известно, что плотность прессованной упаковки зависит от соотношения размеров зерен и их количества. Опыт зарубежных изготовителей силикатных материалов используют заполнители, состоящие из нескольких фракций. Поэтому, формовочная земля по фракционному составу может быть использована в качестве заполнителя кремнеземистого компонента.

На втором этапе работы была изготовлена серия образцов по традиционной технологии с использованием известково-кремнеземистого вяжущего активностью 32 % и с содержанием вяжущего в смеси 25 % [3]. Для этого изготавливали образцы – цилиндры диаметром и высотой 60 мм, при усилии прессования 20 МПа. Изготовленные образцы подвергали испытанию сразу после прессования и после запаривания в промышленном автоклаве при давлении 0,9 МПа. Полученные результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Свойства прессованных образцов

Количество добавки, %	Вид формовочной земли					
	проба 1			проба 2		
	прочность на сжатие, МПа		плотность, кг/м^3	прочность на сжатие, МПа		плотность, кг/м^3
	сырцовая	автоклавная		сырцовая	автоклавная	
0	4,0	21,1	1946	4,0	21,1	1946
10	4,7	22,4	1979	4,4	21,4	1956
20	5,3	21,5	1990	4,6	19,4	1979
40	5,9	18,3	2010	5,0	18,1	1983
100	6,8	17,6	2040	5,9	16,6	1990

Как видно из табл. 2, введение формовочной земли пробы 1 взамен речного песка приводит к увеличению сырцовой прочности на 65%, но снижает автоклавную прочность на 15%; тогда как введение пробы 2 способствует увеличению сырцовой прочности на 47%, а автоклавную снижает на 21%. Для получения равнопрочных силикатных материалов количество формовочной земле пробы 1 должно быть не более 20%, а пробы 2 – не более 10%. С целью получения силикатного кирпича с маркой М150 количество формовочной земли может быть увеличено до 40%.

Таким образом, технология силикатного кирпича, являясь «зеленой технологией», может решать крупные социальные и экологические задачи в области эффективной утилизации твердых промышленных отходов.

Список литературы

1. Лаврентьев А.А. Результаты развития строительного комплекса Краснодарского края за 2012 год // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2013. № 2. С. 14-15.

2. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные материалы из отходов промышленности. Ростов н/Д.: Феникс, 2007. 368 с.

3. Кузнецова Г.В. Особенности помола известково-кремнеземистого вяжущего в производстве силикатных материалов // Строительные материалы. 2011. № 9. С. 14-16.

УДК 691.31

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОПРОЧНЫХ ТАКТИЛЬНЫХ ПЛИТ ДЛЯ БЛАГОУСТРОЙСТВА ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Л. В. Лукманова*, Р. Х. Мухаметрахимов*

** Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, Казань, lilya0503199@gmail.com*

В рамках реализации программы «Доступная среда» в РТ, которая призвана обеспечивать создание комфортных условий для людей с ограниченными возможностями, строительная отрасль занимается выпуском и установкой тактильных плит. Обследование технического состояния тактильных плит, установленных в г. Казани показало, что применяемые изделия имеют многочисленные дефекты и повреждения, их установка часто не соответствует требованиям ГОСТ Р 52875-2007. Показано, что модификация структуры тактильных плит органоминеральной

добавкой и введением в состав высокопрочных волокон позволяет существенно повысить их прочность и стойкость по отношению к внешним воздействиям окружающей среды.

Ключевые слова: тактильные плиты, повышение прочности, минеральные добавки, химические добавки

THE DEVELOPMENT OF HIGH-STRENGTH TACTILE GROUND INDEXES FOR INVALIDS ON SIGHT FOR IMPROVEMENT OF URBAN AREAS

L. V. Lukmanova*, R. K. Mukhametrakhimov*

** Kazan state university of architecture and engineering,*
Russia, Kazan, lilya0503199@gmail.com

The construction sector is producing and establishing tactile ground indexes within the program «Available environment» in the Republic of Tatarstan, which intends to provide comfortable conditions for the persons with disabilities. The survey of technical state of the tactile ground indexes established in Kazan, showed that they have a lot of different defects and damages and their installation has not been made according to Technical requirements «GOST R 52875-2007». It was showed that modification of structure tactile grounds indexes with organomineral additives and introduction of high-strength fiber into the structure allows for a significant increase their strength and resistance against environmental factors.

Keywords: tactile ground indexes, increased strength, mineral additives, chemical additives

Тактильные плиты – это наземные указатели тактильного типа, необходимые инвалидам по зрению для их самостоятельной ориентации на городских дорогах и улицах. Определенные характеристики таких плит призваны информировать эту категорию людей о маневрировании маршрутов в самых разнообразных местах города. Кроме того тротуарные тактильные плиты используется в качестве эффективного средства обозначения информационных полос на тротуарах на участках пешеходных переходов, являются удобным указателями подземных и наземных переходов возле перекрестков и оживленных дорог.

Требования к тактильным дорожным указателям, применяемым на улице, и к тактильным напольным указателям, используемым в зданиях изложены в ГОСТ Р 52875-2007 [1]. Указатели должны предоставлять инвалидам по зрению необходимую и достаточную информацию, способствующую самостоятельной ориентации в инфраструктуре городов, микрорайонов, поселков и других населенных пунктов, в том числе на дорогах и в общественных зданиях.

Наземные тактильные указатели должны соответствовать требованиям СНиП 35-01-2001 [2]. Основные формы рифления поверхности представлены на рис. 1-4.

В настоящее время тактильные плиты для инвалидов по зрению изготавливают из бетона, полимерных материалов, природного или керамического гранита. Но в основном для благоустройства городской среды используются тактильные плиты из бетона, так как они относительно не дорогие и могут изготавливаться на предприятиях стройиндустрии.

К недостаткам тактильных плит из бетона следует отнести относительно не высокую прочность, хрупкость и склонность к разрушению от внешних воздействий окружающей среды.

Результаты обследования технического состояния бетонных тактильных плит в г. Казани показали, что тактильные плиты, установленные на пешеходных улицах города часто не соответствуют требованиям [1, 2] и, следовательно, они не

способны реализовать свои эксплуатационные возможности в полной мере. Кроме того значительная часть обследованных тактильных плит имеет дефекты и повреждения в виде сколов, трещин.

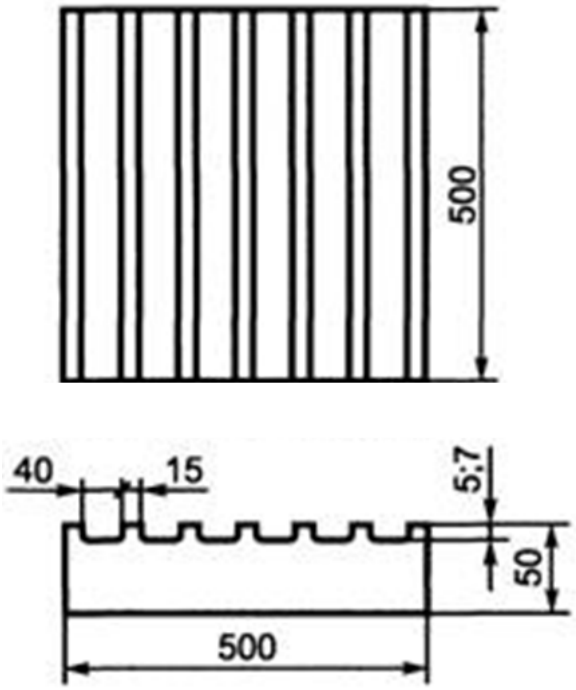


Рис. 1. Форма рифления
с продольными рифами

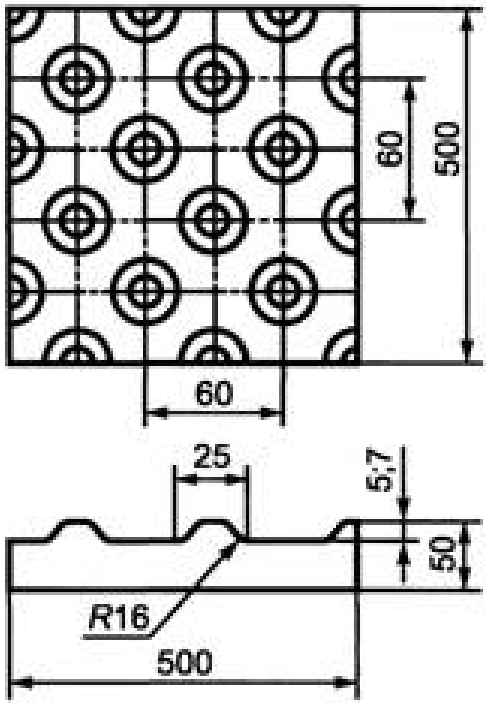


Рис. 2. Форма рифления
с конусообразными рифами

Назначение, размеры, форма рифления и место расположения тактильных дорожных указателей приведены в табл. 1.

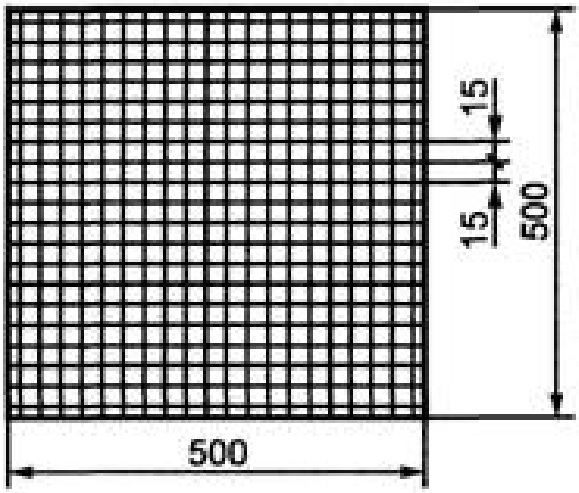


Рис. 3. Форма рифления
с квадратными рифами

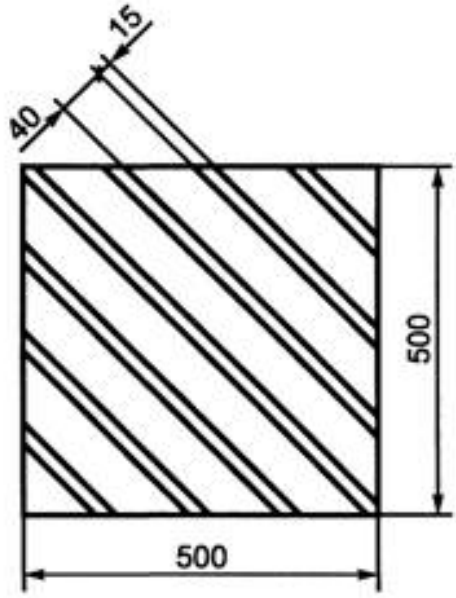


Рис. 4. Форма рифления с рифами,
расположенными по диагонали
(левая диагональ)

Таблица 1 – Требования к размерам, форме рифления
и расположению тактильных плит в зависимости от их назначения

Назначение	Размеры	Форма рифления	Расположение
Внимание, подземный переход	Полоса шириной 500 или 600 мм и длинной, равной ширине перехода, выложенная на тротуаре перед началом перехода	С конусообразными рифами	На расстоянии 800 мм от кромки первой ступени лестницы
Внимание, наземный переход	Полоса шириной 500 или 600 мм и длинной, равной ширине перехода, выложенная на тротуаре перед началом перехода	С продольными рифами	На расстоянии 800 мм от кромки проезжей части
Внимание, наземный переход под углом 90 градусов	Две полосы шириной 500 или 600 мм и длинной, равной ширине перехода, выложенные на тротуаре с двух сторон перед поворотом на переход	С диагональными рифами	На расстоянии 800 мм от линий, являющихся продолжением кромки перехода
Внимание, светофор	Квадрат, выложенный вокруг мачты светофора и состоящий из 4 плит со стороной плитки, равной 500×500 мм	С квадратными рифами	Вокруг мачты светофора в обхват
Внимание, препятствие	Полоса, выложенная по контуру препятствия, шириной 500 мм	С квадратными рифами	На расстоянии 800 мм от препятствия
Внимание, поворот налево (направо)	Плита со стороной квадрата, равной 500×500 мм	С рифами, расположенными по диагонали	На месте поворота

Процесс разрушения происходит не единовременно, а в первую очередь затрагивает выступающие части бетонного тактильного указателя. И уже через небольшой промежуток времени тактильный эффект исчезает, превращая тем самым первоначальное изделие в обычную плиту. Эстетичный вид в процессе разрушения теряет свою привлекательность.

Помимо всего сказанного, тактильные плиты постоянно испытывают значительные нагрузки, как от транспорта, так и от пешеходов. Кроме того, негативное воздействие на тактильные плиты оказывают химические реагенты, используемые для обработки дорожных покрытий в зимнее время.

Вышеперечисленные эксплуатационные факторы определяют повышенные требования к прочности, долговечности и стойкости материала к агрессивным средам.

Определяющими свойствами тактильных плит, позволяющими определить надлежащую стойкость материалов, которая обеспечит заданный (нормативный) срок службы является – прочность, морозостойкость, атмосферостойкость, водостойкость и декоративные качества. Поэтому в качестве показателей эксплуатационных нагрузок приняты – пределы прочности при изгибе и сжатии, ударная вязкость. В качестве показателей воздействия окружающей среды приняты – водопо-

глощение, морозостойкость, воздухостойкость, деформации усадки/набухания и коэффициент теплопроводности.

Исходную цементную матрицу при выполнении экспериментальных исследований армировали волокном. Модифицирование состава матрицы осуществляли разработанной органоминеральной добавкой, содержащей в своем составе в качестве активного минерального компонента – активированный метакаолин, в качестве основной органической добавки – кремнийорганическое соединение.

Известно, что модификация цементных композиций кремнийорганическими соединениями, содержащими активные функциональные группы, позволяет существенно улучшить комплекс их свойств и, в первую очередь, их стойкость, особенно при эксплуатации в суровых климатических условиях [3]. Кроме того, дисперсное армирование цементных композиций позволяет повысить комплекс эксплуатационных свойств получаемых изделий [4, 5].

В табл. 2 приведены сравнительные характеристики физико-механических свойств модифицированного состава матрицы для дисперсно-армированных тактильных плит по сравнению с исходным (контрольным).

Таблица 2 – Физико-механические характеристики матрицы для дисперсно-армированных композиций тактильных плит

Состав	Ср. плотность, кг/м^3	Относительный предел прочности при изгибе, %	Морозостойкость, циклы
Без добавок (контрольный)	1745	100	100
С органоминеральной добавкой	1780	187	300

На основании данных, представленных в табл. 2, можно сделать вывод о том, что дисперсно-армированные композиции для тактильных плит, модифицированные органоминеральной добавкой имеют предел прочности при изгибе на 87% выше по сравнению с контрольным. При этом морозостойкость увеличивается на 200 циклов. Существенное повышение вышеуказанных свойств становится возможным благодаря формированию более плотной и мелкокристаллической структуры материала.

На следующем этапе исследований полученную модифицированную цементную матрицу для тактильных плит армировали высокопрочным волокном (5-15%) и подвергали испытаниям на водопоглощение, деформации усадки/набухания, воздухостойкость, водостойкость и морозостойкость.

По результатам экспериментальных исследований по повышению эксплуатационных свойств и долговечности тактильных плит можно сделать вывод , что модификация структуры дисперсно-армированных тактильных плит способствует повышению их стойкости по отношению к воздействиям окружающей среды. Так водопоглощение снижается с 16 до 3%, морозостойкость увеличивается на 200 циклов, воздухостойкость – на 100 циклов, деформации усадки/набухания снижаются с 1,2 до 0,2 мм/м, коэффициент водостойкости увеличивается с 0,84 до 0,95.

Данный модифицированный состав может быть успешно внедрен при благоустройстве городской среды – на пешеходных улицах, в подземных переходах, на поверхностях напольных покрытий общественных зданий в г. Казани.

Список литературы

1. ГОСТ Р 52875-2007. Указатели наземные для инвалидов по зрению.
2. СНиП 35-01-2001. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения.
3. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. М.: Стройиздат, 1998. 768 с.
4. Рабинович, Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции. М.: Изд-во АСВ, 2004. 560 с.
5. Изотов В.С., Мухаметрахимов Р.Х., Сабитов Л.С. Экспериментальные исследования эффективности дисперсного армирования растянутой зоны бетонных изгибаемых элементов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2010. № 1 (17). С. 119-125.

УДК 691.5

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВА АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ ВЯЖУЩИХ НА ОСНОВЕ ПЕРЛИТА

Н. И. Кожухова*, Е. В. Фомина*, И. В. Жерновский*

** Белгородский технологический университет им. В.Г. Шухова,*
Россия, Белгород, kozhuhovanata@yandex.ru, fomina.katerina@mail.ru,
zhernovsky.igor@mail.ru

Изучены свойства алюмосиликатного вяжущего негидратационного типа твердения с использованием природного перлита. Установлена взаимосвязь влияния дисперсности перлитового сырья и молярного соотношения оксидов вяжущей системы Na_2O и Al_2O_3 на конечные фазово-структурные характеристики алюмосиликатных композитов.

Ключевые слова: вяжущее, алюмосиликатный компонент, синтез, цеолит, перлит, геополимеры

FEATURS OF STRUCTURE FORMATION AND PROPERTIES OF ALUMINOSILICATE BINDERS BASED ON PERLITE

N. I. Kozhukhova*, E. V. Fomina*, I. V. Zhernovsky*

** Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov,*
Russia, Belgorod, kozhuhovanata@yandex.ru, fomina.katerina@mail.ru,
zhernovsky.igor@mail.ru

Properties of non-hydration aluminosilicate binders based on natural perlite have been studied. As well as the influence of dispersity of perlite raw and molar ratio of Na_2O and Al_2O_3 oxides in to the system on final phase and structural characteristics of aluminosilicate composites has been established.

Keywords: binder, aluminosilicate component, synthesis, zeolite, perlite, geopolymers

В настоящее время цементная промышленность является основным поставщиком сырья для производства строительных материалов, и как прогнозируется в ближайшие 20-30 лет, бетон на основе цемента будет основным строительным материалом для возведения зданий и сооружений.

В то же время данное производство отличается значительной энергоемкостью и сопровождается негативным влиянием на окружающую среду. Одним из основных путей решения отмеченных проблем является разработка и использование алюмосиликатных вяжущих, к которым можно отнести геополимерные вяжущие, разработанные в 1970-х гг. [1].

Геополимеры представляют собой материалы строительного назначения, получаемые путем щелочной активации тонкодисперсных аморфных или кристаллических алюмосиликатных компонентов [2].

Среди достоинств геополимерных вяжущих следует отметить довольно развитую сырьевую базу, представляющую собой природные и техногенные материалы алюмосиликатного состава, в которых при варьировании химического состава имеет место возможность управления эксплуатационными свойствами получаемых вяжущих материалов [3].

Кроме того, материалы на основе геополимерных вяжущих обладают довольно высокими эксплуатационными характеристиками [4].

В качестве сырьевых материалов для производства бесцементных композитов используются алюмосиликатные материалы природного, а также техногенного происхождения. Среди наиболее распространенных природных источников сырья стоит отметить перлит, гранит, цеолит, каолинит, бентонит, монтмориллонит. К техногенному алюмосиликатному сырью следует отнести золы, шлаки, микрокремнезем, отвальный шлак, золы-уноса, гранулированный доменный шлак и т.д. [5-7].

Одним из ключевых компонентов, инициирующих процессы структурообразования в рассматриваемой системе является щелочной активатор. В роли щелочного активирующего компонента выступают: гидроксиды натрия, калия, лития, карбонат и метосиликат натрия [2].

По опыту зарубежных исследований существует возможность получения алюмосиликатных вяжущих негидратационного типа твердения с использованием природных сырьевых материалов [1]. В рецептурах щелочных композиционных вяжущих существует опыт применения алюмосиликатной породы – перлита, действие которого оказывает положительное влияние на фазо- и структурообразующую способность твердеющей системы.

Перлит относят к тонкодисперсному материалу с высоким содержанием аморфной составляющей, что позволяет прогнозировать наиболее перспективное его применение в качестве алюмосиликатного компонента при создании геополимеров. Это связано с тем, что механизм геополимеризационного процесса подразумевает активацию основного компонента в условиях сильной щелочной среды. Таким образом, одним из основных показателей реакционной активности минерального компонента является наличие рентгеноаморфной алюмосиликатной составляющей. Для активного процесса геополимеризации значение этого показателя должно составлять не менее 50 % от общего объема материала.

С целью определения пригодности перлитового сырья в качестве компонента для получения геополимерного вяжущего в данной работе использовался перлит Мухор-Талинского месторождения.

С помощью рентгенофазового анализа (результаты которого представлены на рис. 1), а также компьютерной обработки полученных данных с помощью программы FullProf были исследованы фазово-структурные особенности используемого алюмосиликатного компонента.

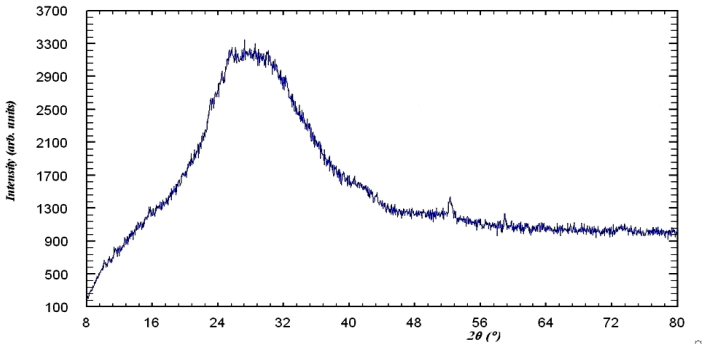


Рис. 1. Рентгенограмма перлита Мухор-Талинского месторождения

Перлит Мухор-Талинского месторождения не содержит в своей структуре кристаллических фаз. Об этом свидетельствует отсутствие выраженных пиков на рентгенограмме (рис. 1).

Данный факт подтверждает, что рассматриваемый алюмосиликатный компонент по своей природе является аморфизированным (содержание аморфной составляющей не менее 95%) и, таким образом, может выступать в качестве основного компонента при синтезе геополимерных вяжущих.

Назначение оптимальных составов исследуемого алюмосиликатного вяжущего осуществлялось методом математического планирования эксперимента. В качестве факторов варьирования состава вяжущего были приняты: время диспергации алюмосиликатного компонента, а также молярное соотношение оксидов вяжущей системы Na_2O и Al_2O_3.

Выбор факторов и параметров оптимизации производился исходя из технологической и экономической целесообразности получения вяжущего материала. Варьирование времени диспергации и молярного соотношения Na_2O/Al_2O_3 целесообразно для выявления их минимального количества, обеспечивающего достижение прочности геополимерного камня.

Экономическая целесообразность обусловлена генетической особенностью породы, в течение 3 часов диспергирования материал достигает удельной поверхности 622 м^2/кг (рис. 2).

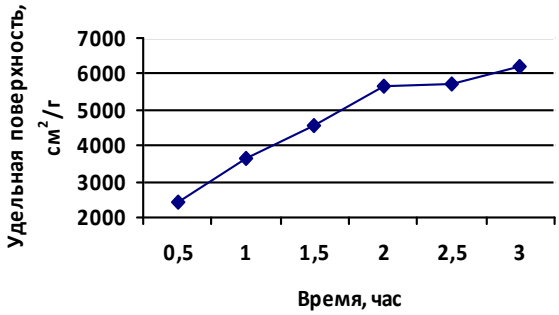


Рис. 2. Кинетика диспергации перлита

Выходным параметром для подбора оптимального состава вяжущего служил предел прочности при сжатии образов геополимерного вяжущего в возрасте 28 суток. Данные, полученные в результате эксперимента, представлены в таблице.

Таблица 1 – Технические характеристики геополимерных вяжущих

№ точки плана	Время диспергации, ч	Молярное соотношение Na_2O/Al_2O_3	Предел прочности при сжатии, МПа
1	1	1,2	11,64
2		1,6	11,96
3		2	16,99
4	2	1,2	14,8
5		1,6	14,16
6		2	18,4
7	3	1,2	18,4
8		1,6	11,76
9		2	12.1

На основании анализа приведенных результатов таблицы следует, что для активации более крупнодисперных частиц перлита и получения максимальной прочности камня требуется большее количество щелочного компонента. В то же время при увеличении дисперсности алюмосиликата его реакционная активность возрастает, что ведет за собой снижение требуемого количества щелочного компонента Na_2O/Al_2O_3. При этом введение избыточного количества щелочи в систему приводит к замедлению процессов структурообразования в геополимерной матрице и, как следствие, к пониженным прочностным показателям. Оптимальным является состав на основе перлита с удельной поверхностью 622 $м^2$/кг при минимальном молярном соотношении оксидов в системе Na_2O/Al_2O_3 = 1,2 с максимальной прочностью получаемого геополимерного вяжущего 18,4 МПа.

Интенсивность физико-химических процессов полимеризации в разработанном геополимерном вяжущем оптимального состава оценивали по фазовым новообразованиям затвердевшей системы при помощи рентгенофазового анализа (рис. 3). Для получения информации о количестве кристаллических фаз проводили полнопрофильный количественный РФА алюмосиликатных образцов вяжущих в варианте ритвельдовского алгоритма.

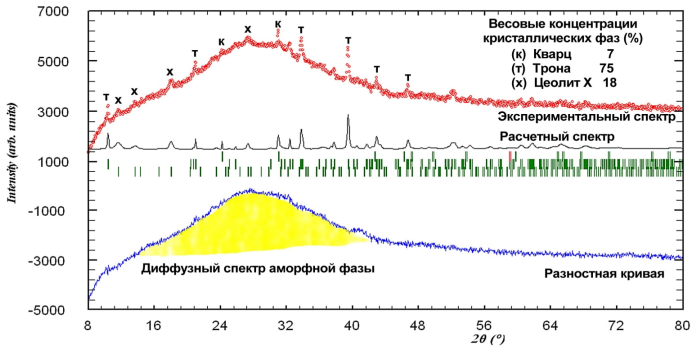


Рис. 3. Рентгенограмма геополимерного вяжущего оптимального состава (табл. 1, точка плана № 7)

В продуктах взаимо-действия вяжущего преобладают структурообразующие элементы цеолитоподобных новообразований являющиеся аналогами породообразующих минералов горных пород.

Доминирующее влияние на подтверждение геополимеризации и формирование высокоэффективных физико-химических, механических и эксплуатационных характеристик конечных композитов в целом оказывают новообразования цеолита типа X отвечающего молекулярной формуле $Na_{97,8}(Al_{92}Si_{100}O_{384})$. Положительным моментом является присутствие цеолитовых новообразований в виде рентгеноаморфных продуктов. Их кристаллизация протекает медленнее в реальных условиях эксплуатации материала в отличие от кальциевых соединений, присутствующих в продуктах гидратации цементных систем и постепенно изменяется во времени в направлении кристаллизации высокопрочных аналогов природных цеолитов.

Структура цеолита тапа X была воссоздана с помощью программы комплексного топологического и геометрического анализа кристаллических структур TOPOSv4 на основании данных РФА (рис. 4). Трехмерный кристаллический алюмосиликатный каркас дегидратированного цеолита X образуют кубооктаэдры из кремне- и алюмокислородных тетраэдров. Это очень стабильная и жесткая каркасная

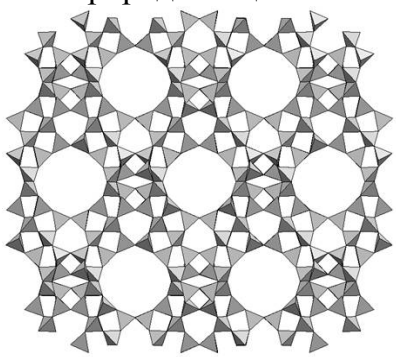


Рис. 4. Модель алюмосиликатного каркаса цеолита типа X

структура, имеющая свободный объем до 50 об.% [8]. Присутствие цеолита типа X в структуре искусственного камня способствует дополнительному уплотнению и упрочнению с прогнозированием его долговечности.

Таким образом, применение перлита в качестве основного сырьевого компонента алюмосиликатного вяжущего, является приоритетным, вследствие его доступности и генетико-фазовой предрасположенности.

Закономерности изменения свойств на всех технологических этапах эволюции геополимерного вяжущего в зависимости от рассмотренных факторов в отдельности, а также в их совокупности, могут быть использованы для производственных рецептур вяжущего с прогнозированием их физико-механических свойств.

Работа выполнена в рамках служебного задания по г/б теме *№ А-4/14 Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова на* 2012-2016 *годы (№ 2011-ПР-146. Мероприятие 2 «Модернизация научно-исследовательского процесса и инновационной деятельности» с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.*

Список литературы

1. Soft Mineralogy and Geopolymers. In proceeding of Geopolymer / Davidovits J. // 88 International Conference, the Universite de Technologie, Compiegne, France, 1988: 49–56.

2. Строкова В.В., Жерновский И.В., Череватова А.В. Наносистемы в строительном материаловедении: учеб. пособие. Белгород: Изд-во БГТУ. 2011. 205 с.

3. Королев В. А. Мониторинг геологической среды. М.: Изд-во МГУ, 1995. 272 с.

4. Davidovits J. Geopolymers: inorganic polymeric new materials // J.Therm Anal 1991; 37: 1633–1656.

5. Ананьева Л.Г. Минералогия. Класс силикатов: учеб. пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2011. 77 с.

6. Алюмосиликатное наноструктурированное вяжущее на основе гранитного сырья / Жерновский И.В., Осадчая М.С., Череватова А.В., Строкова В.В. // Строительные материалы. 2014. № 1-2. С. 38-41.

7. Фомина Е.В., Кожухова М.И., Кожухова Н.И. Оценка эффективности применения алюмосиликатной породы в составе композиционных вяжущих // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 5. С. 31-35.

8. Петрова В.В. Низкотемпературные вторичные минералы и их роль в литогенезе (силикаты, алюмосиликаты, гидроксиды). М.: ГЕОС. 2005. 240 с.

УДК 665.775.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭМУЛЬГАТОРА НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИЙ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ БИТУМНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

Д. Б. Макаров, Д. А. Аюпов, А. В. Мурафа, С. Р. Зигангараева

Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, Казань, makarov@kgasu.ru

Разработаны битумные эмульсии на новых анионактивных эмульгаторах являющихся отходами химической промышленности. Установлены оптимальные концентрации эмульгаторов в битумных эмульсиях. По технологическим и эксплуатационным показателям разработанные битумные эмульсии не уступают известным отечественным и зарубежным аналогам. Полученные битумные композиции могут быть рекомендованы к использованию в качестве дорожных, кровельных и гидроизоляционных покрытий.

Ключевые слова: битум, битумная эмульсия, смесевой эмульгатор, битумная композиция

INVESTIGATION OF EFFECT EMULSIFIERS ON PROPERTIES OF THE COMPOSITION EXTRACTED FROM BITUMEN EMULSION

D. B. Makarov, D. A. Ayupov, A. V. Murafa, S. R. Zigangaraeva
Kazan State University of Architecture and Engineering,
Russia, Kazan, makarov@kgasu.ru

The bitumen emulsions using the new anionic emulsifiers based on chemical industry by-products were developed. The optimal emulsifier's concentration in bitumen emulsions was defined. According to technological and operational parameters the developed bitumen emulsions are highly competitive with the known domestic and foreign analogues. The resulting bitumen compositions can be recommended for use as a road, roofing and waterproofing coatings.

Keywords: bitumen, bitumen emulsion, mixtures emulsifier, bitumen composition

Тщательный подбор эмульгатора играет большую роль в получении эмульсий с требуемыми свойствами. Хороший эмульгатор, помимо создания высококачественной эмульсии, должен быть экономически выгодным и простым в работе. При получении битумных эмульсий (БЭ) к эмульгаторам предъявляются особые требования, поскольку они во многом определяют ее структуру, свойства и, что наиболее важно – выделенного из эмульсии битума как конечного продукта. Механизм действия эмульгатора состоит в снижении поверхностного натяжения на границе раздела между битумной и водной фазами и в образовании защитной оболочки вокруг битумных частиц.

Известно, что в качестве исходного продукта для производства анионактивных ПАВ используются стеариновая и олеиновая кислоты. Однако их производство сложно из-за дефицита сырья и дороговизны. Поэтому при разработке битумных эмульсий нами изучен и использован в качестве анионактивных эмульгаторов отход переработки хлопкового масла (ОПХМ), состоящий из высших жирных кислот и дефекат (ДФ), представляющий собой фильтрационный осадок в виде порошкообразной массы серого цвета, образующийся в результате производства сахара и сахаристых веществ.

Задачей нашего исследования явилась оценка эмульгирующей способности дефеката (ДФ) и его влияния на свойства битумных композиций. Нами были изучены изменения поверхностного натяжения при использовании ДФ и ОПХМ, а также их смеси в различных соотношениях (1:3; 2:3; 1:1; 3:2; 3:1). Установлено, что при соотношении ДФ:ОПХМ (3:2) соответственно смесевой эмульгатор обладает меньшим поверхностным натяжением, чем индивидуальные ОПХМ и ДФ, что указывает на наличие эффекта синергизма между компонентами смеси.

Было изучено влияние эмульгаторов на свойства битумных композиций, выделенных из разработанных БЭ, поскольку они объективно отражают характеристики вяжущего, используемого в строительных материалах. На рис. 1 показано изменение температуры размягчения битумов от содержания в них смесевого эмульгатора в сравнении с ОПХМ при содержании от 2 до 10%. Характер кривых возрастающий в обоих случаях: с 43ºС до 56ºС на смесевом эмульгаторе (кривая 1) и с 43ºС до 63ºС на ОПХМ (кривая 2).

Изменение пенетрации при 0ºС и при 25ºС исследуемых битумов представлено на рис. 2 и 3. С повышением концентрации эмульгатора в битумах пенетрация снижается в обоих случаях в той же закономерности, что и температура размягчения. Это свидетельствует о повышении твердости битумов с увеличением

содержания в них эмульгатора, что согласуется с повышением температуры размягчения битумных композиций.

Дуктильность (рис. 4) битумов, также с повышением концентрации эмульгаторов снижается на смесевом эмульгаторе от 70 см до 21 см (кривая 1) и на ОПХМ от 70 см до 8 см (кривая 2). Таким образом, снижается способность битума к растяжению, однако смесевой эмульгатор в случае малых концентраций (4%) дает незначительное снижение в сравнении с «чистым» битумом с 70 см до 50 см соответственно. Это позволяет предположить, что битумная композиция на смесевом эмульгаторе сохраняет пластические свойства.

Несмотря на сохранение пластичности битумной композиции на смесевом эмульгаторе одновременно наблюдается существенное улучшение параметра эластичности – в четыре раза. Значения эластичности (рис. 5) с ростом эмульгатора возрастают в обоих случаях: с 8 до 32% на смесевом эмульгаторе и с 8 до 28% на ОПХМ.

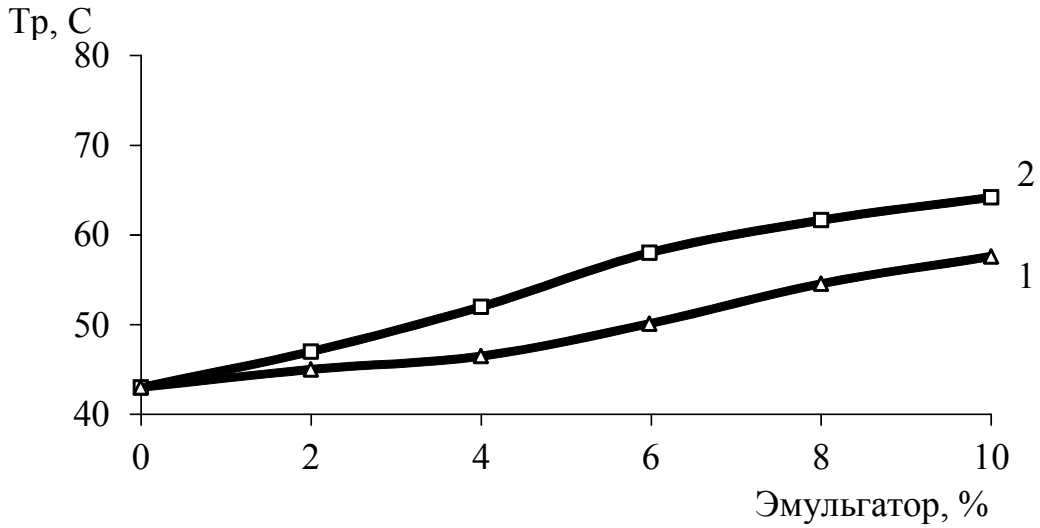


Рис. 1. Зависимость температуры размягчения битумных композиций, выделенных из эмульсий, от концентрации и типа эмульгатора. Кривая 1 – битумная композиция со смесевым эмульгатором; кривая 2 – битумная композиция с ОПХМ

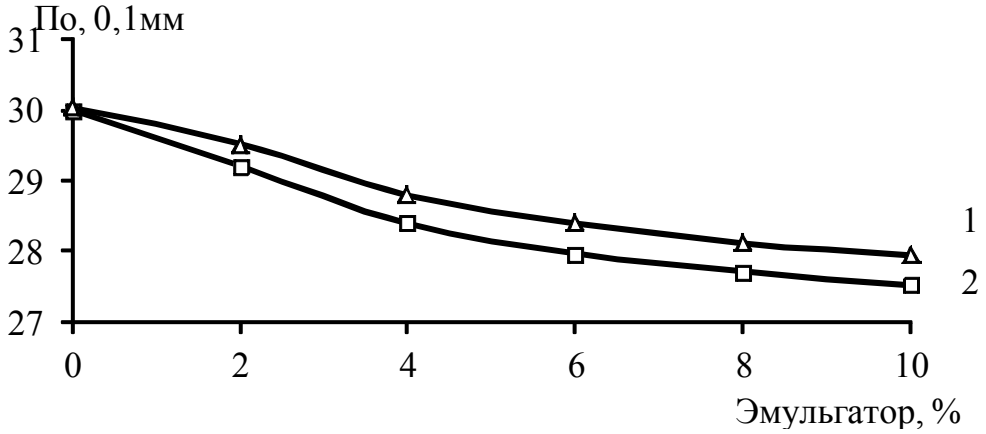


Рис. 2. Зависимость пенетрации при 0 ºС битумных композиций, выделенных из эмульсий, от концентрации и типаэмульгатора. Кривая 1 – битумная композиция на смесевом эмульгаторе; кривая 2 – битумная композиция на ОПХМ

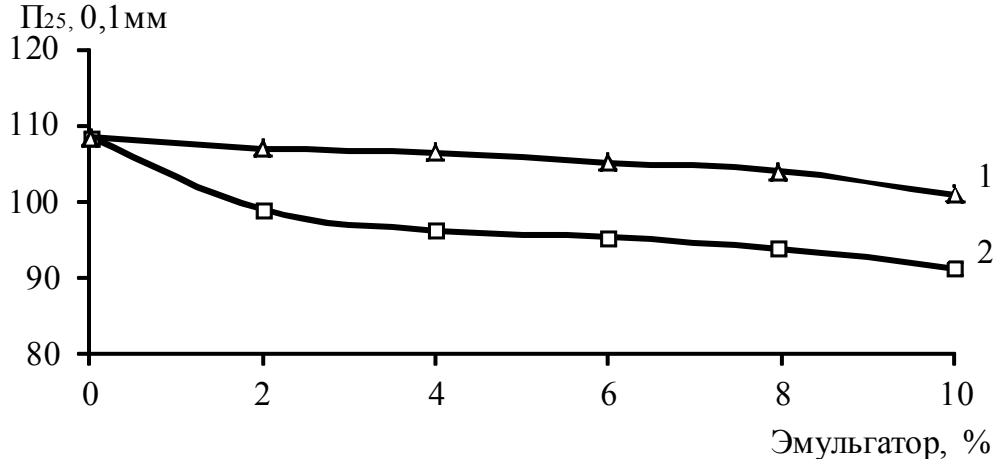


Рис. 3 – Зависимость пенетрации при 25 ºС битумных композиций, выделенных из эмульсий, от концентрации и типа эмульгатора. Кривая 1 – битумная композиция на смесевом эмульгаторе; кривая 2 – битумная композиция на ОПХМ

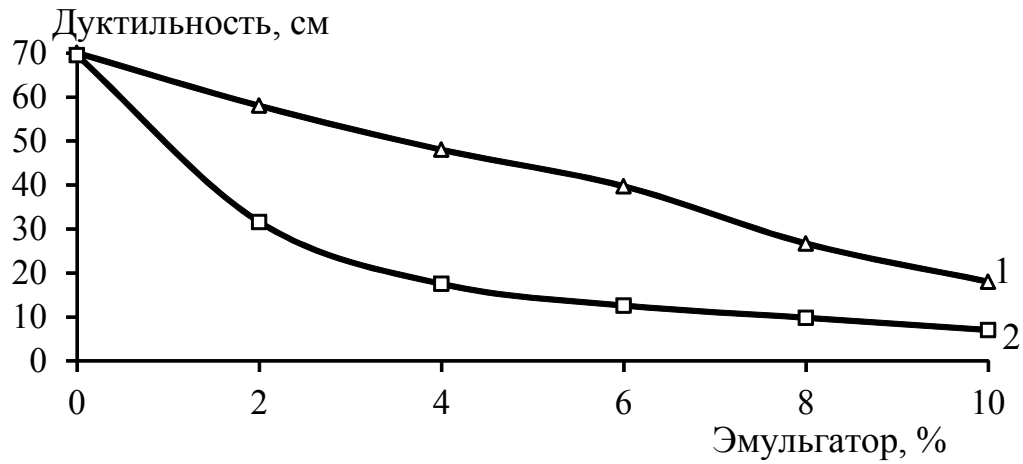


Рис. 4. Зависимость дуктильности при 25 ºС битумных композиций, выделенных из эмульсий, от концентрации и типа эмульгатора. Кривая 1 – битумная композиция на смесевом эмульгаторе; кривая 2 – битумная композиция на ОПХМ

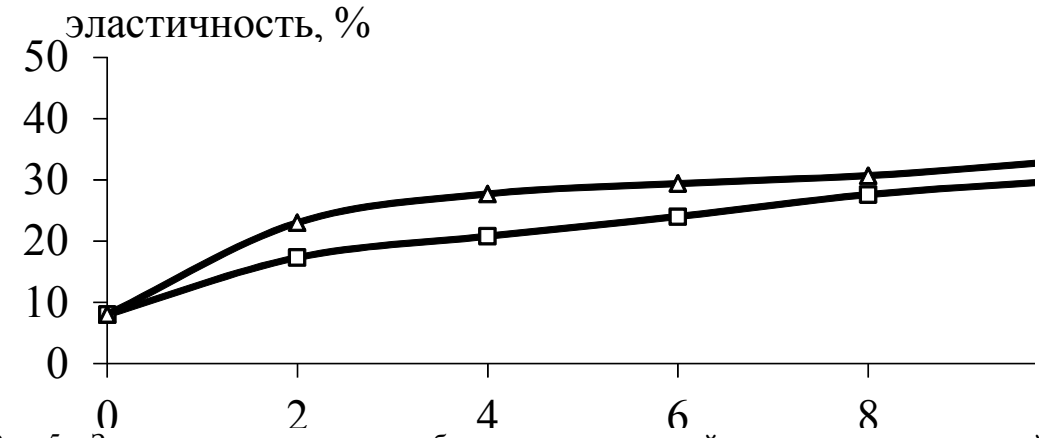


Рис. 5 – Зависимость эластичности битумных композиций, выделенных из эмульсий, от концентрации и типа эмульгатора.

Кривая 1 – битумная композиция на смесевом эмульгаторе; кривая 2 – битумная композиция на ОПХМ

Свойства битумов, выделенных из эмульсий с оптимальным содержанием эмульгатора, представлены в таблице.

Свойства битумов, выделенных из эмульсий

Состав	Тр, ^{0}С	Пенетрация, х 0.1 мм		$Д_{25}$, см	Эластичность, %
		0^0С	25^0С		
БНД 90/130	43	30	108	70	8
Битум из эмульсии с ДФ : ОПХМ (3:2) – 5%	50	28.4	107	43	32
Битум из эмульсии с ОПХМ (2%)	52	29.2	98.2	32	28
ГОСТ 52128-2003	> 47	> 20	> 60	> 55	-

Из таблицы видно, что на свойства битумов оказывает положительное влияние не только наличие эмульгатора, но и его природа. Наиболее эффективным оказался смесевой эмульгатор ДФ : ОПХМ (3:2), при котором теплостойкость, твердость, эластичность оказались выше по абсолютным величинам, чем показатели битума с ОПХМ, а также и чистого битума.

Исходя из полученных данных, разработанные битумные эмульсии можно использовать в качестве эффективных дорожных, кровельных и гидроизоляционных покрытий.

УДК 666.712

ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В КОНСТРУКЦИЯХ ЗДАНИЙ.

Н. Б. Адилова*, А. В. Кобин*

** Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Уральск, РК, adnur @mail.ru, kobin @mail.ru*

Представлены результаты сравнительной оценки использования теплоизоляционных материалов в ограждающих и кровельных конструкциях и даны предложения по улучшению энергоэффективности общественного здания в г. Уральск, Казахстан.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергосбережение, утеплитель, пенополистерол, минеральная вата

EVALUATION OF ENERGY EFFICIENCY THERMAL INSULATION MATERIALS IN BUILDINGS.

N. B. Adilova*, A. V. Kobin*

** West Kazakhstan agrarian-technical University by named Zhangir khan, Kazakhstan, Uralsk, adnur@mail.ru, kobin@mail.ru*

The article presents the results of a comparative evaluation of the use of thermal insulation materials in the envelope and roofing structures and gives suggestions for improving the energy efficiency of public buildings in Uralsk, Kazakhstan.

Keywords: energy efficiency, energy saving, insulation, polystyrene foam, mineral wool

Повышение энергоэффективности в новых зданиях является особенно целесообразным и должно занимать центральное место в политических мерах по повышению энергоэффективности в строительстве. Усилия по повышению энергоэффективности новых зданий должны предприниматься на соответствующем правительственном уровне посредством введения стандартов энергоэффективности в строительных нормах, которые устанавливают минимальные стандарты по энергоэффективности для всех новых зданий. При этом такие стандарты учитывают проблемы рынка путем установки минимального стандарта для всех зданий. Типичная проблема, которую помогают решить строительные стандарты, – это проблема «заказчик – агент», или конфликт интересов между владельцами и арендаторами. Одним из последствий этой проблемы является то, что решения, связанные с энергетикой, имеют тенденцию основываться на непосредственных затратах на строительство, а не на соображениях энергоэффективности в долгосрочной перспективе.

Существует значительный потенциал увеличения полноты и строгости требований к энергоэффективности в строительных стандартах и для приближения к оптимальному уровню сбережения энергии, рассчитанному на основе 30-летнего срока службы здания.

Комплекс приоритетных мер по повышению эффективности использования энергии в строительном секторе охватывает:

– строительные нормы для новых зданий;

– здания с пассивным энергопотреблением и здания с нулевым энергопотреблением;

– существующие здания;

– строительные сертификации;

– окна и другие застекленные участки.

Объектом исследования эффективности применения рекомендаций и норм по показателям энергоэффективности стал объект здание «Областная школа высшего спортивного мастерства» по ул. Айтиева, 72А, находящийся в городе Уральск, где проводился плановый капитальный ремонт.

Согласно отчета по техническому обследованию «Объекта», наружные ограждающие конструкции здания – железобетонные самонесущие панели, коэффициент теплопроводности которых составляет 0,68 Вт/(м^2*К).

В связи с современными требованиями к энергосбережению и энергоэффективности в строительстве, проектом предусматривается утепление стен с наружной стороны. Выбор материала производился из следующих образцов: экструдированный пенополистирол STYROFOAM IB 250 A, толщиной 60 мм; базальтовый утеплитель ROCKWOOL FASROCK, толщиной 50 мм; блоки из пеностекла FOAMGLAS® WALLBOARD W+F, толщиной 60 мм.

Таблица 1 – Сравнительная таблица показателей утеплителя фасада

№ п/п	Наименование утеплителя	STYROFOAM IB 250 A	ROCKWOOL FASROCK	FOAMGLAS® WALLBOARD W+F
1	Теплопроводность Вт/м ^{0}C	0,032	0,042	0,040
2	Плотность кг/м^3	32	135	100
3	Прочность на сжатие кПа	250	40	40
4	Гигроскопичность кг/м^2	Не более 0,5	Не более 0,3	Не более 0,5
5	Паропрон-ть мг/м·ч·Па	0,006	0,3	0

В целях получения наиболее эффективных показателей энергосбережения по проектируемому зданию был проведен теплотехнический расчет по предлагаемым теплоизоляционным материалам на основе программного обеспечения «OVENTROP AZC». Результаты полученных значений представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Показатели энергоэффективности здания с применением в утеплении фасадов следующих видов утеплителя

№ п/п	Наименование показателей	STYROFOAM IB 250 A	ROCKWOOL FASROCK	FOAMGLAS® WALLBOARD W+F
1	Теплопотери, Вт/ч	286154	295000	290311
2	Необходимое количество тепла для 1 $м^3$, $Вт/м^3$	31,8	32,7	32,2
3	Необходимое количество тепла для 1 $м^2$, $Вт/м^2$	184,7	190,4	187,3

Анализ результатов расчета показателей энергоэффективности теплоизоляционных материалов, используемых в ограждающих конструкциях, показал, что наименьшие теплопотери имеет эктрудированный пенополистирол STYROFOAM IB 250 A.

Проектом также предусматривается утепление перекрытия помещения спортивного зала. Выбор материала производился из следующих видов: утеплитель типа ISOVER OL-E, толщиной 100 мм; экструдированный пенополистирол Пеноплэкс Кровля, толщиной 100 мм; плиты пеностекла FOAMGLAS® FLOORBOARD S3 толщиной 100 мм. Результаты полученных значений с помощью вычислительного комплекса представлены в табл. 4.

Значительный эффект в энергосбережении здания представляет проектное решение по замене изношенных окон и витражей на современные энергосберегающие стеклопакеты на металлопластиковом профиле и комбинированном алюминиевом профиле с двухкамерным стеклопакетом.

Таблица 3 – Сравнительная таблица показателей утеплителя кровли

№ п/п	Наименование утеплителя	ISOVER OL-E	Пеноплэкс Кровля	FOAMGLAS® FLOORBOARD S3
1	Теплопроводность $Вт/м\ ^0C$	0,037	0,03	0,042
2	Плотность $кг/м^3$	70	28,0-33,0	115
3	Прочность на сжатие кПа	40	40	60
4	Гигроскопичность $кг/м^2$	Не более 1	Не более 0,5	Не более 0,5

Таблица 4 – Показатели энергоэффективности здания с применением в утеплении кровли следующих видов утеплителя

№ п/п	Наименование показателя	ISOVER OL-E	Пеноплэкс Кровля	FOAMGLAS® FLOORBOARD S3
1	Теплопотери тепла, Вт\ч	155637	152999	157478
2	Необходимое количество тепла для 1 $м^3$, $Вт\м^3$	17,3	17,0	17,5
3	Необходимое количество тепла для 1 $м^2$, $Вт\м^2$	100,4	98,7	101,6

Согласно результатам расчета программы «OVENTROP AZC», наиболее эффективным теплоизоляционным материалом является эктрудированный пенополистирол Пеноплэкс Кровля.

Для сравнительной оценки существующего утепления конструкций и предлагаемых материалов были проведены расчеты по определению основных показателей энергоэффективности, представленных в табл. 5.

Таблица 5 – Показатели энергоэффективности здания с применением в утеплении кровли и фасада утеплителя с наилучшими показателями

№ п/п	Наименование	Теплопотери тепла, Вт/ч	Необходимое количество тепла для 1 $м^3$, $Вт/м^3$	Необходимое количество тепла для 1 $м^2$, $Вт/м^2$
1	Пеноплэкс Кровля + STYROFOAM IB 250 A	88126	9,8	56,9
2	Существующая конструкция	353080	39,2	227,9

Таким образом, наиболее энергоэффективными материалами для данного типа здания являются STYROFOAM IB 250 A (толщиной 60 мм) для утепления фасадов и Пеноплекс кровля (толщиной 100 мм) для утепления кровли. Данные материалы также характеризуются простотой монтажа и отличными эксплуатационными характеристиками.

Следующим мероприятием по энергосбережению предусмотрена полная замена неэффективной и громоздкой существующей системы отопления из стальных трубопроводов и регистров из стальных труб на современную, с применением средств автоматизации, систему отопления. Проектом капитального ремонта предусматриваются замена существующего теплового пункта на современный энергоэффективный ИТП с регулированием отпуска теплоты по погодозависимой схеме, замена существующего кожухотрубного теплообменника на пластинчатый теплообменник «Funke». Система отопления в здании школы запроектирована водяная, двухтрубная, с нижней разводкой. Трубопроводы системы отопления изолируются и прокладываются скрыто в конструкции пола. В качестве нагревательных приборов приняты биметаллические радиаторы РБС 300, РБС 500 производства компании «Сантехпром». Для регулирования температуры помещения на подводках к нагревательным приборам предусматриваются терморегуляторы DANFOSS, в торцах нагревательных приборов устанавливаются краны для спуска воздуха. Трубопроводы системы отопления выполняются из полипропиленовых труб. Соблюдение необходимых температурных режимов обеспечивает погодный регулятор с помощью температурных датчиков. Гидравлическую увязку отдельных веток системы отопления обеспечивают автоматические балансировочные клапана «Danfoss». Использование комплексного решения «автоматический тепловой пункт – автоматические балансировочные клапаны с предварительной настройкой – терморегуляторы на подводках к отопительным приборам» позволяет экономить до 25-30% тепла в переходные периоды года, когда не требуется максимальная производительность системы отопления.

Таким образом, принятые в проекте решения по энергосбережению позволяют предположить повышение экономии энергии при дальнейшей эксплуатации здания в отопительный период на 60-70% по сравнению с предыдущим состоянием ограждающих конструкций здания.

Запроектированное здание по классу энергетической эффективности согласно СН РК 2.04-21-2004* соответствует классу «Б».

Проектные решения в части энергопотребления соответствуют требованиями СН РК 2.04-21-2004* и их технико-экономических показателей.

Список литературы

1. СН РК 2.04-21-2004* Энергопотребление и тепловая защита гражданских зданий.

2. Бродач М.М. Энергетический паспорт зданий // АВОК. 1993. № 1, 2.

3. Методические указания по проектированию новых типов наружных ограждающих конструкций с высокими теплозащитными показателями / Авдеев Г.К., Матросов Ю.А., Бутовский И.Н., Сурков В.И., Степанова В.К., Дмитриев А.Н. М.: МНИИТЭП, 1995.

4. Международный опыт повышения энергоэффективности зданий: сборник материалов. Альтиора – Живые краски, 2012.

УДК 621.763:620.178.156:678.04

ЩЕЛОЧЕСТОЙКОСТЬ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ С ПОВЫШЕННЫМИ РЕОЛОГИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

В. П. Селяев*, Д. Р. Низин*, Т. А. Низина*, А. Н. Чернов*

** Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва, Россия, Саранск, nizinata@yandex.ru*

Установлено влияние алифатического разбавителя Этал-1 на упруго-прочностные и реологические характеристики составов эпоксидных композитов, а также представлены результаты экспериментальных исследований их щелочестойкости. Выявлено оптимальное содержание Этал-1, позволяющее получать составы с требуемым комплексом свойств.

Ключевые слова: эпоксидные связующие, алифатический разбавитель, щелочестойкость, реологические характеристики

ALKALI RESISTANCE OF EPOXY COMPOSITES WITH ENHANCED RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS

V. P. Selyaev*, D. R. Nizin*, T. A. Nizina*, A. N. Chernov*

** Ogarev Mordovian State University Russia, Saransk, nizinata@yandex.ru*

Established the effect of aliphatic diluent Etal-1 on the elastic-strength and rheological characteristics of the compositions of epoxy composites, as well as the results of experimental studies of their alkali resistance. Revealed optimal content of Etal-1 to obtain compounds with the desired set of properties.

Keywords: epoxy binders, aliphatic diluent, alkali resistance, rheological properties

В настоящее время разработка новых строительных материалов возможна лишь с использование комплексных подходов, учитывающих все возможные факторы, оказывающие влияние на процесс эксплуатации изделия или конструкции. Прежде всего, это вызвано сложившимися требованиями как к экологичности, так и к экономичности проектируемых материалов. Как известно, наибольшее агрессивное воздействие на бетоны, обладающие высоким водородным показателем (pH 12÷13), оказывают растворы кислот. Поэтому большая часть исследований при разработке защитных покрытий, посвящена оценке их кислотостойкости. В то же самое время эпоксидные композиты на основе традиционных отвердителей,

как правило, обладают недостаточной стойкостью к продуктам гидратации бетона [1-3], что требует при разработке защитных составов проведения дополнительных исследований на щелочестойкость.

Кроме того, при разработке составов защитных покрытий бетонных оснований особое внимание следует уделять обеспечению высокой адгезионной прочности наносимых покрытий к бетонным основаниям. Сила адгезионного сцепления полимерного покрытия с подложкой является важнейшей физико-химической характеристикой, определяющей долговечность строительных конструкций, эксплуатируемых в условиях действия агрессивных сред. В результате взаимодействия химических реагентов с материалом в таких конструкциях происходят качественные и количественные изменения, которые зависят от характеристик материалов и особенностей воздействующей на них среды.

Одной из основных характеристик полимерных покрытий, оказывающих наибольшее влияние на величину адгезионной прочности, является вязкость состава, обеспечивающая максимально возможную глубину пропитки бетонного основания, зависящую также от его поверхностной пористости. Повышение глубины проникновения полимерного композита в глубь бетонной подложки позволяет сформировать переходный слой между основанием и покрытием, приводя к образованию надежного адгезионного сцепления и, как следствие, повышению долговечности изделий и конструкций с полимерными покрытиями. Получаемые таким образом изделия, свойства которых по высоте поперечного сечения изменяются по определенному закону, можно отнести к функционально-градиентным [4].

В данной работе снижение вязкости полимерных композиций на основе широко используемой в строительстве эпоксидной смолы ЭД-20 достигалось путем введения в состав алифатического разбавителя Этал-1, представляющего собой современный аналог традиционных разбавителей ДЭГ-1 и ТЭГ-1, в количестве 5, 10, 15, 20, 25 и 50% от массы смоляной составляющей. В качестве отверждающей системы использовался отвердитель аминного типа Этал-45М. В сочетании со смолой ЭД-20 он обладает в 3 раза большей жизнеспособностью по сравнению с традиционным отвердителем полиэтиленполиамином, позволяет дополнительно снизить вязкость полимерного связующего при обеспечении достаточно высоких физико-механических характеристик готовых композитов.

Экспериментальные исследования проводились на образцах-восьмерках, изготовленных согласно ГОСТ 11262-80. Для каждого состава параллельно исследовалось не менее 6 образцов. В качестве исследуемых характеристик определялись: предел прочности, модуль упругости и относительное удлинение при растяжении. Реологические характеристики полимерного связующего определялись с помощью вискозиметра ВЗ-246 с диаметром отверстия 4 мм. По результатам проведенного исследования установлено существенное снижение реологических параметров при введении в состав полимерного связующего активного разбавителя Этал-1 и использовании отвердителя Этал-45М (рис. 1). В зависимости от содержания Этал-1 (5÷50% от массы смоляной составляющей) достигнуто снижение вязкости составов, соответственно, в 1,3÷7,8 раза.

Известно, что введение в состав полимерных связующих растворителей и разбавителей, как правило, приводит к значительному снижению упругопрочностных характеристик. Анализ кривых деформирования эпоксидных композитов при растяжении (рис. 2) показал, что введение состав до 50% активного раз-

бавителя приводит к снижению прочностных характеристик в 2,9 раза (рис. 1), модуля упругости – в 2,3 раза. Результаты исследования упруго-прочностных характеристик контрольных состав представлены в таблице.

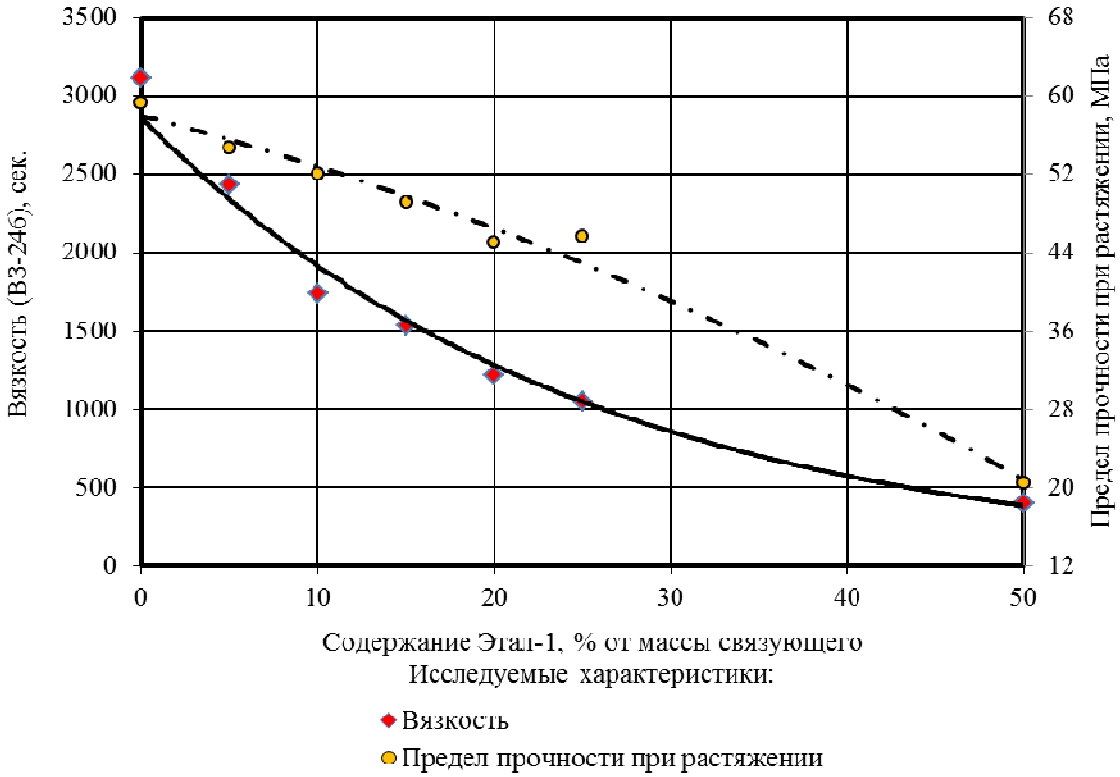


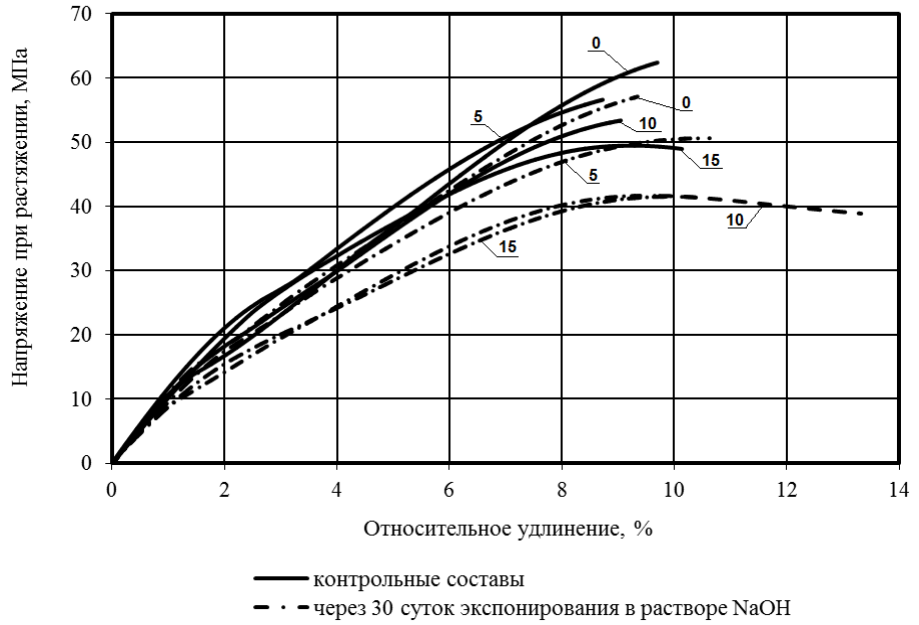
Рис. 1 – Изменение реологических и прочностных характеристик эпоксидных композитов в зависимости от содержания активного разбавителя Этал-1

Результаты исследования составов эпоксидных покрытий контрольных составов и после экспонирования в течение 30 суток в растворе NaOH с pH=12,5

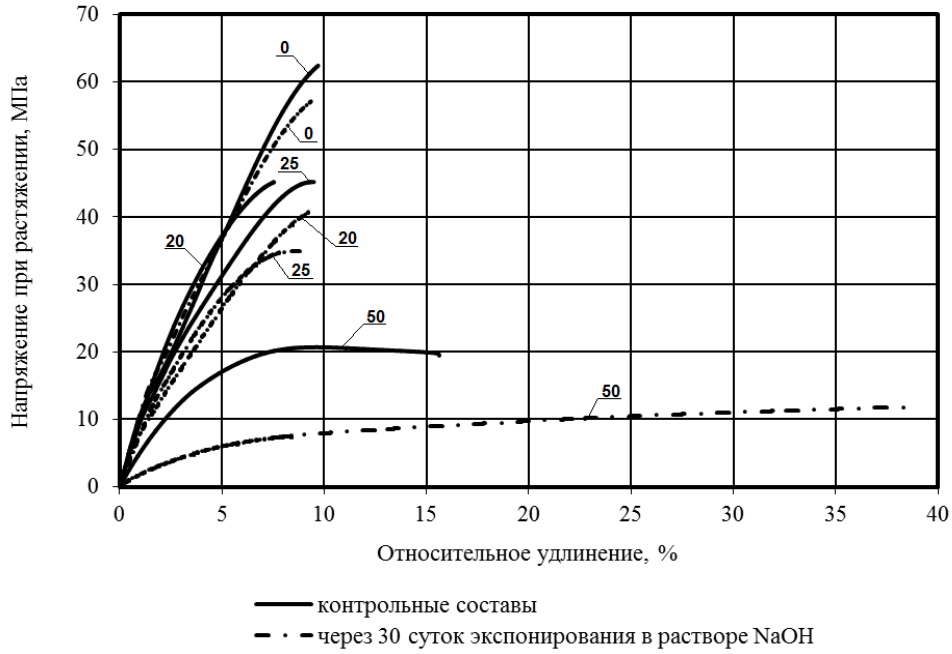
Исследуемая характеристика	Содержание активного разбавителя Этал-1, % от мас. связующего						
	0	5	10	15	20	25	50
контрольные составы							
Предел прочности при растяжении, МПа	59,28	54,76	52,03	49,10	44,98	45,68	20,45
Модуль упругости при растяжении, МПа	636,3	593,9	568,7	557,8	211,1	519,1	279,8
Относительное удлинение при максимальной нагрузке, %	8,62	8,75	9,03	8,39	7,43	8,90	9,18
через 30 суток экспонирования в растворе NaOH с pH=12,5*							
Предел прочности при растяжении, МПа	56,30 / 0,95	51,88 / 0,95	42,05 / 0,81	41,37 / 0,84	40,29 / 0,90	36,54 / 0,80	11,59 / 0,57
Модуль упругости при растяжении, МПа	579,4 / 0,91	532,8 / 0,90	482,9 / 0,85	468,8 / 0,84	454,86 / 0,89	432,3 / 0,83	126,46 / 0,45
Относительное удлинение при максимальной нагрузке, %	9,23 / 1,07	9,46 / 1,08	9,27 / 1,03	8,67 / 1,03	8,82 / 1,19	8,04 / 0,90	30,49 / 3,32
Прирост массы, %	0,56	0,62	0,83	0,86	0,92	0,95	1,91

*в числителе приведены абсолютные значения, в знаменателе – относительные.

Оценка щелочестойкости разработанных составов осуществлялась после экспонирования образцов в течение 30 суток в растворе NaOH с pH=12,5. Для всех исследуемых составов с содержанием исследуемого разбавителя до 25% наблюдается снижение предела прочности при растяжении, не превышающее 20% от первоначальной прочности (таблица). Введение 50% Этал-1 от массы смоляной части приводит к резкому снижению прочностных характеристик; относительная прочность к 30 суткам экспонирования по сравнению с контрольным составом составляет 0,57.



а



б

Рис. 2. Изменение кривых деформирования эпоксидных композитов при растяжении в зависимости от содержания активного разбавителя Этал-1 (а – 0, 5, 10 и 15%; б – 0, 20, 25 и 50% от массы связующего) для контрольных составов (сплошная линия) и через 30 суток экспонирования в растворе NaOH с pH=12,5 (штрихпунктирная линия)

Снижение модуля упругости эпоксидных композитов, содержащих не более 25% Этал-1, в растворе NaOH составляет 10÷17% от первоначальных значений (табл.). Для состава с максимальным содержанием активного разбавителя относительный модуль упругости через 30 суток равен 0,45. Анализ деформативных характеристик исследуемых композитов показал, что относительное удлинение при максимальной нагрузке для всех составов составляет 7÷10%. Экспонирование композитов с содержанием Этал-1 до 20% в растворе NaOH приводит к увеличению относительного удлинения на 3÷19%. Для композита с 50% содержанием активного разбавителя через 30 суток выдержки в живкой агрессивной среде зафиксировано резкое увеличение относительного удлинения при растяжении, составляющее 30,49%.

Прирост массы образцов через 30 суток выдержки в растворе NaOH, повышающийся с увеличением содержания Этал-1 от 0 до 25%, составляет от 0,56÷0,95% (табл.). Введение 50% активного разбавителя приводит к увеличению сорбционной способности почти в 3,5 раза по сравнению с немодифицированным составом, что свидетельствует о формировании более пористой структуры. Из анализа корреляционных зависимостей установлено, что чем меньшее количество раствора щелочи продиффундировало в образец, тем выше химическая стойкость эпоксидных композитов (рис. 3).

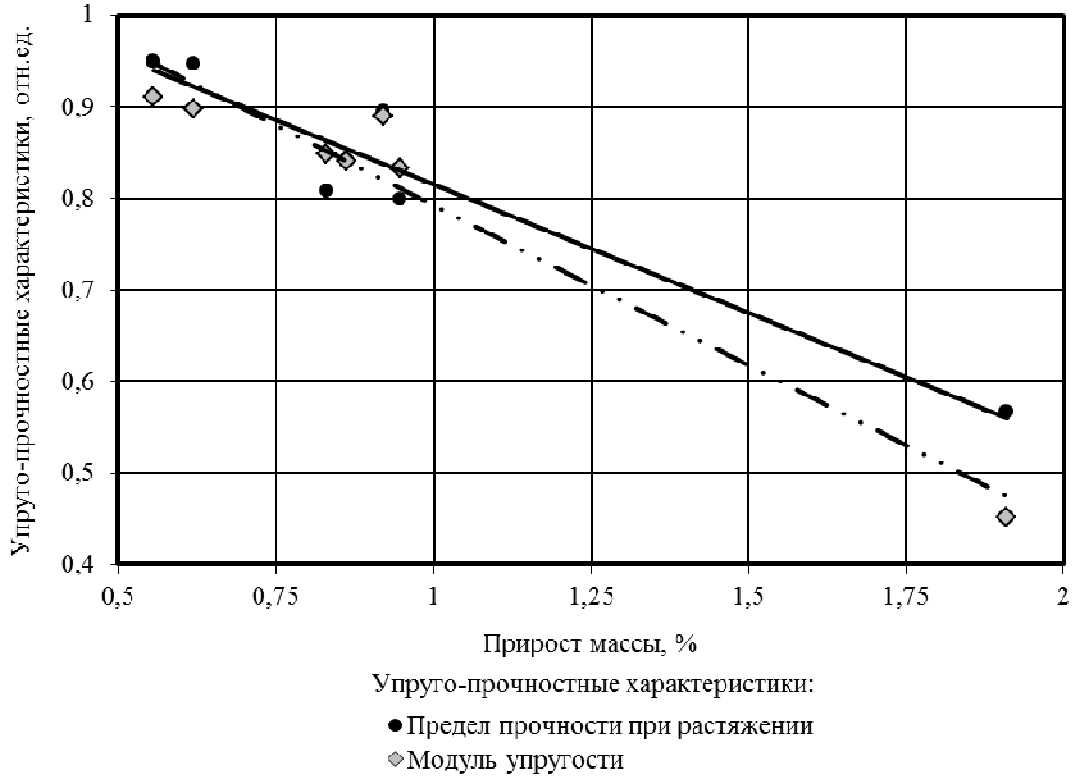


Рис. 3 – Корреляционная зависимость между упруго-прочностными и сорбционными характеристиками эпоксидных композитов через 30 суток экспонирования в растворе NaOH с pH=12,5

Анализ результатов проведенных исследований показал, что эпоксидные композиты с содержанием от 10 до 25% разбавителя Этал-1 от массы смоляной части обладают требуемой подвижностью, высокими упруго-прочностными характеристиками и стойкостью в растворе щелочи с pH=12,5, что позволяет использовать их в качестве покрытий и пропиток бетонных оснований.

Список литературы

1. Низина Т.А. Защитно-декоративные покрытия на основе эпоксидных и акриловых связующих. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2007. 260 с.

2. Соломатов В.И., Селяев В. П., Соколова Ю. А. Химическое сопротивление материалов. 2-е изд., перераб. и доп. М., 2001. 384 с.

3. Влияние алифатического разбавителя Этал-1 на упруго-прочностные характеристики и щелочестойкость эпоксидных композитов / В.П. Селяев, Т.А. Низина, Д.Р. Низин, Н.Е. Фомин, В.А. Юдин // Известия вузов. Строительство. 2014. № 8. С. 14-19.

4. Функционально-градиентные композиционные строительные материалы и конструкции / В.П. Селяев, В.А. Карташов, В.Д. Клементьев, А.Л. Лазарев. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2005. 160 с.

УДК 691.3

КЛИМАТИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ СОСТАВОВ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Т. А. Низина*, Д. А. Артамонов*, Д. Р. Низин*, А. Н. Чернов*

** Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва, Россия, Саранск, nizinata@yandex.ru*

Приведены результаты натурных испытаний составов мелкозернистых бетонов. Определено действие климатических факторов на изменение температуры и влажности поверхности образцов. Изучено влияние длительности экспонирования в натурных условиях на изменение упруго-прочностных характеристик мелкозернистых бетонов.

Ключевые слова: климатические факторы, температура, влажность, мелкозернистый бетон, кривые деформирования, предел прочности при сжатии и на растяжение при изгибе

CLIMATIC RESISTANCE OF FINE CONCRETE COMPOSITIONS IN NATURAL CONDITION OPERATING

T. A. Nizina*, D. A. Artamonov*, D. R. Nizin*, A. N. Chernov*

** Ogarev Mordovian State University, Russia, Saransk, nizinata@yandex.ru*

Shown the field tests results of fine-grained concrete compositions. Defined the action of climatic factors on the change in temperature and humidity of the sample surface. Studied the effect of exposure duration of natural conditions on the change in the elastic-strength properties of fine-grained concrete.

Keywords: climatic factors, temperature, humidity, fine-grained concrete, deforming curves, compressive strength and flexural strength

Для определения изменения свойств строительных композитов в условиях действия агрессивных факторов, как правило, проводят экспонирование образцов в лабораторных условиях путем создания модельных сред и т.д. В реальных климатических условиях на строительные изделия и конструкции оказывается непрерывное воздействие множества агрессивных факторов (перепада температур, солнечного света, проникающей радиации, влаги, кислорода) и их комбинаций. Однако, создать подобную среду в лабораторных условиях достаточно сложно. Именно поэтому проведение исследований изменения свойств строительных материалов, изделий и конструкций в условиях действия натурных климатических факторов имеет особое значение [1-3].

Для экспонирования образцов в климатических условиях были изготовлены испытательные стенды, размещенные на базе эколого-метеорологической лаборатории Национального Исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва. Фиксирование метеорологических (температура, относительная влажность воздуха, атмосферное давление, скорость и направление ветра, осадки), экологических (концентрации загрязняющих веществ) и актинометрических (суммарная солнечная радиация и ультрафиолетовое излучение – жесткий ультрафиолет 280-320 нм, мягкий ультрафиолет 320-400 нм) параметров осуществлялось с частотой, соответственно, 20 и 10 минут в круглосуточном режиме.

Для контроля температуры и влажности поверхности исследуемых образцов использовалась система мониторинга на основе датчиков DS 1923-F5, состоящая из: комплекса iButton Data Logger Revisor (модель iBDLR-U), адаптера 1w-2/3-iButton_1923, считывателя данных с регистраторов iB-Flash и портативного транспортер данных iButton Data Logger Transporter (iBDLT). Результаты мониторинга изменения температуры и относительной влажности окружающего воздуха и поверхности образца для составов мелкозернистого бетона приведены на рис. 1, 2.

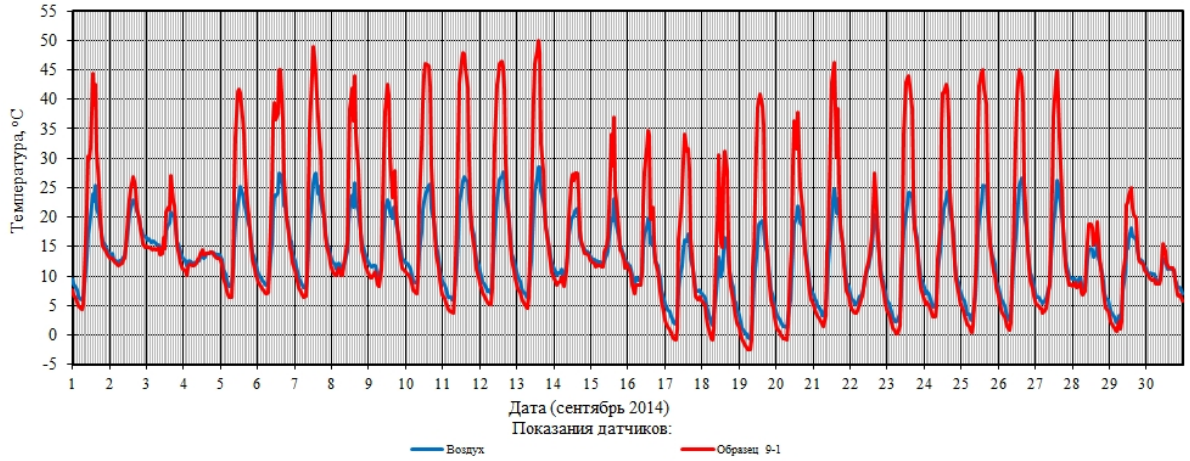


Рис. 1. Кривые изменения температуры воздуха и поверхности образца мелкозернистого бетона, экспонированного на натурной испытательной площадке в сентябре 2014 года

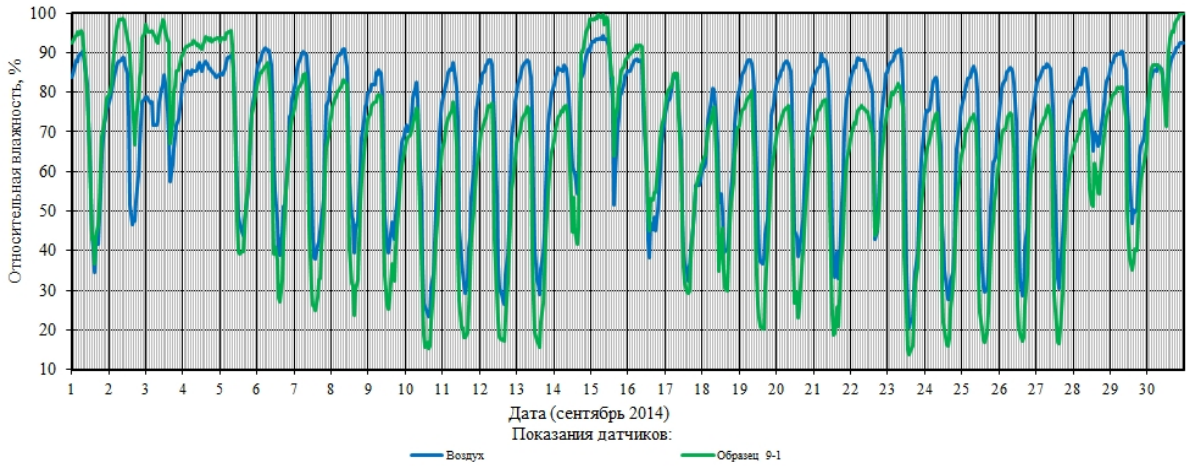


Рис. 2. Кривые изменения относительной влажности воздуха и поверхности образца мелкозернистого бетона, экспонированного на натурной испытательной площадке в сентябре 2014 года

Анализ корреляционных зависимостей (см. рис. 3) между температурой поверхности бетонных образцов и окружающего воздуха позволяет установить увеличение разброса значений с повышением температуры воздушной среды, что характеризует разогрев поверхности. Для месяцев с низкой среднесуточной температурой (менее 5 °С) разность между температурами воздуха и поверхности образца минимальна. По мере повышения среднесуточной температуры разброс показателей возрастает; в летние месяцы данный параметр может достигать 20÷30 °С; наибольший разогрев поверхности образцов, как правило, происходит с 10:00 до 16:00. Кроме того, на разогрев поверхности оказывает влияние и интенсивность суммарной солнечной радиации, а также солнечных излучений диапазонов А и В.

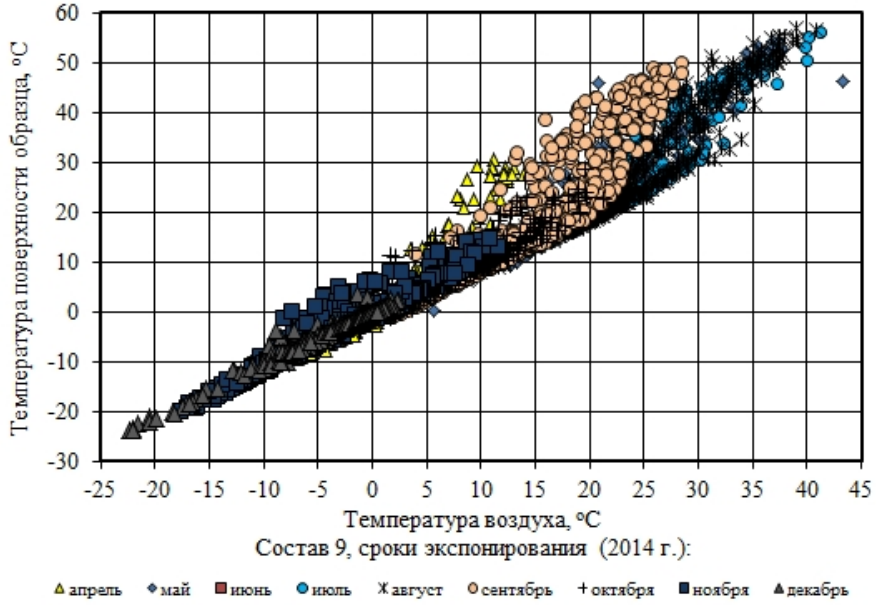


Рис. 3. Корреляционная зависимость между температурой окружающего воздуха и температурой поверхности образца мелкозернистого бетона (апрель – декабрь 2014 г.)

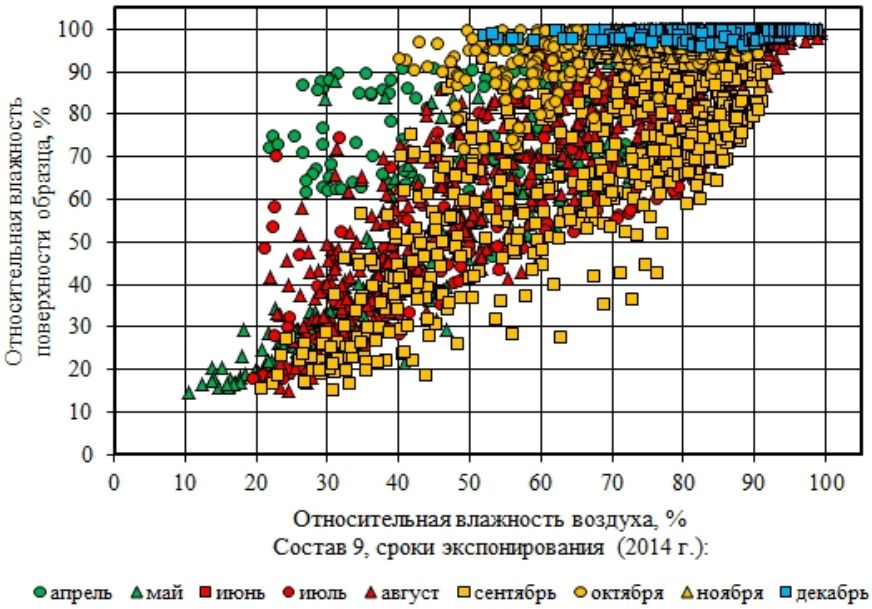


Рис. 4. Корреляционная зависимость между относительными влажностями окружающего воздуха и поверхности образца мелкозернистого бетона (апрель – декабрь 2014 г.)

Из анализа кривых измерения относительной влажности воздуха и поверхности образцов мелкозернистого бетона установлено (рис. 4), что в отсутствие осадков влажность поверхности образцов, в целом, ниже аналогичного показателя для окружающего воздуха. Наибольшие различия также наблюдаются в дневные часы, что объясняется разогревом поверхности под действием солнечных лучей и повышением температуры окружающего воздуха. Для дней с наличием осадков (1 – 4, 15 и 30 сентября 2014 г.) влажность поверхности превышает влажность воздуха, что связано с непосредственным воздействием влаги на образцы.

Для установления изменений, происходящих в структуре мелкозернистого бетона в процессе натурного экспонирования, были изготовлены образцы-балочки размером 40×40×160 мм. План экспериментального исследования и уровни варьируемых факторов приведены, соответственно, в таблицах 1 – 2.

При проведении экспериментальных исследований использовались следующие материалы:

- портландцемент марки ЦЕМ I 42,5Б производства ОАО «Мордовцемент»;
- высокоактивный метакаолин – ВМК;
- речной песок (Республика Мордовия, Ичалковский район, посёлок Смольный);
- поликарбоксилатный пластификатор Melflux 1641 F (MF 1641).

Для ряда составов (4 – 9) проводилась механоактивация смесей в шаровой барабанной мельнице по режиму:

- цемент + MF 1641 + ВМК (15 мин.);
- песок (15 мин).

Таблица 1 – План экспериментального исследования составов мелкозернистого бетона, экспонируемых в условиях натурных климатических воздействий

Номер состава	Варьируемые факторы			
	ВМК (X_1)	песок (X_2)	MF 1641 (X_3)	режим помола (X_4)
1	-1	0	-1	-1
2	-1	+1	-1	-1
3	-1	-1	-1	-1
4	0	0	0	+1
5	0	+1	0	+1
6	0	-1	0	+1
7	+1	0	+1	+1
8	+1	+1	+1	+1
9	+1	-1	+1	+1

Для контрольных составов, а также через 60 и 210 суток экспонирования бетонных образцов на натурной площадке фиксировались следующие упруго-прочностные показатели: плотность, предел прочности при сжатии и растяжение при изгибе, модуль упругости и максимальная деформативность при сжатии. Экспериментально установлено, что в процессе экспонирования в течение 7 месяцев (с 1 апреля по 30 октября) 2014 года наблюдалось в целом повышение предела прочности при сжатии (рис. 5), связанное, прежде всего, с продолжением процес-

сов гидратации. Наибольший прирост характеристики, достигающий, соответственно, 73 и 100% к 210 суткам, наблюдается для составов 2 и 8 с максимальным содержанием песка (75% от твердой фазы смеси). Для контрольных образцов этих же составов зафиксированы наименьшие прочностные показатели при сжатии – всего 30 и 22 МПа.

Таблица 2 – Уровни варьирования переменных факторов

Факторы		Уровни варьирования		
		-1	0	+1
X_1	высокоактивный метакаолин (ВМК), % от массы цемента	0	5	10
X_2	песок (Республика Мордовия, Ичалковский р-н, пос. Смольный), % от массы твердой фазы	55	65	75
X_3	суперпластификатор Melflux 1641 F, % от массы вяжущего	0	0.4	0.8
X_4	режим помола	без помола	-	с помолом

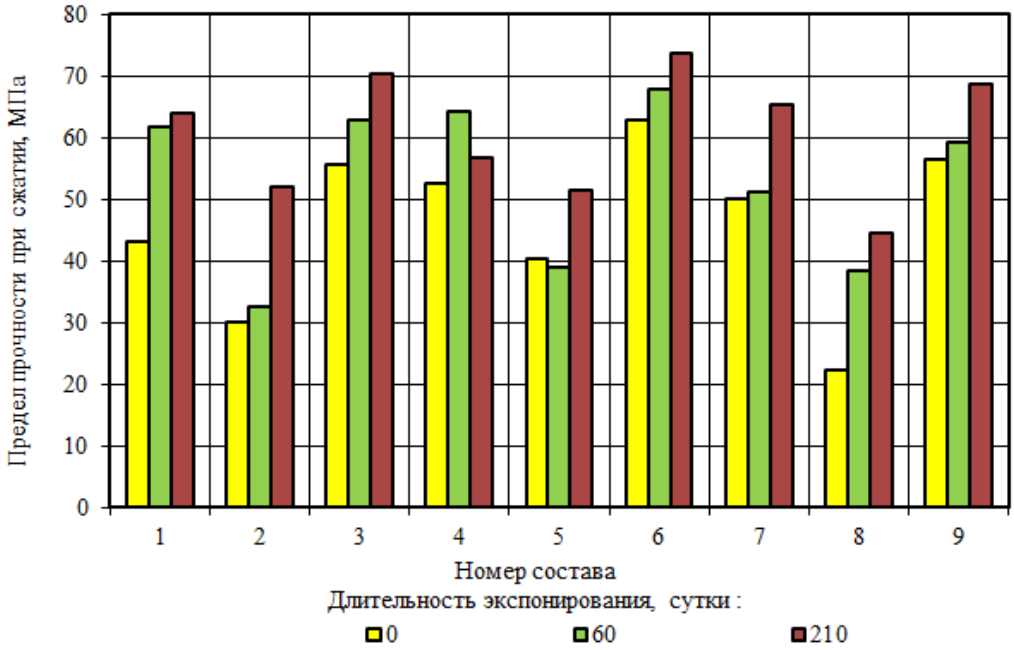


Рис. 5. Гистограммы изменения предела прочности при сжатии образцов мелкозернистого бетона в процессе экспонирования в натурных климатических условиях

Предел прочности на растяжение при изгибе является количественным критерием, по которому можно судить об изменении характеристик поверхностных слоев исследуемых композитов [4-5]. Из анализа данных, представленных на рис. 6, установлено, что к 60 суткам для всех исследуемых составов наблюдается повышение от 14 до 54% от первоначальной прочности. Однако последующее экспонирование образцов до 210 суток приводит к снижению предела прочности на растяжение при изгибе от 3 до 23% по сравнению с контрольными составами, что свидетельствует о начале накопления повреждений в поверхностных слоях образцов.

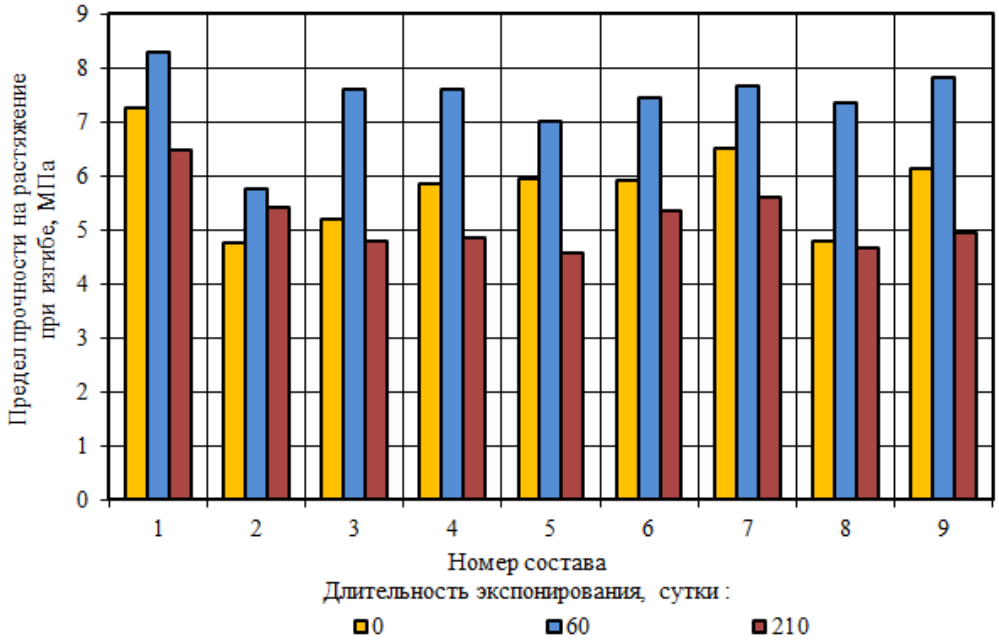


Рис. 6. Гистограммы изменения предела прочности на растяжение при изгибе образцов мелкозернистого бетона в процессе экспонирования в натурных климатических условиях

Накопление и анализ параметров, характеризующих агрессивное воздействие натурных климатических факторов, позволят определить степень влияния каждого из них на эксплуатационные характеристики мелкозернистых бетонов. Оптимизация составов с учетом агрессивного воздействия метеорологических, актинометрических параметров и загрязняющих веществ позволит обоснованно подойти к выбору композиционных строительных материалов с повышенной стойкостью к воздействию натурных климатических факторов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 13-08-97172.

Список литературы

1. Соломатов В.И., Селяев В. П., Соколова Ю. А. Химическое сопротивление материалов. 2-е изд., перераб. и доп. М., 2001. 384 с.

2. Селяев В.П., Низина Т.А., Уткина В.Н. Химическое сопротивление и долговечность строительных материалов, изделий, конструкций : учеб. пособие. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2003. 48 с.

3. Результаты натурных испытаний полимерных композиционных материалов на основе эпоксидных связующих / Д.Р. Низин, Д.А. Артамонов, А.Н. Чернов, Т.А. Низина // Огарёв-online. Раздел «Технические науки». 2014. Спецвып. Режим доступа: http://journal.mrsu.ru/arts/rezultaty-naturnykh-ispytanijj-polimernykh-kompozicionnykh-materialov-na-osnove-ehpoksidnykh-svyazuyushhikh.

4. Низина Т.А. Защитно-декоративные покрытия на основе эпоксидных и акриловых связующих. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2007. 260 с.

5. Селяев В.П., Низина Т.А. Использование метода деградационных функций для оценки и прогнозирования долговечности строительных конструкций // Фундаментальные исследования в области защиты от коррозии, старения и биоповреждений материалов и конструкций в различных климатических условиях и природных средах с целью обеспечения безопасной эксплуатации сложных технических систем: Всерос. науч.-техн. конф. М.: ВИАМ, 2013. С. 4.

УДК 691.57: 667.6

АКРИЛОВЫЕ ЛАКОКРАСОЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ БИОЦИДНЫМИ ДОБАВКАМИ НА ОСНОВЕ КОЛЛОИДНОГО СЕРЕБРА

Т. А. Низина*, Е. П. Коновалова*, О. А. Синюков*, Н. С. Никифоров*

**Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва, Россия, Саранск, nizinata@yandex.ru*

Приведены результаты исследования декоративных характеристик лакокрасочных составов на основе акриловых связующих, модифицированных гидрозолями серебра. Полосы плазмонного поглощения коллоидного серебра регистрировали методом абсорбционной спектроскопии. Использованы золи серебра, синтезированные путем восстановления нитрата серебра боргидридом натрия (золь I), танином (золь II) и глюкозой (золь III), представляющие собой интенсивно окрашенные растворы. Экспериментально подтверждена возможность использования разработанных биоцидных добавок для получения базовых лакокрасочных составов с высокой белизной для последующей колеровки.

Ключевые слова: защитно-декоративные покрытия; акриловые лакокрасочные составы; коллоидное серебро; гидрозоли серебра; биоцидные добавки; белизна; насыщенность цвета

ACRYLIC PAINT COATINGS MODIFIED BY BIOCIDAL ADDITIVE BASED ON COLLOIDAL SILVER

T. A. Nizina*, E. P. Konovalova*, O. A. Sinyukov*, N. S. Nikiforov*

**Ogarev Mordovia State University Russia, Saransk, nizinata@yandex.ru*

Shows the results of research decorative characteristics of paints compositions based on acrylic binders modified by silver hydrosol. Plasmon absorption bands of colloidal silver was recorded by method of absorption spectroscopy. Used silver sols synthesized by reduction of silver nitrate with sodium borohydride (sol I), tannins (sol II) and glucose (sol III), which are intensely colored solutions. Experimentally confirmed the possibility use of the developed biocide additives to obtain base paints formulations with high whiteness for subsequent tinting.

Keywords: protective and decorative coatings; Acrylic paint compositions; colloidal silver; silver hydrosol; biocidal additives; whiteness; color saturation

Для стабилизации свойств лакокрасочных покрытий, эксплуатируемых в условиях ультрафиолетового облучения, и повышения их биостойкости в настоящее время все чаще применяются препараты на основе серебра. Наночастицы серебра (коллоидное серебро) обладают редким сочетанием ценных физико-химических свойств: превосходные оптические характеристики; уникальная способность усиления сигнала; ярко выраженные антибактериальные свойства с отсутствием привыкания к нему микроорганизмов и безопасностью по отношению к организму человека [1 – 2]. Использование коллоидного серебра (наночастиц серебра) с концентрацией $1 \cdot 10^{-5}$ - $1 \cdot 10^{-2}$ % позволяет производить множество товаров народного потребления с ярко выраженными антибактериальными свойствами (гигиенические принадлежности, зубные пасты, ткани, краски и т.п.). Причем в связи со способностью данных частиц длительное время сохранять свои биоцидные свойства, рационально использовать наносеребро не в качестве дезинфицирующих средств частого применения, а готовить на их основе материалы с определенным сроком эксплуатации.

К основным направлениям использования наночастиц серебра в строительной отрасли следует отнести: производство лаков, красок и полимерных материалов для защитно-декоративных покрытий, а также других строительных и древесно-стружечных материалов с повышенной био- и химической стойкостью. Из-за незначительных концентраций вводимого Ag удорожание продукции происходит незначительно, а потребительские свойства возрастают многократно. Для стабилизации свойств лакокрасочных покрытий, эксплуатируемых в условиях ультрафиолетового облучения, и повышения их биостойкости в настоящее время также применяются препараты на основе коллоидного серебра.

В данной работе использовали коллоидное серебро в виде золей серебра, синтезированных на кафедре физической химии Мордовского государственного университета путем восстановления нитрата серебра боргидридом натрия (золь I), танином (золь II) и глюкозой (золь III). Характеристики синтезированных гидрозолей серебра приведены в табл. 1.

Электронные спектры регистрировали на спектрофотометре SPECORD UV VIS в режиме измерения оптической плотности. В спектрах регистрировались полосы плазмонного поглощения наночастиц серебра в диапазоне 400-416 нм. Абсорбционные спектры характеризуются узким максимумом поглощения.

Таблица 1 – Характеристики синтезированных гидрозолей серебра

Восстановитель	Цвет	Значение pH	Концентрация,% (в пересчете на $AgNO_3$)	λ_{max}, нм	A_{max}
Боргидрид натрия (Золь I)	темно-коричневый	9-10	$5{,}4\cdot10^{-2}$	401	0,556
Танин (Золь II)	красно-коричневый	4-5	$3{,}3\cdot10^{-3}$	416	1,141
Глюкоза (ЗольIII)	насыщенный коричневый	8-9	$2{,}5\cdot10^{-3}$	416	0,680

Так как используемые золи серебра представляют собой интенсивно окрашенные растворы и могут оказывать влияние на цвет готового покрытия, нами были изучены декоративные характеристики составов в зависимости от концентрации исследуемых золей. При проведении эксперимента использовали разведение золей серебра: 0.001; 0.0005; 0.0001; 0.00005 и 0.00001%. Исследование декоративных характеристик проводилось с применением компьютерных технологий.

В качестве базового состава была использована водно-дисперсионная краска ВД-АК-111, принимаемая при проведении тестирования акриловых составов за эталон. Компьютерный анализ декоративных характеристик лакокрасочных покрытий выполнялся с использованием программного комплекса «Статистический анализ цветовых составляющих лакокрасочных покрытий» [3].

Сканирование исследуемых образцов выполнялось с разрешением 300, 600, 1200 и 2400 dpi в режиме CMYK формата. Полученные растровые изображения сохранялись в графическом формате *.psd. По полученным после использования программного комплекса результатам определялись: цветовые различия по насыщенности соответственно для голубой, пурпурной, желтой, черной составляющих и яркости и цветовая насыщенность покрытия в целом.

Количественное описание цветового различия по насыщенности выполнялось путем сравнения исследуемого состава с абсолютно белым, имеющим максимальную ($f(X)$=100 %) плотность распределения при $X = 255$ [4, 5]:

$$S_p = \frac{\sum_{i=0}^{255}(255 - x_{pi}) \cdot f(x_{pi})}{255 \cdot 100}, \quad (1)$$

где X_{pi} – уровень цветовой составляющей, изменяющийся от 0 до 255; $f(X_{pi})$ – плотность распределения.

Цветовая насыщенность покрытия в целом по 4-м цветовым составляющим и яркости определялась по формуле:

$$E_{CMYKH} = \sqrt{S_C^2 + S_M^2 + S_Y^2 + S_K^2 + S_H^2}. \quad (2)$$

где S_C, S_M, S_Y, S_K и S_H – цветовое различие по насыщенности для голубой, пурпурной, желтой, черной составляющих и яркости.

Учитывая, что для белых красок характерно наличие большого числа точек, обладающих уровнем цветовых составляющих 255, то значительное количество пикселей исследуемых поверхностей обладает цветовой насыщенностью 0, что соответствует абсолютно белому цвету. В связи с этим был проведен анализ кривых изменения доли чистого белого (от 100 %) в зависимости от концентрации золей серебра (рис. 1). Выявлено, что наибольшие изменения цвета наблюдаются при введении золей серебра, восстановленных глюкозой, в концентрациях 0.0005 ÷ 0.0001%. При введении в краски золей серебра, восстановленных боргидридом натрия и тианином, доля чистого белого практически не меняется.

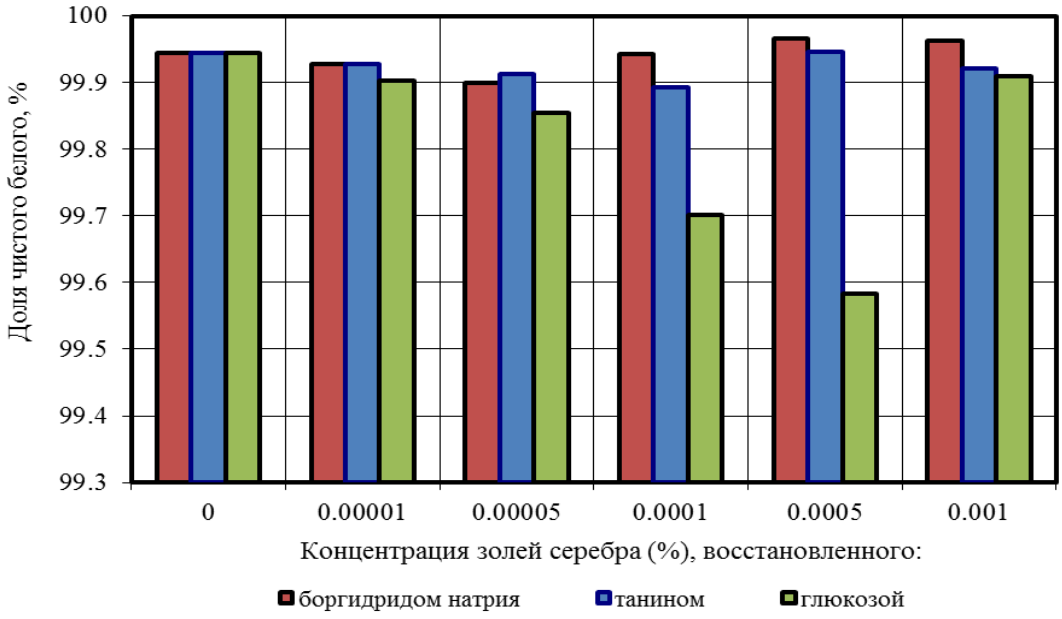


Рис. 1. Изменение доли чистого белого в зависимости от концентрации золей серебра

Типичные кривые распределения насыщенности цвета, превышающей нулевые значения (величина разрешения при сканировании 2400 dpi), представлены на рис. 2. Из анализа полученных результатов следует, что максимальная насыщенность цвета для отдельных точек исследуемых покрытий не превышает 0.2, что свидетельствует о незначительном влиянии исследуемых концентраций золей серебра на изменение цвета лакокрасочных покрытий. Плотность кривых распределения для золей I и II не превышает уровня 0.03%. Наибольшие значения дан-

ного параметра зафиксированы для золя III, однако и они не превышают 0.16% (рис. 2).

В качестве числовых характеристик кривых распределения чаще всего рассматривают два параметра – среднюю величину и стандартное отклонение (дисперсию). Чем меньше средние значения цветовой насыщенности, тем лакокрасочное покрытие белее; чем меньше стандартное отклонение – тем цвет покрытия однороднее.

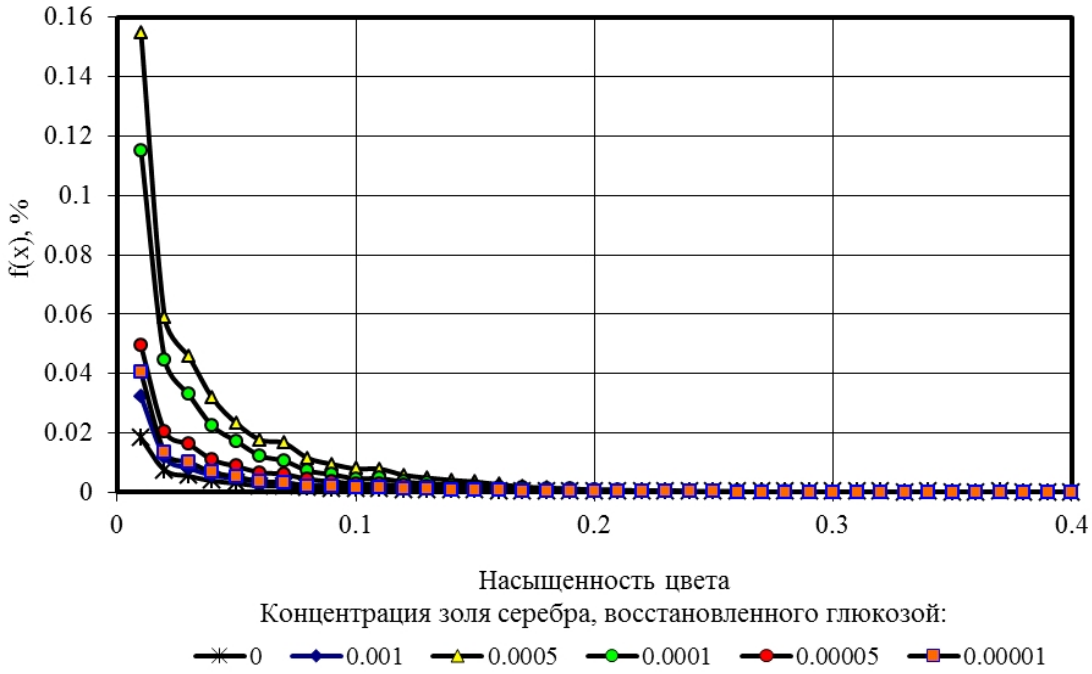


Рис. 2. Плотность кривых распределения насыщенности цвета в зависимости от концентрации золей серебра, восстановленных глюкозой

Таблица 2 – Значения средних арифметических ($\times 10^{-4}$) и стандартного отклонения насыщенности цвета акриловых лакокрасочных покрытий, содержащих золи серебра*

Концентрация золей серебра, %	Вид восстановителя		
	боргидрид натрия	танин	глюкоза
0	0,332 0,00234	0,332 0,00234	0,332 0,00234
0,00001	0,675 0,00271	0,471 0,00286	0,557 0,00201
0,0005	0,723 0,00329	0,595 0,00330	1,721 0,00277
0,0001	0,266 0,00164	0,655 0,00294	1,178 0,00322
0,0005	0,144 0,00115	0,223 0,00149	0,673 0,00399
0,001	0,143 0,00106	0,389 0,00217	0,395 0,00359

* в числителе приведены значения средних арифметических; в знаменателе – стандартного отклонения цветовой насыщенности.

Анализ изменения средних значений цветовой насыщенности в зависимости от концентрации золей серебра подтвердил (табл. 2) ранее сделанные выводы. Наибольшей насыщенностью цвета обладают акриловые составы с содержанием 0.00005÷0.0001% золя серебра, восстановленного глюкозой. Незначительное увеличение значений стандартных отклонений по сравнению с контрольными составами наблюдается, соответственно, для составов с золями серебра I, II и III при концентрациях 0.00001÷0.00005, 0.00001÷0.0001 и 0.00005÷ 0.001%.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой белизне получаемых покрытий, что позволяет использовать данные золи серебра в качестве стабилизирующих биоцидных добавок для лакокрасочных материалов на акриловой основе.

Список литературы

1. Влияние природы восстановителя на устойчивость коллоидного серебра / Е.П. Коновалова Е.П., Л.А. Живечкова, Н.С. Никифоров, Санаева Э.П., О.Б. Томилин // Актуальные проблемы биологии, экологии, химии и методик обучения: сб. материалов Междунар. науч.-техн. конф. Саранск, 2012. С. 166-170.

2. Низина Т.А., Коновалова Е.П., Синюков О.А. Анализ декоративных характеристик акриловых лакокрасочных покрытий, модифицированных стабилизирующими биоцидными добавками на основе гидрозолей серебра // Разработка эффективных авиационных, промышленных, электротехнических и строительных материалов и исследование их долговечности в условиях воздействия различных эксплуатационных факторов: материалы Междунар. науч.-техн. конф. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2013. С. 228-233.

3. Селяев В.П., Низина Т.А., Зубанкова Н.О., Ланкина Ю.А. Статистический анализ цветовых составляющих лакокрасочных покрытий // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006610820 от 28.02.2006 г. в Роспатенте по заявке №2005613472 от 29.12.2005 г.

4. Низина Т.А. Защитно-декоративные покрытия на основе эпоксидных и акриловых связующих. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2007. 258 с.

5. Селяев В.П., Низина Т.А., Зубанкова Н.О. Методика обобщенной оценки декоративных характеристик лакокрасочных покрытий на основе компьютерных технологий // Известия вузов. Строительство. 2008. № 6. С. 40-45.

УДК 666.712

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ СМЕШАНОСЛОЙНЫХ ГЛИН ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОТДЕЛОЧНЫХ СМЕСЕЙ

В. И. Логанина*, Р. Т. Мамешов**

** Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Россия, Пенза*

*** Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Казахстан, Уральск*

Приведены сведения о технологии получения органоминеральной добавки на основе глин с повышенным содержанием монтмориллонита. Рассмотрены вопросы адсорбции поверхностно-активных веществ на поверхности глин. Показано, что применение в рецептуре отделочных смесей органоминеральной добавки способствует повышению устойчивости к сползанию с вертикальной поверхности растворных смесей.

Ключевые слова: органоглина, адсорбция, поверхностно-активные вещества, диспергируемость, сухие строительные смеси, устойчивость к сползанию

TECHNOLOGY OF PRODUCING THE ORGANIC MINERAL ADDITIVE BASED ON MIXED-LAYER CLAYS TO INCREASE STABILITY OF FINISHING MIXES

V. I. Loganina*, R. T. Mameshov**,

** Penza state university of architecture and civil engineering, Russia, Penza*

*** West Kazakhstan Agrarian Technical University named by Zhangir Khan, Kazakhstan, Uralsk*

Given data about technology of producing the organic mineral additive based on clays with high content of montmorillonite. Examined problems of adsorption surfactants on the surface of clay. Shown that used in recipe of finishing mixes organic mineral additive promotes rising stability to slipping down from a vertical surface mortar mixtures.

Keywords: organic clay, adsorption, surfactants, dispersibility, dry mixes, resistance to slipping down

Одной из проблем при выполнении декоративных отделочных работ остается сползание растворных смесей после их нанесения на вертикальные поверхности. Для улучшения реологических и технологических свойств отделочных составов в их рецептуру вводятся тиксотропные добавки, одними из которых являются органоминеральные добавки (бентоны). Единственным отечественным аналогом зарубежных органоглин (бентонов) является органобентонит. Органобентонит применяется в различных отраслях промышленности, в том числе производство органоразбавляемых ЛКМ, добыча нефти и газа, литейное производство, очистка сточных вод, металлообработка и т. д. Технология получения органоминеральной добавки заключается в адсорбции поверхностно-активного вещества на бентонитовой глине (органомодификации) [1-3]. Наиболее распространенный метод органомодификации – вхождение соли типа алкиламмоний хлорида в межслоевое пространство глины.

В то же время объем выпуска органобентонита является недостаточным из-за ограниченности в запасах бентонитовых (монториллонитовых глин) глин.

В связи с вышеизложенным актуальной является задача разработки органоминеральных добавок на основе местных смешанослойных глин с преобладанием монтмориллонита [4-6].

Целью настоящей работы является разработка составов и технологии производства органоминеральной добавки на основе глин с преобладанием монтмориллонита с последующим ее использованием в декоративных известковых сухих строительных смесей.

В работе применяли глины, характеризующиеся различным содержанием монтмориллонита.

Для сравнения с бентонитами были проведены исследования обменной емкости смешанослойных глин. Результаты экспериментов приведены в табл. 1-3.

Таблица 1 – Показатели дисперсности глин

Месторождение глины	Значение удельной поверхности, $S_{yд}$, $м^2/кг$	Средний диаметр частиц, мкм
Воробьевское	1264	1,86
Белинское	1245	1,89
Камешкирское	1200	1,96
Лягушовское	1288	1,83

Таблица 2 – Химический состав глин

Химическое соединение	Содержание хим. соединений в зависимости от месторождения глины, %			
	Белинское	Камешкирское	Воробьевское	Лягушовское
SiO_2	59,56	75,41	72,76	65,50
$A1_2O_3$	11,85	11,04	11,57	9,54
Fe_2O_3	4,54	6,61	7,39	7,72
Прочие	24,05	6,94	7,72	15,46

Таблица 3 – Емкость катионного поглощения исследуемых глин

Месторождение глины	Значение емкости катионного поглощения, Е, мг·экв
Воробьевское	11,79
Белинское	20,48
Камешкирское	42,50
Лягушовское	39,73

Анализ глин по емкости катионного поглощения позволяет утверждать, что по минералогическому составу глина Воробьевского месторождения относится к каолинитовому типу глин, Белинского месторождения – к гидрослюдистому типу, Камешкирского и Лягушовского месторождений – к монтмориллонитовому.

При разработке органоминеральной добавки в качестве органического компонента применялись добавки ОП-4, ОП-7, ОП-10 и сульфанол. Добавка ОП-4 является продуктом взаимодействия алкифенолов с окисью этилена, относится к классу неионогенных ПАВ. Добавки ОП-7 и ОП-10 находятся в виде прозрачной жидкости желтого цвета. Эти вещества являются продуктами обработки смеси моно- и диалкилфенолов окисью этилена, обладают слабощелочной или слабокислой реакцией. Относятся к классу неионогенных ПАВ. Сульфанол – натриевая соль алкилбензолсульфокислоты – порошкообразное вещество белого цвета.

Для получения органоминеральной добавки определяли адбсорцию ПАВ на поверхности глины, диспергируемость глины в воде методом седиментационного анализа.

Для определения величины адсорбции органического компонента на поверхности глины в раствор добавки вводилась глина. Затем раствор перемешивался и отстаивался до установления адсорбционного равновесия.

Количество адсорбированного вещества определялось по изменению поверхностного натяжения водного раствора пластификатора $\sigma_{р\text{-}ра}$ вследствие снижения концентрации адсорбтива при добавлении в раствор глины. Определение поверхностного натяжения проводилось методом счета капель (сталагмометрический метод) [1]. По изменению поверхностного натяжения устанавливалась оптимальная концентрация пластификатора, при котором

$$\sigma_{р\text{-}ра} = const.$$

Эффективность применения органоминеральной добавки в отделочных составах оценивалась по их устойчивости к сползанию с вертикальной поверхности. Оценка устойчивости к сползанию отделочного слоя заключалась в следующем.

Отделочный слой толщиной δ и высотой h жестко скреплен с материалом стены (подложкой). Слой нагружен объемными силами ρ. На границе слоя возникают касательные напряжения τ, которые удерживают в равновесии рассматриваемый слой.

Для оценки условия нахождения слоя покрытия в равновесии (отсутствии «сползания») можно воспользоваться неравенством

$$\left|\tau_{\max}\right| = 4\gamma\delta \le \tau_{сд}, \quad (1)$$

где γ – средняя плотность материала отделочного слоя.

Значения $\tau_{сд}$ суммируются из предельного напряжения сдвига $\tau_о$ – реологической характеристики и адгезионной прочности покрытия и подложки $\tau_{ад}$:

$$\tau_{сд} = \tau_0 + \tau_{ад}. \quad (2)$$

Учитывая, что в начальный момент нанесения отделочного слоя величина $\tau_{ад}$ очень мала, выражение (2) может быть записано в виде

$$\tau_{\max} < \kappa\tau_0, \quad (3)$$

где *k* – коэффициент, учитывающий вклад адгезионной прочности в условие (2).

Выражение (3) может быть использовано для определения оптимальной толщины покрытия, исключающей его сползание с вертикальной поверхности.

Для оценки влияния органоминеральной добавки на устойчивость к сползанию отделочного раствора были проведены следующие испытания. На стеклянную пластину и поверхность из цементно-песчаного раствора, расположенные горизонтально, были нанесены составы на основе сухих строительных смесей толщиной 12 мм, после чего пластины поднимали в вертикальное положение. Определяли угол наклона пластины, при котором наблюдалось сползание отделочного раствора. Для сравнения приготавливались составы с применением добавки органобентонит в количестве 1 % от массы извести. В качестве контрольного был принят известково-песчаный состав с кварцевым песком с соотношением И:П = 1:4. Водоизвестковое соотношение (В/И) при этом составляло В/И=1,4. Содержание органоминеральной добавки составляло от 1 до 10 % от массы извести.

В работе устойчивость отделочного слоя к сползанию дополнительно оценивалась визуальным методом в соответствии с ЕН 998-1. Для этого пластинку с нанесенным раствором устанавливают в вертикальном положении (по длине пластинки) и выдерживают ее в течение 30 мин. Исследуемый раствор не должен стекать.

Установлено, что значение поверхностного натяжения остается постоянным при превышении концентрации добавок сульфанола более 0,2 %, ОП-10 и ОП-7 – более 0,5 %, ОП-4 – более 2 %, и составляет соответственно σ = 24,2 Дж/м^2, σ = 28,8 Дж/м^2, σ = 29,1 Дж/м^2 и σ = 27,0 Дж/м^2.

Установлено, что адсорбция добавки ОП-4 на воробьевской глине из раствора 0,1 и 0,2 %-й концентрации наступает через 10 часов, а 0,5 и 0,7 %-й концентрации – через 48 часов. Время, необходимое для полной адсорбции сульфанола из раствора 0,02 и 0,05 %-й концентрации составляет 10 часов, в то время, как из 0,07 и 0,1 %-ной концентрации – 22 часа.

Установлено, что полная адсорбция ОП-7 и ОП-10 на исследуемых глинах наступает через 10 часов при 0,02 %-й концентрации растворов и через 48 часов – при 0,2 и 0,5 %-й концентрации. Результаты экспериментальных данных свидетельствуют, что добавка ОП-10 по сравнению с добавкой ОП-7 обладает большей адсорбционной способностью. Так, значения адсорбции при концентрации растворов ОП-7 и ОП-10, равной 0,5 %, составили для воробьевской глины соответственно А=$2{,}183\cdot10^{-4}$ кг/м^2 и А = $2{,}308\cdot10^{-4}$ кг/м^2, для белинской глины – А = $2{,}258\cdot10^{-4}$ кг/м^2 и А = $2{,}517\cdot10^{-4}$ кг/м^2, для камешкирской глины – А = $2{,}442\cdot10^{-4}$ кг/м^2 и А = $2{,}992\cdot10^{-4}$ кг/м^2, для лягушовской глины – А = $2{,}375\cdot10^{-4}$ кг/м^2 и А = $2{,}817\cdot10^{-4}$ кг/м^2.

Для описания статического обмена было использовано уравнение изотермы адсорбции Лэнгмюра

$$a = \frac{a_\infty b C_p}{1 + b C_p}, \qquad (4)$$

где a – величина адсорбции ионов, кг/м^2;

a_∞ – максимальная адсорбция, соответствующая полному покрытию поверхности минерала, кг/м^2;

b – константа, характеризующая адсорбируемость ПАВ, $\frac{1}{\%}$;

C_p – равновесная концентрация в растворе, %.

Результаты расчета и эксперимента приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Константы уравнения Лэнгмюра, характеризующие адсорбцию ПАВ на глинах

Месторождение глины	Значение адсорбции при максимальной концентрации ПАВ, $a_\infty \cdot 10^{-4}$, кг/м^2		Значение константы адсорбционного равновесия, b, 1 / %	
	ОП-7	ОП-10	ОП-7	ОП-10
Воробьевское	2,183	2,308	0,3713	0,4266
Белинское	2,258	2,517	0,4080	0,4923
Лягушовское	2,375	2,817	0,4352	0,6146
Камешкирское	2,442	2,992	0,4603	0,6941

Полученные значения констант адсорбируемости b свидетельствуют, что наиболее склонной к адсорбции являются добавки ОП-4 и сульфанол по сравнению с остальными добавками.

Результаты оценки диспергирующей способности в воде полученных органоминеральных добавок по сравнению с обычной глиной методом седиментационного анализа и влияния модифицированной и контрольной глины на оседание частиц в водном растворе приведены на рис. 1, 2.

Результаты исследований (рис. 1) показали, что оседание частиц глины, модифицированной сульфанолом, проходит медленнее, чем оседание контрольной глины, то есть частицы органоминеральной добавки, модифицированной сульфанолом, в водном растворе становятся более дисперсными.

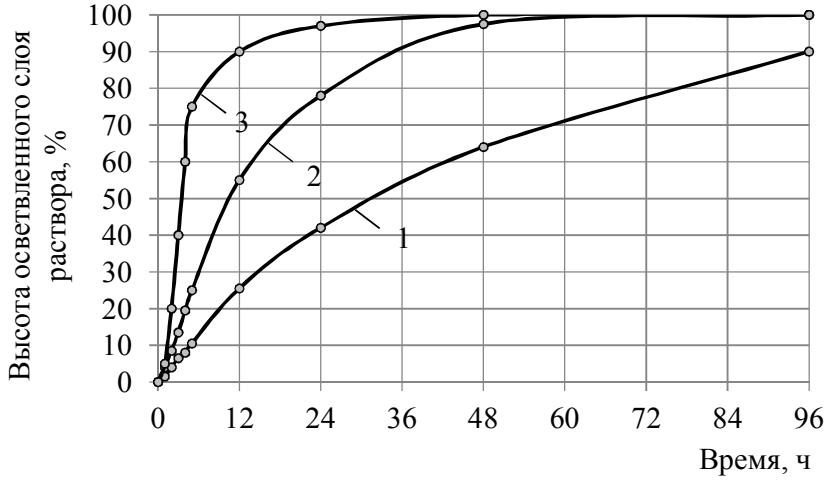


Рис. 1. Кривая осаждения частиц:
1 – контрольной глины; 2 – органоглины, модифицированной сульфанолом;
3 – органоглины, модифицированной ОП-4

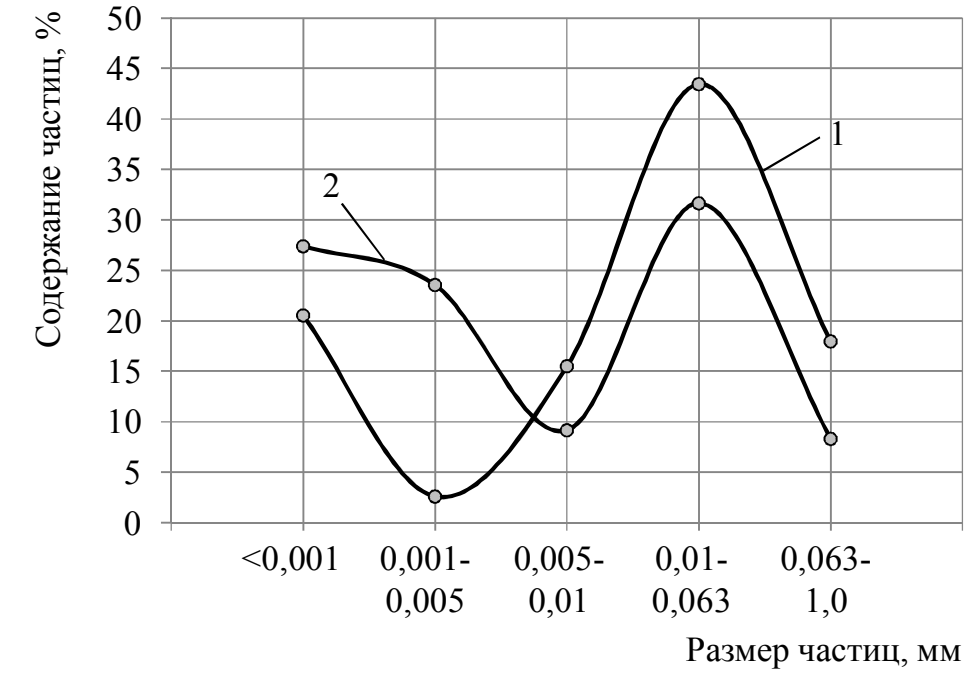
Глина, модифицированная добавкой ОП-4, оседает быстрее необработанной глины. Очевидно, это связано с маслообразной консистенцией самой добавки, которая придает органоглине на основе ОП-4 маслянистую текстуру. Органоглина на основе ОП-4 не расшелушивается в водных растворах и не становится более дисперсной по сравнению с контрольной глиной. Полученные результаты свидетельствуют о невозможности использования добавки ОП-4 в качестве сырья при получении органоглины для сухих строительных смесей.

Дополнительно были проведены сравнительные исследования гранулометрических составов глин Камешкирского и, для сравнения, Воробьевского месторождений, обработанных добавкой ОП-10 и в естественном состоянии. Исследование гранулометрического состава проводилось пипеточным методом. Результаты экспериментов представлены на рисунке 2.

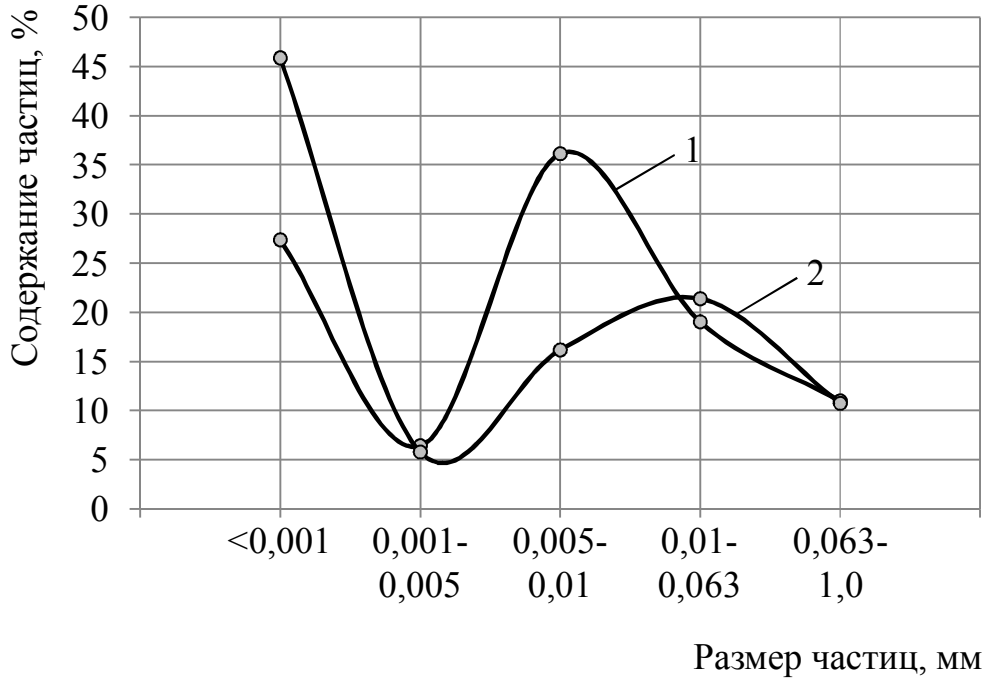
Установлено, что модифицированная глина хорошо диспергируется в воде: увеличивается содержание мелких фракций и уменьшается содержание крупных фракций. Так, содержание частиц размером менее 0,001 мм в органоглине на основе Камешкирского месторождения составляет 46 %, фракций 0,01-0,005 мм – 16 %, а в контрольном составе соответственно 27 и 36%.

Аналогичная ситуация наблюдается и в случае с воробьевской глиной. Содержание частиц размером 0,001-0,005 мм в органоглине составляет 23,5 %, фракций 0,01-0,063 мм 32 %, а в контрольном составе соответственно 3 % и 43,5 %. При этом модификация глин органической добавкой способствовала увеличению содержания частиц размером менее 0,001 мм в органоглине на основе Камешкирского месторождения на 68 %, на основе Воробьевского месторождения – на 33 %.

Результаты исследования адсорбирующей способности глин свидетельствуют, что камешкирская глина по сравнению с белинской, воробьевской и лягушовской глинами (Россия) обладает более высокими адсорбирующими свойствами. Вероятно, это связано с минеральными составами глин, хотя все они и относятся к смешанослойным глинам, все же в камешкирской глине преобладает монтмориллонитовая составляющая.



а



б

Рис. 2. Гранулометрические составы глин месторождения:
а) Воробьевское; 1 – немодифицированная глина;
б) Камешкирское: 2 – глина, модифицированная органической добавкой

Исходя из результатов проведенных исследований, рекомендуется при получении органоминеральной добавки использовать неионогенные добавки ОП-7 и ОП-10 и анионную добавку сульфанол. При этом в зависимости от выбранного ПАВ на получение 1 кг органоминеральной добавки потребуется 38 г добавки ОП-7 либо 45 г ОП-10 или 46 г сульфанола.

Результаты оценки эффективности применения органоминеральной добавки в известковых отделочных смесях путем определения устойчивости к сползанию

отделочного слоя подтвердили ее эффективность (табл. 5). Устойчивость к сползанию отделочного слоя на основе исследуемых составов при толщине 12 мм сохраняется даже при угле наклона пластины, равного 90°, в то время как с поверхности стеклянной пластины сползание происходило уже при угле наклона 15°. Поэтому при определении предельного напряжения сдвига $\tau_{сд}$ известковых составов на стеклянной подложке угол наклона пластины составлял 14°. Такое различие обусловлено вкладом адгезионной прочности.

Установлено, что введение добавок органобентонита и органоминеральных добавок на основе смешанослойных глин приводит к снижению пластической прочности отделочного состава и повышению значений касательных напряжений τ_{max} (табл. 5). Значение пластической прочности τ_o и максимальных напряжений τ_{max} контрольного состава составляют $\tau_o = 8{,}48 \times 10^{-5}$ МПа и $\tau_{max} = 101{,}41\times10^{-5}$ МПа, а при введении органоминеральной добавки в количестве 1 % соответственно – $\tau_o = 4{,}58\times10^{-5}$ МПа и $\tau_{max} = 101{,}72\times10^{-5}$ МПа. Аналогичные закономерности наблюдаются и при введении органобентонита.

Результаты исследований показали, что при введении органоминеральной добавки увеличивается адгезионная прочность покрытия на растворной подложке (табл. 5). В то же время наибольшие значения коэффициента, учитывающего вклад адгезионной прочности в условие (3), наблюдаются в составах с органоминеральной добавкой в количестве 1% от массы извести (k=22,21). С увеличением содержания органоглины максимальные касательные напряжения τ_{max} увеличиваются при уменьшении адгезионной прочности $\tau_{ад}$.

Исходя из данных табл. 5, можно говорить о том, что с увеличением содержания органоминеральной добавки в составе смеси увеличиваются как максимальные напряжения, так и силы сцепления растворной смеси на стеклянной подложке, благодаря которым известковый состав сохраняет стойкость к сползанию до угла наклона пластины – 15°.

Таблица 5 – Влияние органоминеральных добавок на устойчивость к сползанию известковых составов

Состав	Пластическая прочность, τ_o, МПа$\times10^{-5}$	Максимальные касательные напряжения, τ_{max}, МПа$\times10^{-5}$	На растворной подложке		На стеклянной подложке
			Коэфф. k	Предельное напряжение сдвига, $\tau_{сд}$, МПа$\times10^{-5}$	Предельное напряжение сдвига, $\tau_{сд}$, МПа$\times10^{-5}$
Известь: песок=1:4 (контрольный)	8,48	101,41	11,96	101,41	104,55
то же + органобентонит (1 %)	5,48	101,68	18,55	101,68	105,04
то же + органоминеральная добавка (1 %)	4,58	101,72	22,21	101,72	105,08
то же + органоминеральная добавка (3 %)	5,00	102,34	20,47	102,34	105,72
то же + органоминеральная добавка (5 %)	5,34	102,95	19,28	102,95	106,35
то же + органоминеральная добавка (10 %)	6,00	104,50	17,42	104,50	107,95

Были рассчитаны значения касательных напряжений в отделочном слое при различной толщине его нанесения на вертикальную поверхность (табл. 6).

Установлено, что максимальные значения касательных напряжений при толщине отделочного слоя 10-15 мм составляют $\tau_{max} = 84{,}77\times10^{-5}$-$127{,}15\times10^{-5}$ МПа, что значительно выше пластической прочности. Однако сползание отделочного раствора происходит лишь при толщине 15 мм. Очевидно, устойчивость отделочного слоя к сползанию до толщины 12 мм обусловлена вкладом адгезионной прочности $\tau_{ад}$.

Таблица 6 – Максимальные значения касательных напряжений в отделочном слое

Толщина слоя, мм	Максимальные значения касательных напряжений, τ_{max}, МПа$\times10^{-5}$
10	84,77
12	101,72
15	127,15

При оценке устойчивости к сползанию визуальным методом установлено, что низкой устойчивостью к сползанию характеризуется контрольный состав. Отделочный слой на основе такого состава обладает устойчивостью к сползанию лишь до толщины 5 мм, в то время состав с органоминеральной добавки сохраняет устойчивость к сползанию до толщины 15 мм. Такие же результаты получаются и при введении в рецептуру добавки органобентонит.

Введение в известково-песчаный состав суперпластификатора С-3 позволяет несколько повысить устойчивость к сползанию до толщины отделочного слоя 17 мм. Наличие в рецептуре растворной смеси добавок С-3 и органоглины позволяет повысить устойчивостью к сползанию до толщины отделочного слоя 20 мм. Введение в рецептуру добавки редиспергируемого порошка Mowilith Pulver DM 1142 P способствует повышению прилипаемости состава к отделываемой поверхности, повышению пластической прочности, что в целом способствует повышению устойчивости к сползанию состава. В составах с заполнителем из Нижне-Аблязовского карьера наблюдается аналогичная закономерность. (Таблица 7)

Дополнительно оценивалось смещение относительно жестко закрепленной линейки верхних слоев отделочного слоя, нанесенного толщиной 12 мм на бетонную поверхность. Экспериментальные данные показали, что смещение отделочного слоя на основе контрольного раствора составило 1 мм, на основе состава с органоглиной в количестве 1 % от массы извести – 0,3 мм, а при содержании органоглины 3 % и выше – смещения не наблюдается. При введении в рецептуру добавки органобентонита в количестве 1 % смещение также отсутствует.

Разработана технология и рецептура органоминеральной добавки для сухих строительных смесей, заключающаяся в адсорбции анионных и неионогенных ПАВ на поверхности смешанослойных глин с повышенным содержанием монтмориллонита. Предложено при производстве органоминеральной добавки применять глину Камешкирского месторождения, в качестве органической добавки использовать неионогенное поверхностно-автивное вещество ОП-10. Величина адсорбции добавки ОП-10 составляет $0{,}375\cdot10^{-4}$ кг/м^2.

Таблица 7 – Устойчивость отделочного слоя к сползанию

Состав	Предельное напряжение сдвига, τ_0, МПа×10^{-5}	Толщина слоя, мм					
		5	10	12	15	17	20
И:П=1:4, В/И=1,4 (контрольный)	8,48	-	+	+	+	+	+
И:П=1:4, В/И=1,4+органоминеральная добавка (1%)	4,58	-	-	-	+	+	+
И:П=1:4, В/И=1,4+органобентонит (1%)	5,48	-	-	-	+	+	+
И:П=1:4, В/И=1,07+добавка С-3 (1%)	9,00	-	-	-	-	+	+
И:П=1:4, В/И=1,07+органоминеральная добавка (1%) +добавка С-3 (1%)	10,10	-	-	-	-	-	-
И:П=1:4, В/И=1,07+ органобентонит (1%) +добавка С-3 (1%)	9,33	-	-	-	-	-	-
И:П=1:4, В/И=1,07+органоминеральная добавка (1%) +добавка С-3 (1%) + добавка Mowilith Pulver DM 1142 P (1%)	12,34	-	-	-	-	-	-
И:П=1:4, В/И=1,07+органобентонит (1%) +добавка С-3 (1%) +добавка Mowilith Pulver DM 1142 P (1 %)	11,73	-	-	-	-	-	-

Примечание: знак (-) означает отсутствие сползания, знак (+) – наличие сползания отделочного слоя

Установлено, что введение в рецептуру известковой сухой смеси органоминеральных добавок на основе смешанослойных глин Пензенского региона способствует повышению устойчивости к сползанию отделочного слоя. Определена оптимальная толщина отделочного слоя, составляющая 20 мм, при которой не наблюдается сползание с вертикальной поверхности.

Список литературы

1. Wen-Yih Kuo, Jong-Shin Huang, Chi-Hsien Lin. Effects of organo-modified montmorillonite on strengths and permeability of cement mortars // Cement and Concrete Research. 2006. Vol. 36, Issue 5. P. 886-895.

2. Sarier N., Onder E. Organic modification of montmorillonite with low molecular weight polyethylene glycols and its use in polyurethane nanocomposite foams // Thermochimica Acta. 2010. – Vol. 510, Issues 1–2. P. 113-121.

3. Effect of cationic surfactant adsorption on the rheological and surface properties of bentonite dispersions / E. Günister, S. İşçi, N. Öztekin, F. B. Erim, Ö. I. Ece, N. Güngör // Journal of Colloid and Interface Science. 2006. Vol. 303, Issue 1. P. 137-141.

4. Логанина В. И., Петухова Н. А. Полистирольные краски, содержащие органоминеральные добавки // Лакокрасочные материалы и их применение. 2008. № 4. С. 25-29.

5. Перспективы изготовления органо-минеральной добавки на основе отечественного сырья / В. И. Логанина, Н. А. Петухова, В. Н. Горбунов, Т. Н. Дмитриева // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2009. № 9. С. 36-39.

6. Логанина В. И., Петухова Н. А. Модификация рецептуры полистирольного красочного состава дисперсными частицами органоглины // Известия вузов. Строительство. 2008. № 8. С. 25-27.

7. Структура и деформационное поведение нанокомпозитов на основе полипропилена и модифицированных глин / Е. М. Антипов, М. А. Гусева, В. А. Герасин, Ю. М. Королев, А. В. Ребров, H. R. Fisher, И. В. Разумовская // Высокомолек. соед. 2003. Т. 45. № 11. С. 1874-1884.

8. Бродский, Ю. А., Файнштейн И. З. Органобентонит – эффективная добавка при производстве лакокрасочных и других отделочных материалов // Строительные материалы. 2000. № 10. С. 44.

УДК 691.32:666

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ И РАСХОДА ШЛАКА НА УДОБОУКЛАДЫВАЕМОСТЬ САМОУПЛОТНЯЮЩЕЙСЯ БЕТОННОЙ СМЕСИ

О. М. Смирнова*, К. В. Никольский*, Е. В. Андреева*

** Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,*

Россия, Санкт-Петербург, smirnovaolgam@rambler.ru

Определены расход и дисперсность молотого гранулированного доменного шлака для получения самоуплотняющейся бетонной смеси с улучшенной удобоукладываемостью.

Ключевые слова: самоуплотняющийся бетон, портландцемент, молотый гранулированный доменный шлак, пластифицирующая добавка на поликарбоксилатной основе

INFLUENCE OF DISPERSITY AND QUANTITY OF SLAG ON WORKABILITY OF SELF-COMPACTING CONCRETE

O. M. Smirnova*, K. V. Nikolskiy*, E. V. Andreeva*

** Petersburg State Transport University,*

Russia, Saint-Petersburg, smirnovaolgam@rambler.ru

In the paper it has formulated the recommendations to choose the quantity and dispersion of ground granulated blast furnace slag to obtain self-compacting concrete with good workability.

Keywords: self-compacting concrete, workability, Portland cement, ground granulated blast furnace slag, polycarboxylate-based superplasticizer

Самоуплотняющиеся бетоны находят свое применение для бетонирования густоармированных конструкций, труднодоступных для уплотнения мест. Затвердевший самоуплотняющийся бетон по своим свойствам не отличается от бетона, уплотненного традиционными способами. Однако бетонная смесь для самоуплотняющегося бетона должна обладать рядом свойств, таким как: достаточная растекаемость, характеризуемая диаметром расплыва конуса; вязкость, оцениваемая продолжительностью вытекания из V-образной воронки или продолжительностью достижения диаметра расплыва конуса, равного 500 мм; способность смеси протекать через густое армирование, характеризуемая соотношением высот в L-образном ящике; хорошая связность, исключающая расслоение смеси и оцениваемая остатком на сите [1].

Для того чтобы бетонная смесь обладала требуемыми свойствами одним из необходимых условий является увеличение количества цементного теста, что обеспечивается за счет применения кроме портландцемента минеральных добавок, таких как: молотый гранулированный доменный шлак, зола-уноса, микрокремнезем, метакаолин, молотые горные породы, в том числе известняк, кварцевый песок.

Удобоукладываемость самоуплотняющейся бетонной смеси зависит не только от свойств портландцемента, но и от вида, количества и гранулометрического состава минеральных добавок [2-4]. Кроме этого является необходимым использование эффективной суперпластифицирующей добавки, чаще всего на поликарбоксилатной основе. В связи с тем, что пластифицирующее действие добавок на поликарбоксилатной основе зависит от вида, количества и дисперсности мине-

ральной добавки [5], авторы ставят задачу установить расход и дисперсность молотого шлака, повышающего диаметр расплыва бетонной смеси.

Для исследования был использован портландцемент ПЦ500–Д0–Н производства ОАО «Мордовцемент» нормированного состава, т.е. с ограничением содержания C_3A, шлак Тульского металлургического завода; песок, удовлетворяющий ГОСТ 8736-93 «Песок для строительных работ. Технические условия» с модулем крупности 2,03; щебень фракции 5-20 мм, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия». Химический состав шлака представлен в табл. 1. Гранулометрический состав молотого шлака был определен с помощью лазерного дифракционного анализатора размера частиц MicroSizer 201 и представлен в табл. 2.

Таблица 1 – Химический состав шлаков

Вид шлака	Обозначение	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	MnO	FeO	S	TiO_2	Na_2O	Ka_2O
Тульский	1	35,9	11,4	42,8	6,44	0	Не опред.	Не опред.	Не опред.	0,27	0,33

Таблица 2 – Гранулометрический состав молотых шлаков

	Содержание частиц размером менее, %			
	1 мкм	5 мкм	10 мкм	50 мкм
Шлак «Тулачермет» помол № 1	4,1	29,8	49,6	100
Шлак «Тулачермет» помол № 2	7,2	49,8	79,1	78,1

Состав бетона был принят 1:1,5:1,36 в соответствии с [1] для самоуплотняющегося бетона. В качестве пластифицирующей добавки был использован суперпластификтор на поликарбоксилатной основе, который соответствовал ГОСТ 24211-2008 и был взят в количестве 0,5% от массы вяжущего вещества.

Влияние тонкости помола и расхода молотого шлака на удобоукладываемость самоуплотняющейся бетонной смеси представлено в таблице 3. Для этого были взяты 3 состава с одинаковым В/Ц отношением и с содержанием шлака 30, 50, 70% от массы портландцемента. Испытания бетонной смеси проведены с помощью конуса высотой 30 см.

Таблица 3 – Испытания бетонной смеси на шлаке с тонкостью помола № 1

Содержание шлака, %	Диаметр расплыва конуса, мм	T_{500}, сек.
30	575	4
50	610	4
70	550	5

Таблица 4 – Испытания бетонной смеси на шлаке с тонкостью помола № 2

Содержание шлака, %	Диаметр расплыва конуса, мм	T_{500}, сек.
30	590	3
50	620	3
70	580	4

Из анализа табл. 3 и 4 можно заключить, что введение шлака в количестве 50% способствовало увеличению диаметра расплыва конуса при этом вязкость бетонной смеси, характеризуемая продолжительностью достижения диаметра расплыва конуса, равного 500 мм (обозначена T_{500}), практически не изменилась. Самоуплотняющиеся бетонные смеси с низкой вязкостью имеют хорошую заполняющую способность даже с густым армированием, хорошо самовыравниваются, а затвердевший бетон имеет гладкую поверхность. Однако в таких смесях необходимо контролировать расслоение.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено соотношение между портландцементом и молотым гранулированным доменным шлаком, обеспечивающее максимальный диаметр расплыва смеси, которое составило 1:1 по массе. Более тонкий помол шлака не способствовал повышению диаметра расплыва смеси.

Список литературы

1. Brameshuber W. Selbstverdichtender Beton // Verlag Bau+Technik GmbH. Düsseldorf. 2004. P. 67.

2. Смирнова О.М., Макаревич О.Е. Расход и дисперсность молотого известняка для самоуплотняющегося бетона // Цемент и его применение. 2014. № 4. С. 76-78.

3. Петрова Т.М., Смирнова О.М., Фролов С.Т. Свойства пластифицированных композиций портландцемент-доменный шлак с учетом электроповерхностных явлений // Вестник гражданских инженеров. 2011. № 2. С. 118-123.

4. Петрова Т.М., Смирнова О.М., Калмуханов Н.С. К вопросу о самоуплотняющихся бетонах // Научному прогрессу – творчество молодых: сб. материалов Междунар. науч. студенческой конф. по естественнонаучным и техническим дисциплинам / отв. ред. В.А. Иванов. 2009. С. 211-213.

5. Смирнова О.М. Высококачественные бетоны для предварительно напряженных железобетонных подрельсовых конструкций: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / СПб. гос. арх.-строит. ун-т. СПб., 2013.

УДК 666.97

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОКЛАВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭФФУЗИВНЫХ ПОРОД

Е. В. Фомина*, К. П. Сулим*, А. Е. Фомин*

** Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, Белгород*

Установлено, что существенным критерием качества эффузивных пород является состав рентгеноаморфного кремнеземсодержащего вещества, оказывающий влияние на их реакционную активность при взаимодействии компонентов вяжущего, синтез гидросиликатных фаз в условиях автоклавной обработки с повышением прочности вяжущего, что в комплексе направлено на решение вопросов энерго- и ресурсосбережения.

Ключевые слова: композиционное вяжущее, автоклав, эффузивная порода, активность, гидросиликат

ENHANCEMENT OF EFFICIENCE OF AUTOCLAVE MATERIALS BY EFFUSIVE ROCKS APPLICATION

E. V. Fomina*, K. P. Sulim*, A. E. Fomin*

** Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov, Russia, Belgorod*

In the work it is determined the main quality criterion for effusive rocks is composition of X-ray amorphous silica-containing component having influence on reactivity of the binder component, synthe-

sis of hydrosilicates under autoclaving. It allows improving the binder strength and solution of problems concerning energy- and resource-saving
Keywords: composite binder, autoclave, effusive rock, reactivity, synthesis, hydrosilicate

В связи с высокими темпами роста жилищного и промышленного строительства растет спрос на строительные материалы автоклавного твердения. Современная промышленность автоклавных строительных материалов сопряжена с использованием значительных объемов сырьевых и энергетических ресурсов, поэтому основной задачей является усовершенствование их качества при снижении энергозатрат и материалоемкости. Решить поставленную задачу возможно за счет управления процессами взаимодействия компонентов и степенью гидратационной активности вяжущих.

По традиционной технологии производства автоклавных изделий плотной и ячеистой структуры основную часть силикатной смеси составляет кварцевый песок, который ввиду его генетических особенностей характеризуется низкой растворимостью в нормальных условиях с повышением химической активности в условиях автоклавной обработки. Одно из перспективных направлений повышения активности сырьевой смеси вяжущего для производства силикатных материалов является применение реакционноактивных алюмосиликатов различного генетического типа [1-4]. В качестве такого сырья могут использоваться эффузивные породы, такие как перлит и липарит.

Целью данной работы являлось изучение влияния эффузивных алюмосиликатных пород на активность композиционного вяжущего автоклавного твердения.

В работе изучали алюмосиликатные породы: перлит Мухор-Талинского месторождения, липарит Береговского месторождения, использовался также кварцевый песок Разуменского месторождения (табл. 1).

Таблица 1 – Химический состав пород, масс. %

Минерал	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	TiO_2	K_2O	Na_2O	H_2O	MnO	ппп
Перлит	75,5	13,6	1,0	1,0	0,3	0,1	4,8	3,8	5,3	-	-
Липарит	73,45	12,5	1,80	1,45	0,85	0,22	4,99	2,99	0,78	0,32	0,65
Кварцевый песок	92,4	2,36	0,77	1,88	0,2	-	-	-	-	0,05	1,95

Перлит и сопутствующая ему порода липарит – это алюмосиликатная разновидность вулканического стекла существенно кислого состава. По своему природному происхождению в этих породах максимально сконцентрирована энергетика геологических процессов, обусловленная магматогенно-эффузивным генезисом, заключающаяся в аморфном состоянии полиморфных модификаций кремнезема наноразмерного уровня, поэтому они являются природными высокоактивными минералами. Изучение активности алюмосиликатов заключалось в исследовании количества и качества силикатов стекловидной аморфной фазы, размер которых колеблется в пределах наноуровня. По результатам полнопрофильного РФА установлено, что в перлите содержится 98,45% аморфного кремнезема, а в липарите – 75%. Определение концентрационных показателей аморфной фазы пород осуществлялось компьютерной обработкой данных рентгенофазового анализа с помощью программы FullProf (табл. 2).

Таблица 2 – Фазовый состав пород

Наименование		Содержание компонентов (вес, %)	Размер кристаллитов, нм
Перлит	кристобалит	23	2
	α-кварц	77	1,2
Липарит	тридимит	3	1,6
	кристобалит	97	1
Кварцевый песок	α-кварц	90	450
	β-кварц	10	24

Аморфная фаза перлита представлена наноразмерными кристаллитами кристаболита и α-кварца, в липарите – высокотемпературными модификациями кремнезема тридимитом и кристобалитом. Полученные данные о количественном и качественном составе аморфной фазы в алюмосиликатном сырье, теоретически позволяют определить реакционную активность породы, которая согласно снижению активности в ряду кристобалит > тридимит > кварц будет выше у породы липарит.

Для оценки качества и пригодности эффузивных пород в силикатных системах, проводили комплексное изучение реакционной способности алюмосиликатных материалов по отношению к щелочным растворам (метод Запорожца), гипсовым растворам (метод М.И. Стрелкова), величине активных центров (метод БЭТ) (табл. 3).

Таблица 3 – Свойства пород

Минерал	Сорбционная способность, мг CaO/г	Активность по поглощению гипса, мг/100 г	Величина активных центров, $м^2/кг$	Показатель активности $К_{акт}=(CaO+R_2O)/(Al_2O_3+Fe_2O_3)$
Кварцевый песок	12	40	3100	0,25
Перлит	31	288	58300	0,63
Липарит	52	215	64300	0,75

Указаны свойства при средней удельной поверхности материалов 3000–4000 $м^2/кг$.

Гидравлическая активность эффузивных пород в сравнении с активностью кварцевого песка определяется наличием аморфизированного наноразмерного вещества с высокой реакционной поверхностью (табл. 3). В перлите содержится большее количество активного глинозема, который связывается с гипсом в гидросульфоалюминат. Максимальной сорбционной способностью по отношению к оксиду кальция обладает липарит. Несмотря на достаточно высокое содержание рентгеноаморфного вещества, перлит обладает значительно меньшей сорбционной активностью. Это связано, прежде всего, с тем, что в составе ренгеноаморфного вещества преобладают тонкодисперсные частицы α-кварца скрытокристаллической структуры (табл. 2).

Активность композиционного вяжущего с добавкой эффузивных пород исследовали при соотношении компонентов извести и песка 1:1. Проводили замену 15% кварцевого песка на эффузивную породу. В ранее проведенных исследованиях экспериментально установлено, что данное количество является оптимальным при максимальном наборе прочности вяжущего [5].

В данной работе активность извести составляла 73%. Известь измельчали до удельной поверхности не ниже 400 м^2/кг. Удельная поверхность кварцевого и алюмосиликатного компонента составляла 300 м^2/кг. Формовали образцы композиционного вяжущего пластичной консистенции размером 2×2×2 см. Автоклавную обработку проводили при температуре 183 ºС, давлении 10 атм по режиму: 2–6–2.

Таблица 4 – Кинетика твердения композиционного вяжущего

Состав	Количество, масс.%			Предел прочности при сжатии, МПа
	связанной CaO	связанного SiO_2	гидросиликатов кальция	
Без добавки	21,5	21,8	45,34	38,0
С добавкой перлита	23,3	22,5	49,25	43,8
С добавкой липарита	24,8	29,3	57,47	47,0

Обладая высокой гидравлической активностью, эффузивные породы вступают во взаимодействие с известью уже на начальных этапах твердения с последующим увеличением количества гидросиликатов кальция в условиях автоклавной обработки. Следует отметить, что в отличие от липарита в перлите содержится больше аморфной фазы, однако ввиду того, что рентгеноаморфная фаза липарита представлена высокотемпературными модификациями кремнезема, которые активнее вступают в реакцию взаимодействия с оксидом кальция, активность автоклавированного вяжущего с применением этой породы выше на 23% в сравнении с бездобавочным составом.

Таким образом, существенным критерием качества эффузивных пород является состав рентгеноаморфного вещества, содержание в котором преимущественно высокотемпературных модификаций кремнезема тридимита и кристобалита позволяет повысить реакционную активность взаимодействия SiO_2 с CaO, энергетически облегчая синтез гидросиликатных фаз на всех этапах твердения вяжущего. В комплексе это позволит снизить расход вяжущего при производстве автоклавных материалов и сократить время изотермической выдержки изделий в автоклаве.

Работа выполнена в рамках программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова, с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

Список литературы

1. К вопросу об использовании вулканического сырья Камчатки в качестве минеральной добавки / Трунов П.В., Алфимова Н.И., Лесовик В.С., Потапов В.В., Шадский Е.Е. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. № 4. С. 84-88.

2. Лесовик В.С., Строкова В.В., Володченко А.А. Влияние наноразмерного сырья на процессы структурообразования в силикатных системах // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2010. № 1. С. 13-17.

3. Концепция контроля качества алюмосиликатных вяжущих негидратационного твердения / Войтович Е.В., Кожухова Н.И., Жерновский И.В., Череватова А.В., Нецвет Д.Д. // Строительные материалы. 2012. № 10. С. 56-59.

4. Неижмакова Е.А., Фомина Е.В. Использование наногетерогенного минерального сырья при производстве материалов автоклавного твердения / Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона: сб. тр. II Всерос. науч.-практ. конф., Сарат. строит. арх.-дорож. ин-т, Саратов, 21 марта – 21 апр. 2012 г. Саратов: СГТУ, 2012. № 2. С. 237–240.

5. Фомина Е.В, Жерновский И.В., Строкова В.В. Особенности фазообразования силикатных ячеистых изделий автоклавного твердения с алюмосиликатным сырьем // Строительные материалы. 2012. № 9. С. 38-40.

УДК 666.97

ИЗМЕНЕНИЕ РАЗМЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ АЛЮМОСИЛИКАТОВ ПРИ МЕХАНОАКТИВАЦИИ

А. Е. Фомин*, Е. В. Фомина*, Н. И. Кожухова*

** Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, Белгород*

Изучена кинетика механоактивации алюмосиликатных пород различного генезиса:; установлено, что они отличаются высокой размолоспособностью с существенным возрастанием удельной поверхности, отмечаются различия гранулометрического распределения частиц, в комплексе это является важным фактором не только для повышения активности и реакционной способности сырья, но и снижения энергоемкости на технологической стадии подготовки – помол.

Ключевые слова: механоактивация, энергосбережение, композиционное вяжущее, алюмосиликаты, техногенное сырье, ресурсосбережение

VARIATION OF DIMENSION PARAMETERS OF ALUMOSILICATE RAW WHEN MECHANOACTIVATION

A. E. Fomin*, E. V. Fomina*, N. I. Kozhukhova*

** Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov, Russia, Belgorod*

The kinetics of mechanoactivation of different origin aluminosilicates is studied. It is determined, for this rocks a high grindability, intensive grow of specific surface area, differences in granulimetry particle distribution is typical, that is major factor for enhancement of reactivity of raw materials as well as reducing of energy consumption at grinding process.

Keywords: mechanoactivation, energy saving, composite binder, aluminosilicate, industrial raw materials, resource conservation

Механоактивация является инструментом управления размерными, фазовыми и реакционными параметрами традиционно применяемых сырьевых материалов в составе композиционного вяжущего [1]. От вариативности исходных размерных параметров сырьевых компонентов зависит их взаимодействие в физико-химических процессах при твердении вяжущих и качество готового изделия. Генетические особенности сырья отражаются на его размолоспособности и продолжительности самого энергоемкого технологического передела – помола.

По результатам исследований в составах композитов вяжущих актуально использование нетрадиционных видов алюмосиликатных пород природного и антропогенного генезиса [2-5], которые отличаются высокой степенью размолоспособности. В связи с этим информация по изменению размерных параметров при механической обработки является важной для корректировки технологического процесса с учетом снижения его энергоемкости.

Объектом исследования были выбраны широко распространенные алюмосиликатные породы: магматогенно-эффузивные – перлит Мухор-Талинского месторождения, осадочного происхождения – цеолитизированные туфы месторождения Хонгуруу, аргиллит – попутнодобываемые породы добычи угля Коркинского угольного разреза. Традиционным компонентом в составе большинства композиционных вяжущих является кварцевый песок, поэтому для сравнения использовали кварцевый песок Нижне-Ольшанского месторождения (табл. 1).

Таблица 1 – Химический состав минералов, масс. %

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	TiO_2	K_2O	Na_2O	H_2O	SO_3	ппп
Кварц. песок	92,76	2,37	0,77	1,89	0,2	-	-	-	-	0,05	1,96
Перлит	70,4	12,85	0,95	0,95	0,15	0,04	3,9	3,59	5,0	-	2,17
Аргиллит	67,14	21,57	0,02	0,78	0,28	-	1,3	1,26	-	-	7,65
Цеолит. туф	59,72	11,2	0,99	2,4	1,73	0,12	1,05	2,84	8,15	-	11,8

С целью корректного сопоставления результатов исследуемые породы изначально измельчались до величины удельной поверхности 100 кг/м^2. Дисперсионный анализ пород проводился после механоактивации в планетарной мельнице. Для активации использовались стальные шары с диаметром 5 мм, отношение массы вещества к массе шаров 1:20. Выходными параметрами являлись удельная поверхность и размер частиц.

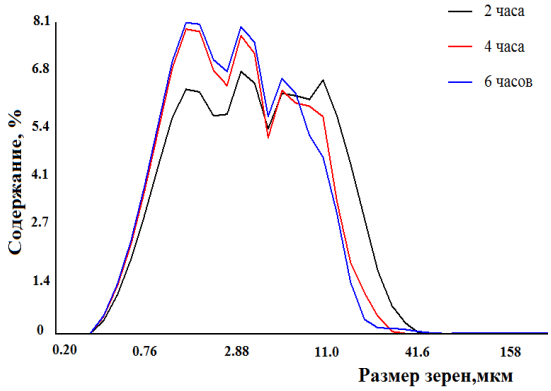
Исследование кинетики изменения удельной поверхности проводилось в течение 6 часов помола с контрольными точками после 1, 2, 4 и 6 часов диспергирования (табл. 2).

Таблица 2 – Изменение удельной поверхности при помоле минералов

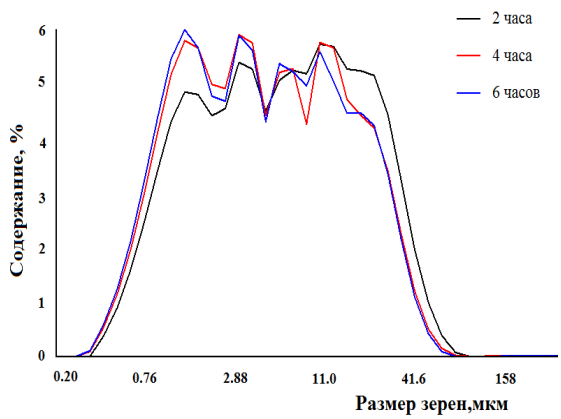
Минерал	Удельная поверхность, м^2/кг при времени помола, час.			
	1	2	4	6
Кварцевый песок	274	354	417	520
Перлит	429	722	743	798
Цеолитизированный туф	365	517	657	747
Аргиллит	352	483	497	620

Изменение удельной поверхности материалов при достаточно продолжительном механоактивационном воздействии показывает, что алюмосиликатные материалы различного генезиса отличаются высокой размолоспособностью в сравнении с кварцевым песком. Достижение удельной поверхности 300–400 м^2/кг при всех равных условиях во всех алюмосиликатах наступает уже через час активации материала. Несмотря на очевидные изменения удельной поверхности, гранулометрия алюмосиликатов с течением времени помола изменяется незначительно. Анализ распределения частиц по размерам осуществлялся методом лазерной гранулометрии (рис. 1).

а



б



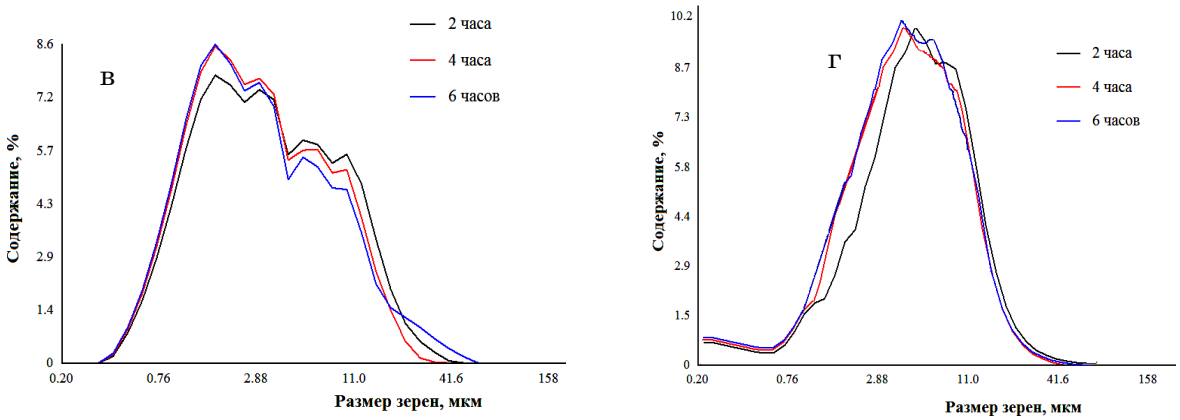


Рис. 1. Гранулометрический анализ пород: а – кварцевый песок;
б – перлит; в – аргиллит; г – цеолитизированный туф

Наибольшие возрастания удельной поверхности перлита относительно слабо сказываются на кривой распределения частиц по размерам. Концентрация частиц перлитовой породы варьируется в широком диапазоне от 0,25 до 100 мкм и остается в таком же диапазоне при помоле в течение 4 и 6 часов, что свидетельствует о постоянстве полидисперсности материала (рис. 1, б).

Гранулометрический состав аргиллита в течение всего времени механоактивации изменяется незначительно и при длительности 4–6 часов небольшое количество частиц размером 5-7 мкм смещается в область меньших показателей 1–2 мкм. Аргиллит содержит значительное количество глинистой составляющей, для которой характерно как наличие отдельных частиц глинистых минералов, так и агрегатов, которые в свою очередь, могут иметь различную дисперсность без преобладания каких-либо конкретных фракций (рис. 1, в).

Размерная область частиц цеолитизированной породы при механоактивации остается однородной. Кинетика изменения удельной поверхности материала происходит в достаточно высоких областях, при этом содержатся также частицы размером до 1 мкм, что не исключает их наноразмерный уровень (рис. 1, ж).

Высокая размолоспособность сырья актуальна для решения вопросов снижения энергозатрат самого продолжительного и энергоемкого технологического передела – помола при сокращении технологического цикла получения вяжущего.

Согласно полученным данным максимальное снижение энергоемкости при помоле алюмосиликатов в сравнении с кварцевым песком составляет до 40% (рис. 2).

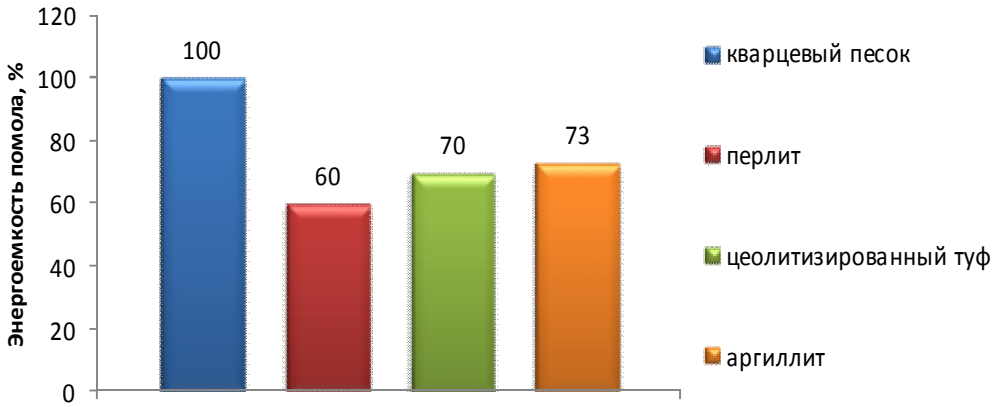


Рис. 2. Энергоемкость помола алюмосиликатных пород в сравнении с кварцевым песком

Таким образом, установлено, что различия минералого-генетических характеристик алюмосиликатных пород оказывают влияние на размерные параметры сырья при механоактивации, приводят к возрастанию удельной поверхности материала, изменению гранулометрического распределения частиц, что является важным фактором не только для повышения активности и реакционной способности, но и оптимизации режима помола. Использование природных тонкодисперсных алюмосиликатов позволяет не только расширить сырьевую базу, но и дает возможность решить вопросы энерго- и ресурсосбережения и снизить экологический прессинг за счет использования невостребованных техногенных попутнодобываемых пород.

Работа выполнена в рамках программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова, с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

Список литературы

1. Лесовик В.С., Алфимова Н.И., Яковлев Е.А., Шейченко М.С. К проблеме повышения эффективности композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. № 1. С. 30-33.

2. Фомина Е.В., Кожухова М.И., Кожухова Н.И. Оценка эффективности применения алюмосиликатной породы в составе композиционных вяжущих // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, 2013. № 4. С. 31–35.

3. Концепция контроля качества алюмосиликатных вяжущих негидратационного твердения / Войтович Е.В., Кожухова Н.И., Жерновский И.В., Череватова А.В., Нецвет Д.Д. // Строительные материалы. 2013. № 11. С. 68-70.

4. Ходыкин Е.И., Фомина Е.В., Николаенко М.А., Лебедев М.С. Рациональные области использования сырья угольных разрезов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2009. № 3. С. 125-128.

5. Фомина Е.В, Жерновский И.В., Строкова В.В. Особенности фазообразования силикатных ячеистых изделий автоклавного твердения с алюмосиликатным сырьем // Строительные материалы. 2012. № 9. С. 38-40.

УДК 666.712

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ КРЕМНИСТЫХ ПОРОД ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФИЛЬТРУЮЩЕГО КОМПОЗИЦИОННОГО СОРБЕНТА

Р. Т. Мамешов*, С. А. Монтаев*, А. Т. Таскалиев*, В. Ф. Першин**

** Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Казахстан, Уральск,mascara.t@list.ru*

*** Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов, pershin.home@mail.ru*

Проведен обзор сорбентов и фильтров для очистки жидкостей. Исследована возможность получения сорбентов на основе опоки Таскалинского месторождения Западно-Казахстанской области с целью создания многослойного насыпного фильтра для очистки воды хозяйственного и питьевого назначений. Разработана технология изготовления гранулированного адсорбента на основе опок и оборудования для реализации этой технологии.

Ключевые слова: фильтрующие материалы, опоки, число пластичности, механоактивация, модификация, углеродные наноматериалы

DEVELOPMENT OF EFFECTIVE TECHNOLOGIES OF PROCESSING SILICEOUS ROCKS FOR COMPOSITE SORBENT OF OBTAINED FILTER

R. T. Mameshov*, S. A. Montaev*, A. T. Taskaliyev*, V. F. Pershin**

** West Kazakhstan agrarian technical university by named Zhangir khan, Kazakhstan, Uralsk, mascara.t@list.ru*

*** Tambov state technical university, Russia, Tambov, pershin.home@mail.ru*

Performed overview of sorbents and filters for liquids. Investigated the possibility of obtaining sorbents based on the diatomite of the Taskalinskoe occurrence of West Kazakhstan region to create multilayer bulk water filter household and drinking purposes. Was developed manufacturing technology granular adsorbent based on the diatomite and equipment for the implementation of this technology.

Keywords: filter materials, diatomite, plasticity, mechanical activation, modification, carbon nanomaterials

В настоящее время ситуация в ряде городов Поволжья и Приуралья такова, что ухудшение состояния окружающей среды грозит не только благополучию, но и самой жизни населения. Причинами плохого экологического состояния среды являются как естественные факторы (рельеф местности, климат, грунты), так и факторы антропогенного происхождения, в частности большое количество предприятий первого и второго классов вредности с устаревшими технологиями; тонны токсичных промышленных выбросов; использование в сельском хозяйстве ядовитых химических веществ для борьбы с сорняками и насекомыми.

Водоёмы, находящиеся рядом с объектами добывающей и перерабатывающей промышленности, чёрной и цветной металлургии сильно загрязнены тяжёлыми металлами, гуминовыми веществами, хлорорганикой. Кроме того, поверхностные воды Урала активно загрязняются нефтепродуктами, бензином и нитробензином. В результате средний показатель степени загрязнённости водной экосистемы намного превышает предельно допустимый уровень.

Река Урал является уникальным природным объектом и одной из основных водных артерий особого государственного значения не только маловодного Казахстана, но и России. Акватория и пойма реки Урал составляют национальное природное богатство, основу жизнедеятельности населения обширного географического региона двух граничащих государств, а также является единственным природным нерестилищем осетровых рыб Каспийского бассейна.

В последние годы общая экологическая ситуация вокруг Урала ухудшается. Уровень содержания шестивалентного хрома в реке Илек (приток Урала) в отдельные периоды значительно превышает предельно допустимую концентрацию (в 7 раз). Не снижается объем промышленных стоков крупных предприятий – загрязнителей из России и Казахстана, увеличиваются темпы заиливания и обмеления естественного русла реки. Эти и другие проблемы водных ресурсов связаны с моральным и физическим износом очистных сооружений и коммуникаций, стихийными свалками мусора в водоохранных зонах, заилением русла и трансграничным загрязнением р. Урал. Поскольку большинство очистных сооружений и коммуникаций были построены ещё в советский период и нуждаются в ремонте и реконструкции. Требуются скоординированные системные очистительно-фильтрующие сооружения и создание технологии оборотного водоснабжения.

Экологическая ситуация Западного региона Казахстана отличается неблагоприятной обстановкой, что обусловлено режимом водности рек, уровнем разви-

тия промышленного и аграрного секторов экономики, наличием водоочистных сооружений, динамикой водозабора, водопотребления и сброса сточных вод, а так же расположением в данном регионе крупных нефтегазовых и промышленных предприятий, существенно загрязняющих окружающую среду. Территорию Актюбинской области относят к двум биогеохимическим провинциям: хромовой и борной, где одна из причин избытка этих элементов вызвана техногенным загрязнением окружающей среды.

Не менее остро проблема экологического загрязнения окружающей среды стоит и в приуралье. К примеру, Карачаганакское нефтегазоконденсатное месторождение, находящееся в Западно-Казахстанской области, выбрасывает в атмосферу соединения, содержащие свинец, кадмий, цинк, железо, кобальт, ванадий, загрязняя почву, растительность, сельхозпродукты и водные источники. В населенных пунктах региона за последние 10 лет ухудшились демографические показатели здоровья населения, что выражается в снижении рождаемости, росте общей смертности населения, резком ухудшении воспроизводства.

Проведенные исследования по анализу химического состава воды показывают, что с каждым годом увеличивается уровень загрязнения воды примесями железа, марганца, алюминия, асбеста, бензина, пестицидов, гербицидов, гуминовых веществ, аммония и ионами тяжелых металлов на фоне обмеления и заиления природных водохозяйственных бассейнов, что требует более тонкой очистки забираемой воды. Между тем ежегодно увеличивается забор воды из природных водохозяйственных бассейнов на 15-20%, вызванный возрастанием количества потребителей воды. Результаты исследований показывают, что 99,2% водопроводной воды население продолжает использовать для сантехнических нужд, сливая в канализацию безвозвратно и создавая тем самым огромные нагрузки на поля фильтраций, и как следствие, вода из крана всегда будет оставаться недостаточно качественной для внутреннего использования.

Поэтому экономия водных ресурсов путем очистки с помощью фильтров на основе местных сырьевых ресурсов с обеспечением оборотного водоснабжения является актуальной задачей национального масштаба.

Существуют различные технологии очистки воды: механические; ионнообменные; обратноосмотические; магнитные; ультразвуковые; мембранные; биологические и т.д. При очистке воды хозяйственно-питьевого назначения обычно используют несколько технологий в зависимости от состава воды, подлежащей очистке. Практически при любых сочетаниях указанных технологий используются насыпные фильтры, которые позволяют не только удалить из воды различные примеси, но и уменьшить содержание хлора, железа марганца и различных солей, увеличивающих жесткость воды. Наиболее эффективны и экономичны многослойные фильтры, в которых для увеличения грязеемкости слоя и эффективности фильтрации воды его засыпку составляют из материалов с различной плотностью и крупностью частиц, так, чтобы сверху слоя были крупные легкие, а внизу – мелкие тяжелые частицы. В этом случае крупные загрязнения воды задерживаются в верхнем слое, а оставшиеся мелкие – в нижнем слое, т.е. работает весь объем загрузки.

В качестве зернистой загрузки в насыпных фильтрах используют как природные (кварцевый или гранатовый песок, цеолит, активированный уголь), так и искусственные (Manganese Greensand, Birm – искусственный цеолит, МЖФ – продукт переработки пород, содержащих доломит).

Сорбенты Manganese Greensand и Greensand Plus производятся компанией Inversand Company, оригинальным поставщиком марганцевозеленого песка [1]. Различие между Manganese Greensand и Greensand Plus состоит в структуре основания зерна и в методе нанесения диоксида марганца на основу. По всем основным параметрам Greensand Plus полностью идентичен классическому Manganese Greensand.

Искусственный цеолит Birm производят многие компании США, Китая и других стран. В настоящее время существует более 300 видов синтезированных цеолитов, природных минералов всего около 50 разновидностей.

МЖФ представляет собой продукт переработки пород, содержащих доломит. Имеет вид пористого материала. Состоит из смеси оксидов и карбонатов кальция и магния, а также оксидов алюминия и кремния. В поры наполнителя вкраплен каталитический компонент – диоксид марганца, который равномерно распределен по объему зерна. Этим обеспечивается стабильность работы материала в течение всего ресурса, так как при истирании гранул не изменяется химический состав поверхности. МЖФ является катализатором ускорения процессов реакции окисления кислородом воздуха двухвалентных железа и марганца, сероводорода, некоторых органических веществ, например, гуматов и остатков фульвовых кислот [2].

На сегодняшний день традиционно стадии удаления железа и марганца загрузками Greensand и Birm, умягчения на Na-катионитовых фильтрах, удаления гуминовых веществ активированным углем осуществляют в отдельных аппаратах, поскольку условия их эксплуатации существенно различаются.

Наиболее эффективной является загрузка Экософт-Микс, позволяющая в одну стадию и в одном аппарате осуществить умягчение воды и удаление из нее железа, марганца, алюминия, гуминовых веществ, аммония и ионов тяжелых металлов. Комбинированная загрузка Экософт-Микс представляет собой смесь из пяти сорбционных материалов природного и синтетического происхождения, различающихся механизмом сорбционного и фильтрующего действия, удельным весом и гранулометрическим составом (Ecosoft Water Systems GmbH, [3]). Из представленных данных [4] очевидно, что данная загрузка на сегодняшний день имеет самые хорошие результаты.

В ходе проведенных совместных работ была разработана технология нового конструкционного многослойного насыпного фильтра, заключающаяся в механической активации кремнистых пород и модификации их углеродными наноматериалами, позволяющая реализовать комплексную очистку воды: удаление механических примесей, растворенных в воде хлорорганики, железа, марганца, ионов тяжелых металлов, сероводорода и др.

Основу фильтрующей среды составляет кремнистая порода – опока Таскалинского месторождения Западно-Казахстанской области, приуроченная к переходным частям разрезов от карбонатных пород верхнемелового возраста к кремнистым породам палеоцена, сформировавшаяся в промежуточные эпохи от карбонатонакопления к кремниенакоплению и обладающая достаточно разнообразным вещественным составом с различной стехиометрией Si_2:CaO [17].

За счет модификации опок мощным сорбентом – углеродным наноматериалом достигается высокий уровень очистки, сохраняются полезные минеральные вещества.

Как известно, механическая активация является одним из относительно простых, экономичных и эффективных способов переработки, используемое для повышения качества плотного, метаморфизованного или карбонат содержащего сырья. [18] В работе для повышения пластичности опок за счет механоактивации использовали планетарную мельницу с центробежными ускорениями более чем 500g, где g –ускорение свободного падения (патент на планетарку). В настоящее время, даже в лабораторных планетарных мельницах ведущего мирового производителя Fritsch GmbH [5] центробежные ускорения не превышают 50-60 g [6]. Таким образом, нормальные и касательные напряжения в зоне измельчения и механоактивации, в предлагаемой мельнице будут, по крайней мере, в 10 раз превышать напряжения, достигаемые в лучших мировых образцах.

Широкое применение нашли опоки в различных отраслях промышленности и сельском хозяйстве. Возможность получения из опок достаточно прочных керамических структур обосновано в [7]. Некоторые технологии по конкретному использованию опок уже реализованы [8].

Нанофильтрация широко используется за рубежом. В Париже с 1999 г. эксплуатируется установка питьевого водоснабжения на нанофильтрационных мембранах FILMTEC производительностью более 5800 $м^3$/ч. В Норвегии для тех же целей введена в эксплуатацию с 2003 г. водоподготовительная установка нанофильтрации производительностью свыше 600 $м^3$/ч [9]. Важным свойством опок является возможность улучшения их качества путем применения различных методов активации и модифицирования. Это дает возможность создавать новые материалы с заданными физико-механическими и технологическими свойствами применительно к решению конкретных задач [10].

Создание сорбента на основе опок модифицированных углеродным наноматериалом в виде гранул или таблеток с удельной адсорбирующей поверхностью в 1,3-1,6 раза больше существующих аналогов и прочностью достаточной для регенерации в активных гидродинамических режимах существенно повысит практически все эксплуатационные показатели. Использование связующего, часть которого испаряется в процессе гранулирования или таблетирования, способствует формированию пористой структуры, что существенно увеличивает удельную адсорбирующую поверхность.

Для регенерации адсорбента использование пульсирующего режима вакуумирования в сочетании с периодической промывкой водой либо насыщенным раствором перманганата калия ($KMnO_4$) позволит увеличить срок использования адсорбента в 1,5-2 раза. Кроме того, гранулы или таблетки адсорбента, упрочненные модификатором, позволят использовать их после истечения срока службы в качестве наполнителя при изготовлении асфальтобетонных дорожных покрытий.

Таким образом, преимущества создаваемого сорбента позволяют решить ряд актуальных на сегодняшний день задач в строительном комплексе, жилищно-коммунальном хозяйстве, в системе водоснабжения и водоотведения.

Модификация пористого пространства углеродными наноматериалами позволит выполнить комплексную очистку воды.

Конструкции из многослойного композиционного сорбента обеспечат оборотное водоснабжение объекты с большим водопотреблением, следовательно, происходит экономия природных, энергетических и материальных ресурсов.

Список литературы

1. http://www.aquatrol.ru/ochistka-filtr_sredi-GreensandPlus.htm
2. http://www.aquafilter.ru/equipment/components/mzhf.htm
3. www. ecosoft-russia.ru
4. Комплексная очистка воды с использованием комбинированной загрузки Экософт Микс / Митченко Т.Е., Макарова Н.В., Митченко А.А., Поляков В.Р., Стендер П.В. // Вода і водоочисні технології. 2004. № 2. Червень. С. 20-23.
5. http://www.fritsch.com.ru/produkty/izmelchenie/planetarnye-melnicy/
6. http://active-nano.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=29&Itemid=34
7. Котляр В.Д., Талпа Б.В. Опоки – перспективное сырье для стеновой керамики // Строительные материалы. 2007. № 2. С. 31-33.
8. Алыков Н. Н. Сорбционное концентрирование с целью последующего определения редкоземельных элементов: автореф. дис. ... канд. хим.наук. Астрахань, 1999. 16 с.
9. Инновационная продукция на основе ОПОК // Волга-Бизнес. 2008. №04 (166) URL: http://www.volgabiz.ru/arh/08/04/38.php (дата обращения: 11.03.14).
10. Михайлова О.А. Технологии химической активации природных минеральных сорбентов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2007. 16 с.
11. Стеновая керамика на основе композиции техногенного и природного сырья Казахстана: монография / РИО РГКП «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», Уральск, 2006. 190 с.
12. Перспективы производства керамических фильтров на основе опок Таскалинского месторождения республики Казахстан / Першин В.Ф., Воробьев А.М., Першина С.В., Монтаев С.А., Таскалиев А.Т., Монтаева Н.С. // Сборник научных трудов Sworld. Вып. 1. Т. 7. Одесса, 2014. С. 71-73.
13. Анализ конструкций насыпных фильтров и пути их совершенствования / Першин В.Ф., Воробьев А.М., Першина С.В., Монтаев С.А., Таскалиев А.Т., Монтаева А.С. // Сборник научных трудов Sworld. Вып. 1. Т. 7. Одесса, 2014. С. 79-81.
14. А.с. №1304336 Стекло для стеклокристаллического материала. Для служебного использования. Заявл. 18.12.84 г., опубл. 15.12.1986.
5. Монтаев С. А., Нариков К.А., Монтаева Н.С. Использование механоактивированных комплексных добавок для производства лицевой стеновой керамики полусухого прессования // Вестник ИИСТРОМПРОЕКТА.
15. Перспективы производства сорбентов и фильтров на основе опок месторождений Казахстана, модифицированных углеродными наноматериалами / Першин В.Ф., Бураков А.Е., Воробьев А.М., Першина С.В., Монтаев С.А., Таскалиев А.Т., Монтаева Н.С., Монтаева А.С. // Современные проблемы науки и образования. 014. № 2; URL: www.science-education.ru/116-12574.
16. Протасов В.Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России. М.: Финансы и статистика, 2001.
17. Бондарюк А.Г., Котляр В.Д. Особенности процесса прессования при производстве стеновой керамики на основе кремнисто-карбонатных опоковидных пород // Современные техника и технологии: сб. XV Междунар. науч-практ. конф. / Том. политехн. ун-т. 2009. Т. 2.
18. Лыков А. В. Явление переноса в капиллярно-пористых телах. М.: Гостехиздат, 1954. 206 с.
19. Никифоров И.А., Кузьмина Р.И. Дисперсный кремнезём: сорбент и катализатор // Катализ в нефтехимии и экологии / под ред. В.П. Севостьянова. Саратов: СГАП, 1999. С. 135-143.

УДК 691.332

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ ВОЛОКОН НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО

Р. Х. Мухаметрахимов*, А. Р. Галаутдинов*, Ю. В. Тагирова*

** Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, Казань, muhametrahimov@mail.ru*

Показана эффективность применения полипропиленовых волокон марки ВСМ-II для дисперсного армирования матрицы на основе композиционного вяжущего. Получены уравнения ре-

грессии, характеризующие влияние полипропиленовых волокон на пределы прочности при изгибе и сжатии исследуемых композиций.

Ключевые слова: композиционное вяжущее, дисперсное армирование, полипропиленовые волокна, повышение эффективности

RESEARCH OF INFLUENCE POLYPROPYLENE FIBERS TO PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES COMPOSITE BINDER

R. Kh. Mukhametrakhimov*, A. R. Galautdinov*, Y. V. Tagirova*

** Kazan state university of architecture and engineering, Russia, Kazan, muhametrahimov@mail.ru*

In this article you can see the effectiveness of polypropylene fibers VSM-II for disperse reinforcement of matrix based on composite binder. Obtained regression equations describing the influence of polypropylene fibers on the flexural strength and compressive strength of studied compositions.

Keywords: composite binder, polypropylene fibers, particulate reinforcement, efficiency

Композиционные вяжущие обычно представляют собой смесь воздушного и гидравлического вяжущих и каких-либо специальных добавок, усиливающих те или иные их строительные свойства [1]. Высокая эффективность композиционных вяжущих веществ обусловлена относительно простой технологией производства, доступностью сырьевой базы и наличием комплекса положительных свойств исходных вяжущих. Следует отметить, что наряду с множеством положительных технических свойств материалы и изделия на основе композиционного вяжущего обладают относительно невысокой ударной вязкостью, а также относительно высоким водопоглощением, что ограничивает их использование во влажных средах. В последнее время для модификации различных вяжущих веществ высокую эффективность показывают комплексные органоминеральные добавки, позволяющие направленно регулировать структуру и свойства композиций на их основе и существенно улучшить многие эксплуатационные свойства изделий [2].

Дисперсное армирование вяжущих веществ различными видами волокон позволяет повысить многие важнейшие физико-механические характеристики: предел прочности при изгибе и сжатии, ударную вязкость, трещиностойкость, развитие поверхностных трещин, возникающих при пластической усадке и др. [3]. Матрица в армированных композициях придает изделию необходимую форму, создает монолитный материал. Объединяя в одно целое многочисленные волокна, матрица позволяет композиции воспринимать различного рода внешние нагрузки (растяжение, сжатие, изгиб, сдвиг и т.д.). В то же время матрица сама принимает участие в создании несущей способности композиции, обеспечивая передачу усилий на волокна [4]. Введение органоминеральных добавок в состав матрицы позволит существенно повысить ее эффективность.

Технические характеристики различных видов волокон, применяемых для дисперсного армирования, приведены в табл. 1.

Высокие технические показатели, химическая стойкость и малая плотность полипропиленовых волокон обусловливает значительный интерес к исследованию его в качестве дисперсно-армирующего материала для изделий на основе композиционных вяжущих. К тому же отечественная промышленность имеет высокие объемы выпуска данных волокон.

Таблица 1 – Технические характеристики волокон

Вид волокна	Плотность, г/см^3	Прочность на растяжение, МПа	Модуль упругости, МПа
Полипропиленовое	0,9	400-770	3500-8000
Полиэтиленовое	0,95	700	1400-4200
Нейлоновое	1,1	770-840	4200
Акриловое	1,1	210-420	2100
Полиэфирное	1,4	730-780	8400
Асбестовое	2,6	910-3100	68000
Целлюлозное	1,2	300-500	10000
Стеклянное	2,6	3850	75000
Стальные фибры	7,8	800-3150	200000
Углеродное	2,0	2000	245000
Карбоновое	1,63	7800	380000
Полиамидное	0,9	720	1900
Вискозное	1,2	660	5600
Базальтовое	2,6	1600-3600	100000
Волластонит	2,9	200-400	10000
Кевларовое	1,45	3600	150000
Полиакрилонитрил	1,2	900	20000

Особый интерес представляет изучение влияния длины и объемного содержания полипропиленовых волокон на основные физико-механические свойства модифицированных гипсоцементно-пуццолановых систем, которые могут найти применение при изготовлении широкого спектра строительных изделий.

Цель исследований – получить уравнения регрессии, характеризующие влияние полипропиленовых волокон на пределы прочности при изгибе и сжатии модифицированного композиционного вяжущего.

В качестве вяжущих веществ для изготовления композиционного вяжущего были использованы строительный гипс и портландцемент. Для модификации композиционного вяжущего применялись активные минеральные и химические добавки (гиперпластификатор, регулятор сроков схватывания и твердения, гидрофобизатор). В качестве дисперсно-армирующего материала использовались полипропиленовые волокна марки ВСМ-II длиной 6, 12, 18, 24 и 32 мм, технические характеристики которых приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики полипропиленовых волокон марки ВСМ-II

Наименование	Показатели
Материал	Высокомодульный термопластичный модифицированный полимер
Средний диаметр волокон, мкм	20-22
Длина волокон, мм	6, 12, 18, 24, 32
Прочность на разрыв, МПа	550
Удлинение	20%
Модуль упругости, МПа	не менее 10000
Количество единичных волокон, млн. шт./кг	300-600
Площадь поверхности волокна, м^2/кг	150
Температура плавления, °С	160

На первом этапе для получения композиционного вяжущего смешивали его компоненты в сухом виде. На втором этапе исследовали реологические свойства композиционного вяжущего с комплексной модифицирующей добавкой [5] и без нее. Введение комплексной добавки в состав смешанного вяжущего позволяет снизить водотвердое отношение на 35% и увеличить сроки схватывания на 19 мин. При этом предел прочности при изгибе возрастает на 28%, при сжатии – на 25%. При этом водостойкость композиционного вяжущего повышается на 30%.

На третьем этапе для равномерного распределения полипропиленовых волокон в гипсоцементно-пуццолановой матрице производили их распушку в расчетном количестве воды затворения в присутствии модифицирующей добавки. Далее проводилось перемешивание компонентов гипсоцементно-волокнистой смеси с последующим формованием образцов.

Испытания образцов после их твердения в течение 28 суток в воздушно-влажной среде проводились на стандартных образцах-балочках размерами 4×4×16 см, из формовочной смеси нормальной густоты по методике, описанной в ГОСТ 23789-79. Водостойкость дисперсно-армированного композиционного вяжущего оценивали по коэффициенту размягчения.

В результате экспериментальных исследований были получены зависимости (уравнения регрессии), характеризующие влияние исследуемых волокон на пределы прочности при изгибе и сжатии камня на основе композиционного вяжущего, достоверность которых составляет 0,81-0,99 (таблица 3).

Анализ полученных результатов показывает, что введение полипропиленовых волокон в состав композиционного вяжущего в зависимости от длины и объемного содержания в составе смеси оказывает различное влияние на предел прочности при изгибе и сжатии дисперсно-армированного камня на основе композиционного вяжущего.

Таблица 3 – Уравнения регрессии, характеризующие влияние полипропиленовых волокон на пределы прочности при изгибе и сжатии ГЦПК

Длина волокна	Уравнение регрессии, характеризующее влияние полипропиленовых волокон на предел прочности при изгибе	Уравнение регрессии, характеризующее влияние полипропиленовых волокон на предел прочности при сжатии
6 мм	Rизг = -33.872x2 + 74.291x + 97.831	Rсж = -18.045x2 + 38.117x + 100.78
12 мм	Rизг = -17.646x2 + 38.044x + 100.96	Rсж = -10.174x2 + 20.833x + 101.68
18 мм	Rизг = -15.027x2 + 27.894x + 101.85	Rсж = -6.5806x2 + 12.523x + 101.5
24 мм	Rизг = -9.072x2 + 12.811x + 103.23	Rсж = -2.5211x2 + 1.4998x + 101.75
32 мм	Rизг =-25.091x2 + 18.673x + 101.06	Rсж = -18.909x2 + 12.327x + 100.44

Выполненные исследования показали высокую эффективность полипропиленовых волокон марки ВСМ-II-6 для дисперсного армирования ГЦПК. Так, максимальные повышения значений пределов прочности при изгибе (на 41,2%) и сжатии (на 20%) достигаются при их объемном содержании в составе ГЦПВ в количестве 1%, коэффициент размягчения при этом увеличивается на 6-22%.

Ведение волокон длиной 12 мм в меньшей степени повышает предел прочности ГЦПК при изгибе (6,7-20%) и сжатии (3-11%).

Установлено, что с увеличением содержания волокон длиной 18, 24 и 32 мм в составе смеси более 0,25-0,5% приводит к их неравномерному распределению, затруднению при перемешивании и образованию неравномерной структуры дисперсно-армированного камня на основе модифицированного композиционного вяжущего. Этим, на наш взгляд, обусловлено снижение прочности образцов при увеличении их содержания в составе смеси. Повышение предела прочности на изгиб (до 15%) и сжатие (до 6%) достигается при относительно малых дозировках волокон (0,25-0,5%).

Таким образом, выполненные исследования позволили получить дисперсно-армированное композиционное вяжущее с повышенными показателями прочности и водостойкости, которое более эффективно для изготовления широкого спектра изделий для наружной и внутренней отделки зданий и сооружений.

Список литературы

1. Чистов Ю.Д., Тарасов А.С. Разработка многокомпонентных минеральных вяжущих веществ // Российский химический журнал. 2003. № 4 С. 12–17.

2. Иващенко Ю.Г., Зинченко С.М., Козлов Н.А. Структурообразующая роль органоминеральных добавок при твердении цементных композиций // Вестник СГТУ. 2013. № 3 (72). С. 168-171.

3. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции. М.: Изд-во АСВ, 2004. 560 с.

4. Мухаметрахимов Р.Х., Изотов В.С. Модификация структуры дисперсно-армированных композиций для повышения сопротивления разрушению // Материалы VIII Академических чтений РААСН – МНТК. Казань: КГАСУ, 2014. С. 220-224.

5. Пат. РФ 2519313, С 04 В 24/04, С 04 В 28/14. Комплексная добавка / В. С. Изотов, Р. Х. Мухаметрахимов, А.Р. Галаутдинов; опубл. 10.06.14, Бюл. № 16. 5 с.

УДК 691.5

КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ НЕГИДРАТАЦИОННОГО ТИПА ТВЕРДЕНИЯ

А. В. Череватова*, И. В. Жерновский*, Е. В. Войтович*, А. Е. Фомин*

** Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, Белгород*

Предложена концепция контроля качества, которая может выступать в качестве базовой платформы при разработке необходимой нормативно-технической документации вяжущих полимеризационного и полимеризационно-поликонденсационного типов твердения, а также изделий на их основе.

Ключевые слова: методы контроля, алюмосиликатное вяжущее, вяжущее полимеризационного и полимеризационно-поликонденсационного типов твердения, свойства вяжущих, технология получения

COMPLEX QUALITY MONITORING OF NON-HYDRATION COMPOSITE BINDERS

A. V. Cherevatova*, I. V. Zhernovsky*, E. V. Voitovich*, A. E. Fomin*

** Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov, Russia, Belgorod*

The concept of quality control as basic foundation when development of required normative and technical documentation is supposed for binders with polymerization and polymerization-polycondensation types of hardening as well as the product on its basis.

Keywords: monitoring methods, aluminosilicate binder, binders with polymerization and polymerization-polycondensation types of hardening, properties of binders, production technology

Инновационное развитие строительного материаловедения основано на переходе к прогрессивным технологиям создания нетрадиционных минеральных вяжущих веществ и материалов на их основе. К таким вяжущим можно отнести алюмосиликатные вяжущие полимеризационного (геополимерное вяжущее) и полимеризационно-поликонденсационного (наноструктурированное силикатное вяжущее) типов твердения. Наноструктурированное силикатное вяжущее (НВ(S)) – это неорганическая полидисперсная и минеральная вяжущая система, имеющая преимущественно силикатный состав и обладающая высокой концентрацией активной твердой фазы, содержащей нанодисперсный компонент [1]. Геополимерное вяжущее (ГПВ) – это преимущественно аморфная алюмосиликатная система, приобретающая вяжущие свойства в сильной щелочной среде [2].

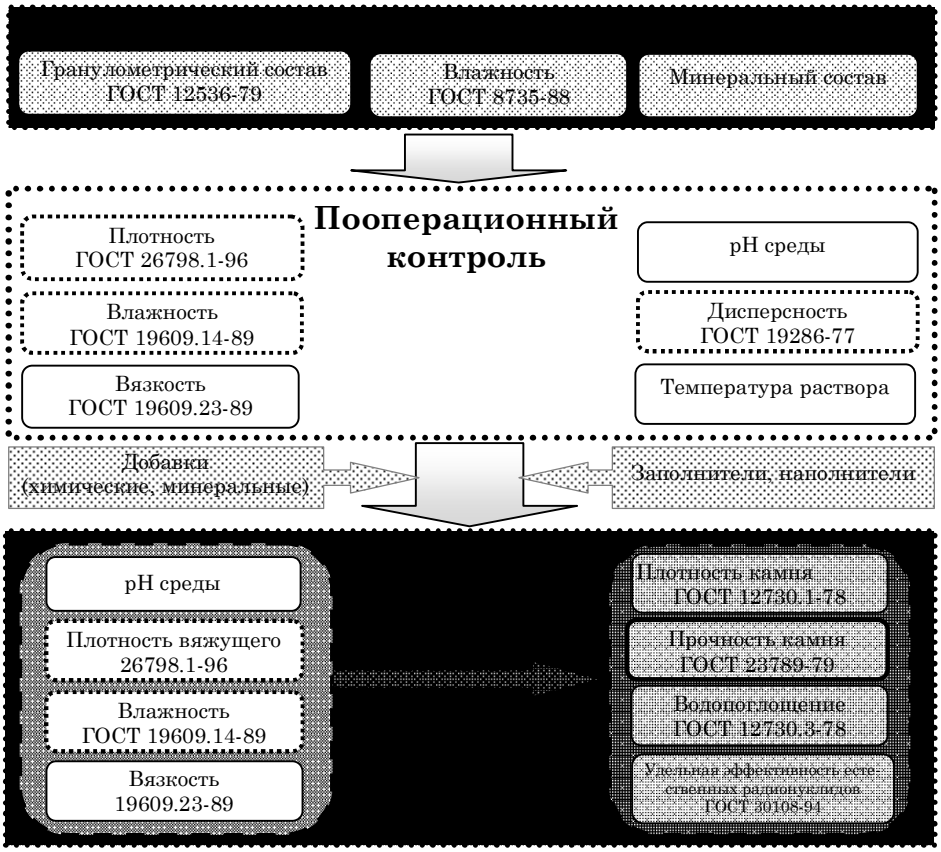
Для этих вяжущих характерны принципиально иные механизмы структурообразования и твердения и, как следствие, технология приготовления в сравнении с существующими аналогами. Традиционные методы испытаний не позволяют обеспечить корректный анализ основных свойств данных вяжущих, что является препятствием для сертификации продукции, их производства, снижает конкурентоспособность и затрудняет их выход на рынок строительных материалов. Поэтому возникает необходимость выбора базовых методов-аналогов, позволяющих определять основные показатели данных вяжущих и установить нормы и требования к ним, что позволит обеспечить качество выпускаемой продукции на их основе.

Отличительной особенностью производства строительных продуктов на основе рассматриваемых вяжущих является наличие стадии получения самого вяжущего (совмещение технологии получения вяжущего и материалов на его основе), которая является неразрывной частью всего технологического процесса. В тоже время технология получения большинства композитов с использованием традиционных вяжущих аналогов (цементных, гипсовых и т.д.) предусматривает использование уже готового вяжущего в качестве сырьевого компонента. В данном случае параметры контроля, необходимые для регулирования качества вяжущей системы и параметры контроля качества готовой строительной продукции, регулируются на разных предприятиях независимо друг от друга, что возможно за счет наличия стандартных методов контроля на применяемые вяжущие.

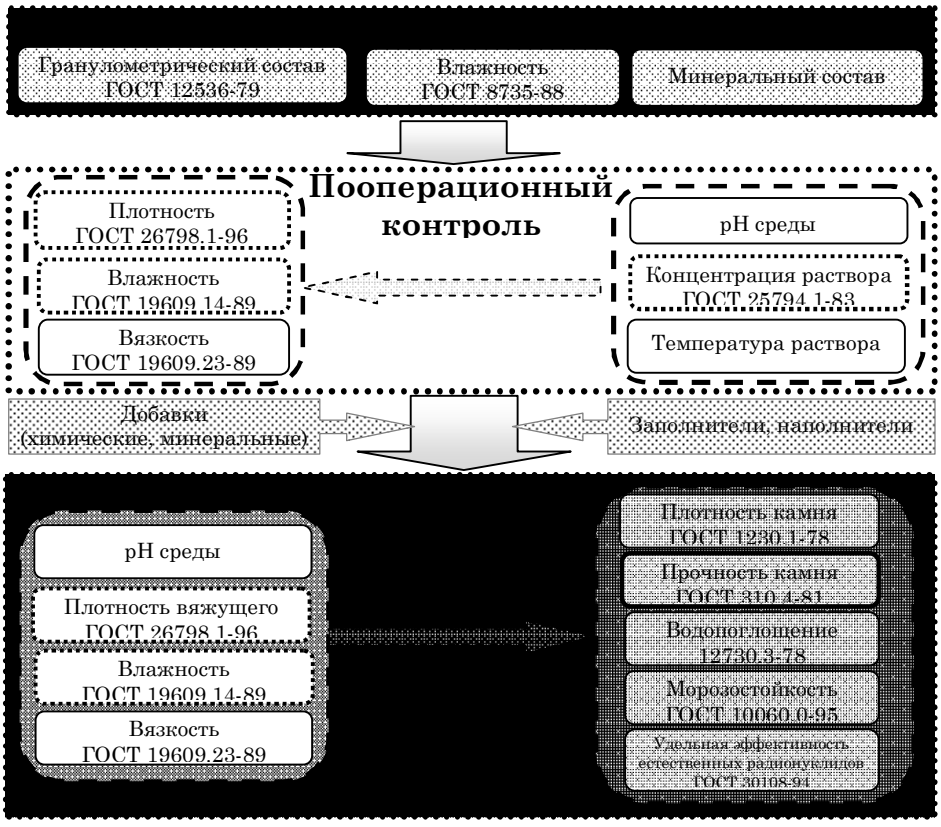
В процессе получения НВ(S) и ГПВ был проведен анализ основных контролируемых параметров, который позволил определить методы испытаний наиболее близкие для данных систем.

Приведенные на рисунках схемы операционного контроля отражают характер взаимосвязи исследуемых параметров при получении рассматриваемых вяжущих систем. При этом определена последовательность регулирования основных параметров, определяющих качество конечного вяжущего продукта.

Сравнивая приведенные схемы операционного контроля, следует отметить, что входной контроль в технологии получения композитов на основе силикатного и алюмосиликатного вяжущих (рис. а, б) предусматривает контроль основных параметров, таких как: минеральный, гранулометрический составы, влажность сырьевых компонентов.


Гранулометрический состав ГОСТ 12536-79
Влажность ГОСТ 8735-88
Минеральный состав
Пооперационный контроль
Плотность ГОСТ 26798.1-96
Влажность ГОСТ 19609.14-89
Вязкость ГОСТ 19609.23-89
pH среды
Дисперсность ГОСТ 19286-77
Температура раствора
Добавки (химические, минеральные)
Заполнители, наполнители
pH среды
Плотность вяжущего 26798.1-96
Влажность ГОСТ 19609.14-89
Вязкость 19609.23-89
Плотность камня ГОСТ 12730.1-78
Прочность камня ГОСТ 23789-79
Водопоглощение ГОСТ 12730.3-78
Удельная эффективность естественных радионуклидов ГОСТ 30108-94

а


Гранулометрический состав ГОСТ 12536-79
Влажность ГОСТ 8735-88
Минеральный состав
Пооперационный контроль
Плотность ГОСТ 26798.1-96
Влажность ГОСТ 19609.14-89
Вязкость ГОСТ 19609.23-89
pH среды
Концентрация раствора ГОСТ 25794.1-83
Температура раствора
Добавки (химические, минеральные)
Заполнители, наполнители
pH среды
Плотность вяжущего ГОСТ 26798.1-96
Влажность ГОСТ 19609.14-89
Вязкость ГОСТ 19609.23-89
Плотность камня ГОСТ 1230 1-78
Прочность камня ГОСТ 310.4-81
Водопоглощение 12730.3-78
Морозостойкость ГОСТ 10060.0-95
Удельная эффективность естественных радионуклидов ГОСТ 30108-94

б



в

– Методы испытаний, позволяющие проводить контроль параметров без внесения корректировок.

– Методы испытаний, требующие незначительных изменений с учетом специфики вяжущих систем.

– Методы испытаний, требующие полной корректировки с учетом специфики вяжущих систем.

Схема операционного контроля для:
а) НВ(S); б) ГПВ, в) материалов на основе цемента

В то же время технология получения продукта на основе традиционного вяжущего (в данном случае цементного, рисунок в) исключает данную стадию контроля, поскольку это осуществляется при приготовлении самого вяжущего продукта в условиях отдельного производства.

С учетом особенностей вяжущих НВ(S) и ГПВ проведенный анализ позволил определить оптимальные методы испытаний и определить степень возможности их применения при оценке качества получаемых систем. На основании этого применительно к данным вяжущим предложенные методы испытаний следует классифицировать следующим образом:

1. Методы испытаний, позволяющие проводить контроль параметров без внесения каких-либо корректировок при проведении измерений.

Они предполагают использование в полной мере существующих (стандартных) методов испытаний или методик анализа для получения достоверных результатов. К ним относятся методы проведения химического анализа, измерения температуры, pH среды, вязкости теста, водопоглощения, морозостойкости, удельной эффективности активности естественных радионуклидов.

2. Методы испытаний, требующие незначительных изменений с учетом специфических требований, предъявляемых к сырьевым компонентам, а также особенностей приготовления рассматриваемых вяжущих систем.

Особенность данных методов заключается в незначительных отклонениях от стандартных методик при подготовке тестируемого вещества для проведения необходимых измерений. В данном случае к методам такого рода можно отнести определение дисперсности, плотность и влажность вяжущей системы.

3. Методы испытаний, требующие разработки новых подходов при определении контролируемых параметров разрабатываемых вяжущих. В данную группу для рассматриваемых алюмосиликатных вяжущих следует выделить метод определения предела прочности при сжатии.

Относительно ГПВ наиболее близким аналогом для контроля прочностных характеристик является стандарт на цемент (ГОСТ 10180-90). Учитывая характер структурообразования ГПВ, который протекает достаточно медленно, целесообразно применять термоактивацию в диапазоне температур 60-90°С. В этом случае набор прочности идет достаточно интенсивно и достигает максимального значения в течение 1 суток.

Для НВ вяжущих, наиболее близким аналогом для контроля прочностных характеристик является стандарт на гипс (ГОСТ 23789-79). Учитывая характер структурообразования НВ, следует принять во внимание, что твердение и набор прочности композита происходят пропорционально удалению влаги, поэтому максимальные прочностные свойства достигаются при воздействии сушки через 3 суток, а в естественных условиях – в возрасте 28 суток.

В работе были проанализированы основные свойства получения исследуемых вяжущих, а также определены нормы и требования к параметрам контроля производства, позволяющие обеспечить качество готовой продукции с использованием НВ(S) и ГПВ (таблица).

Требования, предъявляемые к разрабатываемым вяжущим системам

№	Наименование показателя	Единица измерения	Норма	
			ГПВ	НВ
1	Предел прочности при сжатии	МПа	Не менее 10	Не менее 13
2	Предел прочности при изгибе	МПа	Не менее 2	Не менее 2
3	Плотность камня	кг/м3	2000–2250	2000–2250
4	Остаток на сите № 0063	%	–	Не белее 1
5	Вязкость	Па·с	Не менее 25	Не более 25
6	pH среды	pH	12,5–14	11–13
8	Удельная эффективность естественных радионуклидов	Бк/кг	370	370
9	Морозостойкость	цикл	Не менее 15	-
10	Коэффициент размягчения		Не менее 0,8	-

Необходимо отметить, что перечень контролируемых параметров для обоих типов вяжущих не имеет существенных различий, как в качественном отношении, так и в числовом выражении приведенных критериев качества.

Следует предположить, что сходство в минералогии сырьевых компонентов, а также механизмах структурообразования данных вяжущих систем является основной причиной идентичности данных, приведенных в таблице. В то же время различия некоторых показателей изучаемых вяжущих (рисунок, таблица) следует объяснить тем, что технологии их получения принципиально различны между собой.

Предложенная концепция контроля качества может выступать в качестве базовой платформы при разработке необходимой нормативно-технической документации рассматриваемых вяжущих полимеризационного и полимеризационно-поликонденсационного типов твердения. Это позволит получать высококачественные продукты строительного назначения в промышленном масштабе, а также обеспечить возможность их внедрения для обеспечения конкурентоспособности на рынке строительных материалов.

Работа выполнена в рамках программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова, с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

Список литературы

1. Череватова А.В., Жерновский И.В., Строкова В.В. Минеральные наноструктурированные вяжущие. Природа, технология и перспективы применения. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG Dudweiler Landstr. 99, 661123 Saarbucken, Germany, 2011. 170 с.

2. Zhang Y. S., Sun W.and Li Z. J. Hydration process of potassium polysialate (K-PSDS) geopolymer cement // Advances in Cement Research. 2005. 17. № 1. January, 23–28.

УДК 69+556:549.61

РОЛЬ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ НАУКИ В РАЗВИТИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Н. Г. Стенина*

** Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), Россия, Новосибирск*

Развитие строительных технологий рассмотрено в контексте решения фундаментальной проблемы структурно-химического связывания воды в алюмосиликатном веществе. Роль новой концепции (аква-комплекса) раскрывается на практических примерах: 1) разведки месторождений строительного сырья, 2) оценки технологических свойств природных минеральных и техногенных строительных ингредиентов, 3) создания новых строительных материалов (природа бетона), 4) проверка территорий будущей застройки, 5) мониторинг готовых сооружений (причины техногенных катастроф).

Ключевые слова: минеральное вещество, вода, связывание, аква-комплекс, строительные технологии

THE ROLE OF FUNDAMENTAL SCIENCE IN THE DEVELOPMENT OF BUILDING TECHNOLOGIES

N.G. Stenina*

** Novosibirsk state university of architecture and civil engineering (Sibstrin), Russia, Novosibirsk*

Development of the construction technologies is considered within the solving of the problem of structural-chemical binding of water in alumina-silicate substance. The role of the new concept (the aqua-complex) is unraveled by the following examples: i) prospecting of the building raw materials deposits, ii) evaluation of technological properties of the natural and technogenic ingredients, iii) development of the construction materials (the nature of concrete), iv) testing sites for the intended building development and v) the monitoring of building structures (the nature of technogenic disasters)

Keywords: Mineral substance, water, binding, aqua-complex, building technologies

Строительная индустрия, начиная от разведки месторождений сырья и выбора площадки под будущее строительство, создания новых материалов с задан-

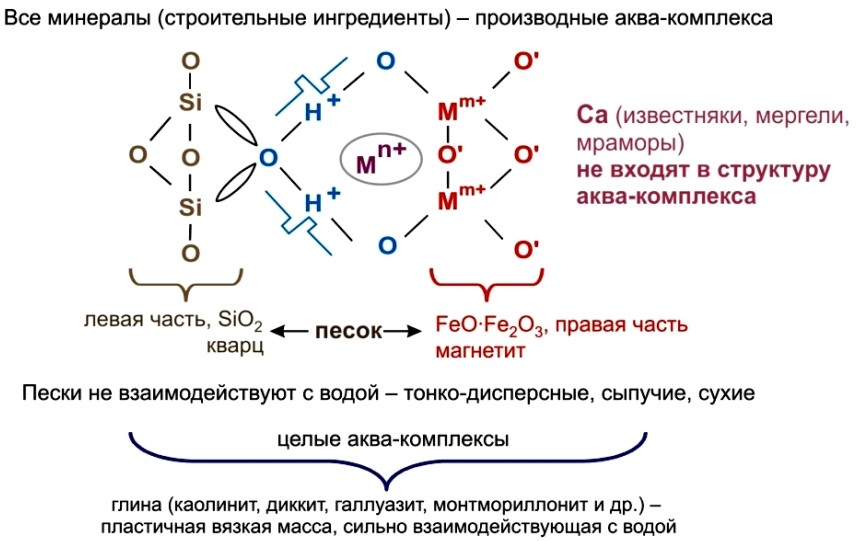
ными свойствами и заканчивая мониторингом территорий городской застройки, неразрывно связана с геологическим знанием. Поэтому уровень фундаментальной геологической науки является объективным ресурсом для повышения эффективности использования природного сырья и энергии в строительных технологиях. Ключевым моментом здесь является решение проблемы связывания воды в силикатном – алюмосиликатном веществе, т.к. вода является неизменным и химически активным участником всех природных минералообразующих процессов. Вода также играет основополагающую роль в строительном материаловедении: технологии производства бетона, кирпича, других строительных материалов. Поняв механизм структурно-химического связывания воды в процессе консолидации тонкодисперсных минеральных компонентов, можно целенаправленно создавать строительные материалы с необходимыми свойствами.

Механизм структурно-химического связывания воды в алюмосиликатном веществе являлся предметом интенсивных исследований на протяжении второй половины XX века. Решение было найдено виде аква-комплекса **[2SO_3–OH_2–$M^{n+}2M^{m+}O`_4$]** (где **T** – 4-валентные катионы, **Si**, в первую очередь, и др., $M^{n+}$– одно- и двухвалентные катионы: **Na,** K, $Fe^{2+}$ и др., $M^{m+}$ – многовалентные катионы: $Al^{3+}$, $Fe^{3+}$ и др., **O`** – летучие: **O**, Cl, S и др.). В структуре аква-комплекса (рис. 1) левая кислая **[2SO_3□]** (□ – вакансия кислорода) и правая основная [$2M^{m+}O`_4$] (M^{m+}, в основном Al) части связаны в единую структуру с помощью тетраэдрически заряженной: O — $2H^+$ [1] молекулы воды. Вода, таким образом, играет роль кислотно-основного (Ox/Red) мостика между обеими частями комплекса. Ее координация кислыми (слева) и основными (справа) радикалами обосновывает название «аква-комплекс».

Аква-комплексы впервые были обнаружены в природном кварце разного генезиса как ростовые дефекты с помощью просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) в комплексе с другими физико-химическими методами [2]. Фундаментальная роль аква-комплекса как неформального аналога ДНК в минеральном веществе [3, 4], т.е. закона эволюции минерального вещества пород, была установлена в результате изучения механизма структурно-химического преобразования силикатных минералов в эволюционном ряду пород: вмещающие габбро-граниты [5], а также анализа всей совокупности геологических данных.

Для понимания природы вяжущих свойств – главного момента в строительном материаловедении – важно отметить, что в структуру аква-комплекса могут входить все элементы таблицы Менделеева, за исключением **Ca** (а также его аналогов Sr и Ba), причиной чего являются особенности строения их внешних электронных оболочек этих элементов. Это обусловливает особую роль кальция в жизни не только минеральной, но и живой материи, а также его ключевую роль в образовании искусственной скальной породы – бетона.

Концепция аква-комплекса раскрывает единую энергетическую сущность эволюционной последовательности геологических процессов. Процессы образования месторождений полезных ископаемых независимо от их характера (рудные, углеводородные и др.) являются при этом неотъемлемой частью этого эволюционного процесса. Последнее определяет практический потенциал новой теории. Применительно к строительной индустрии открытие закона природного минералообразования позволяет раскрыть суть каждого из этапов строительного процесса.



Структура аква-комплекса: технологические свойства песка, глины, известняка

Песок, глина, известняк являются основными природными минеральными ингредиентами для создания строительных материалов. Технологические свойства этих минеральных веществ с точки зрения концепции аква-комплекса имеют следующие особенности. Песок (SiO_2), который отвечает только левой части аква-комплекса (рисунок), не содержит формульной воды. Поэтому песок обладает гидрофобными свойствами и не пластичен. Минералы глины (каолинит, монтмориллонит, галлуазит и другие алюмосиликаты со смешанослойной структурой) строятся из целых аква-комплексов. Вследствие этого они содержат структурную воду, благодаря чему пластичны и обладают гидрофильными свойствами. Известняк вследствие невозможности вхождения в аква-комплекс имеет ключевое значение для цементации.

Разведка месторождений строительного сырья, оценка технологических свойств как природного, так и техногенного материала прямо зависят от понимания минералообразующих процессов. Концепция аква-комплекса раскрывает природу взаимосвязи между образованием месторождений полезных ископаемых (рудных, углеводородных) и строительного сырья. Это может быть проиллюстрировано на примере нефте-генерирующих территорий.

В результате экспериментальных исследований, подтвержденных всеми геологическими данными, было доказано, что образование природных углеводородов происходит за счет деструкции глинистой матрицы [6, 7].

Практический выход из этого для строительной индустрии заключается в том, что на нефтегенерирующих территориях нет глины хорошего качества, непосредственно пригодной для изготовления кирпича и другой керамики. Этот факт находит многочисленные подтверждения для Западносибирского региона, который, как известно, является нефтегенерирующим. Аргиллитовое (глиняное) сырье здесь, несмотря на внешние характерные признаки, обладает, как правило, очень низким содержанием именно глинистых минералов. При этом данное сырье обладает высоким содержанием кремнезема, что может изменить подход к его использованию в строительных технологиях. Знание настоящей геологической истории такого «глинисто-кремнеземного» сырья является перспективной для разработки способов восстановления его технологических свойств с помощью методов современного катализа.

Строительное материаловедение как наука основывается на понимании механизма связывания тонкодисперсных минеральных составляющих в консолидированную матрицу. Данный процесс, независимо от вида конечного продукта (бетон, кирпич, керамика), сводится к процессу связывания воды в алюмосиликат – известковой матрице. Аква-комплекс, являясь решением этой проблемы, раскрывает природу консолидации в гетерогенной системе вода – минеральные составляющие.

Наилучшим примером является производство **бетона**, самого распространенного строительного материала [8]. Бетон является искусственной скальной породой. Самым актуальным, не получившим до настоящего времени точного ответ, является вопрос об источнике, который обеспечивает поступление энергии в водно-алюмосиликат-известковую систему (C–S–H систему), что необходимо для происходящих в ней процессов схватывания, твердения и упрочнения. Парадокс заключается в том, что эти процессы, являясь энергоемкими, происходят при нормальных и стационарных P, T и химических условиях. Концепция аква-комплекса объясняет процесс цементации следующим образом. При взаимодействии тонкодисперсных известковистых и алюмосиликатных компонентов с водой происходит связывание протонов с кислородами $[Si(Al)O_4]$-тетраэдров. Мгновенному развитию гибкой 3D-алюмосиликатной сетки препятствуют атомы Ca. Из-за их неспособности войти в аква-комплекс они в данной системе оказываются структурообразующими элементами. Вокруг каждого атома кальция, имеющего на предпоследней оболочке 10 электронных вакансий, образуется атмосфера из ненасыщенных водородных связей O – H --- (Ca). Именно через эти связи в систему C–S –H поступает энергия. Эта энергия является прерогативой Redox'a [4] (инверсии окислительно-восстановительного потенциала), химическим выражением которого является водородная связь, а материальным (природным) – вода. Поступающая в эту систему энергия тратится на упорядочение структурных элементов сетки, которыми являются тетраэдры $[Si(Al)O_4]$. В результате образуется жесткая структура, подобная структуре гранитов. Последнее возможно при наличии стехиометрии компонентов в системе, что имеет место на всех стадиях приготовления цементного клинкера.

Настоящее представление о природе цементации находит практическое подтверждение в ряде необъяснимых свойств бетона. Наиболее известное из них в силу своей распространенности получило название **«конфликт скала-бетон»**. Суть этого «конфликта» заключается в аккумуляции огромных напряжений в бетонных дамбах гидроэлектростанций. По мнению экспертов, именно эти напряжения явились причиной крупных техногенных катастроф на гидростанциях в штате Гуджарат (Индия) и в Техасе (США) в 1970-х гг. прошлого века и ряде других. С нашей точки зрения эта же причина инициировала аварии на Саяно-Шушенской ГЭС и в аквапарке (Москва).

Концепция аква-комплекса раскрывает природу «конфликта скала-бетон» следующим образом. Бетон как искусственная скальная порода имеет т.н. «стационарную» структуру. В отличие от природной алюмосиликатной системы, она не обладает динамическими свойствами, т.е. не способна преобразовать избыток энергии через механизм аква-комплекса. Причиной этого является кальций, атомы которого равномерно распределены в его структуре. Кальций, который, как сказано, не может входить в аква-комплексы, заставляет избыток энергии из внешней минеральной системы аккумулироваться в теле бетона. Поскольку энергетическая

емкость материала ограничена, то при определенных условиях бетон «взрывается», выделяя огромную энергию, что и было зафиксировано в двух последних катастрофах. Однако такой негативный исход зависит от геологических условий на месте бетонного сооружения. Дамбы гидроэлектростанций сооружаются, как правило, в тектонически активных зонах в местах сужения русла реки. При условии низкого содержания известняков, тектонические напряжения в этом месте будут сниматься за счет изменения (метаморфизма) алюмосиликатного вещества окружающих пород. В противном случае тектонические напряжения начнут накапливаться в теле бетонной плотины. При достижении критического уровня напряжений, происходит их спонтанный выброс из бетонного материала, что может быть инициировано любой нештатной ситуацией.

Таким образом, концепция аква-комплекса как природы связывания воды в силикатном веществе и закона эволюции минерального вещества пород дает качественно новый импульс развитию всех отраслей строительной индустрии. С другой стороны, данные, получаемые в результате решения конкретных практических проблем, являются дополнительным обоснованием объективности новой теории.

Список литературы

1. A theory of water and ionic solutions with particular reference to hydrogen and hydrogen ions / Bernal J.D., Fowler R.H. J. // Chem. Phys. 1933. V. 1. P. 515-548.

2. Stenina N.G. Water-related defects in quartz // Bull. of Geosciences. 2004. V. 79. P. 251-268.

3. Стенина Н.Г. Концепция единой Земли: теория и приложения // Наука и будущее: Идеи, которые изменят мир: материалы Междунар. конф. М.: ГГМ им. В.И. Вернадского, 2004. С. 183-185.

4. Stenina N.G. Evolution of the Mineral Matter of the Earth: Theory and Implications. Energy Paradigm of Geological Processes // Academic Publishing House “Geo”. 2013. 414 P. Scientific electron book www.steninageo.com

5. Стенина Н.Г., Дистанова А.Н. Структурно-химические преобразования силикатных минералов как показатель их генезиса (на примере пород Каахемского плутона, Тува) // Новосибирск: Изд-во ОИГГиМ СО РАН, 1991. 75 с.

6. Stenina N.G., Gutakovskii, Plyasova L.M.Generation of hydrocarbons: Mechanism of reaction, geologic and experimental evidence // Mao J., Bierlein F.P (eds). Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge. Proceedings of the 8th Biennnial SGA Meeting. Beijing, China, 2005. V. 1. P. 1079-1082.

7. Стенина Н.Г. Образование углеводородов в природе: механизм реакции, геологические и экспериментальные доказательства // Геодинамика нефтегазоносных бассейнов: материалы Второй Междунар. конф. М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2005. С. 59-67.

8. Стенина Н.Г. Строительная индустрия в свете решения проблемы связывания воды в силикатном веществе // Новосибирск: Изд-во НГАСУ (Сибстрин), 2014. 48 с.

УДК 691.3

САМОУПЛОТНЯЮЩИЙСЯ БЕТОН: ПРЕИМУЩЕСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В. В. Строкова*, А. О. Молчанов*, В. В. Нелюбова*

** Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, Белгород*

Материалы статьи посвящены самоуплотняющемуся бетону, истории его создания и применения. Рассматривается состав компонентов смеси, приведены преимущества его использования в гражданском строительстве.

Ключевые слова: самоуплотняющийся бетон, СУБ, строительный материал, бетонная смесь

SELF-COMPACTING CONCRETE: ADVANTAGES AND PROSPECTS OF APPLICATION IN CONSTRUCTION

V. V. Strokova*, A. O. Molchanov*, V. V. Nelyubova*

** Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Russia, Belgorod*

The contents of this article are devoted to self-compacting concrete, the history of its creation and application. We consider the composition of the mixture components are the advantages of its use in civil engineering.

Keywords: self-compacting concrete, SCC, building material, concrete mix

В связи с общим научно-техническим прогрессом в мире за последние 30 лет в материаловедении и в технологии бетона произошли значительные изменения.

Появились бетоны нового поколения, существенно отличающиеся по разным параметрам от обычных, новые понятия и термины, изменились некоторые традиционные нормативы.

Новым, весьма перспективным видом строительного материала является самоуплотняющийся бетон (СУБ), который без воздействия дополнительной внешней уплотняющей энергии самостоятельно, под действием собственной тяжести и за счёт высокой подвижности течёт, освобождается от содержащегося в нём воздуха и полностью заполняет пространство опалубки, в том числе между арматурными стержнями [1].

История самоуплотняющегося бетона началась в Японии в 1990 году. Там профессором Хайимой Окамурой было создано и внедрено в практику новое поколение добавок к бетону, а именно высокоэффективные добавки для улучшения текучести на базе полиакрилата и поликарбоксилата. Ему удалось создать бетон, имеющий высокую пластичность и низкое содержание воды. Кроме Окамуры, в создании и развитии самоуплотняющегося бетона принимали участие профессора К. Маекава и Кацумаса Озава.

Благодаря уникальным свойствам и преимуществам этого бетона он быстро распространился в направлении Западной Европы. Вначале этот бетон использовался на предприятиях, производивших готовые железобетонные изделия. Затем самоуплотняющийся бетон стал активно использоваться в качестве так называемого «транспортного бетона», т.е. бетона, который доставляется и укладывается непосредственно на строительной площадке.

Рецептура самоуплотняющейся бетонной смеси весьма существенно отличается от состава обычной смеси. Первым отличием является принципиально другой подход к соотношению и гранулометрии заполнителей. Второе отличие заключается в обязательном присутствии в смеси микронаполнителей [2].

Состав компонентов смеси для приготовления самоуплотняющегося бетона осуществляется, как правило, по японскому методу, разработанному профессором Окамурой. Концепция этой рецептуры базируется на повышении доли мелких пылевидных частиц. Рецептуры самоуплотняющегося бетона базируются на следующих граничных условиях:

− насыпной объём заполнителя крупной фракции должен быть не более 50 % объёма бетона;

− объёмная часть песка в растворе должен составлять 40%.

В наиболее простой форме стандартную рецептуру самоуплотняющегося бетона можно представить следующим образом (таблица).

Компонент	Единица	Количество
Цемент	кг/м^3	350
Зольная пыль	кг/м^3	200
Вода	кг/м^3	170–180
Водоцементное отношение		0,49–0,51
Песок (зернистость 0-2)	кг/м^3	650
Мелкий щебень (2-16)	кг/м^3	950
Пластификатор	кг/м^3	2–4

СУБ по сравнению с другими традиционными видами бетона имеет ряд характерных преимуществ:

- высокая прочность строительных конструкций
- сокращение продолжительности строительства
- широкий выбор форм конструкций
- более безопасное ведение строительно-монтажных работ
- улучшенное качество поверхности конструкции
- минимальный объем пор внутри бетонной смеси

Он позволяет повысить производительность бетонных работ за счет ускорения укладку бетона (сокращая численность рабочих на укладке) и обеспечить лёгкое протекание бетонной смеси через густоармированные участки [3].

Благодаря уникальным свойствам и преимуществам самоуплотняющийся бетон достаточно быстро получил широкое распространение в странах Западной Европы. Сначала он использовался на предприятиях, производивших готовые железобетонные изделия. Затем самоуплотняющийся бетон стал активно применяться в качестве так называемого транспортного бетона, т.е. бетона, который доставляется и укладывается непосредственно на строительной площадке. В частности, подобная технология была достаточно массово апробирована в Швеции в середине 90-х годов прошлого века при строительстве транспортных сетей Стокгольма.

В России же повсеместное применение самоуплотняющегося бетона только получает своё развитие. Однако на протяжении последнего десятилетия рядом строительных организаций предприняты успешные попытки применения самоуплотняющегося бетона в гражданском строительстве, в частности при возведении башен-небоскрёбов Международного делового центра «Москва-сити» в российской столице.

Использование самоуплотняющихся бетонных смесей на объектах ММДЦ «Москва-Сити» осуществлялось в конструкциях как фундаментных плит, так и каркаса высотных зданий. Потребность в таких бетонах предопределена конструктивными решениями и технологическими трудностями при укладке и уплотнении бетонных смесей в густоармированных конструкциях.

Первый опыт применения самоуплотняющихся смесей марки БСГ В50 П5 состоялся при непрерывном бетонировании нижней зоны фундаментной плиты под башню «А» комплекса «Федерация» с расходом арматуры 245 кг/м^3. Общий объем бетона 2200 м^3. Укладка самоуплотняющейся бетонной смеси на глубину 3,5-4 м в нижнюю зону фундаментной плиты осуществлялась через бетонолитные трубы без вибрирования.

Более сложная задача решалась при бетонировании конструкций аутригерного этажа башни «А», представляющих собой сталебетонные конструкции, до-

полнительно армированные стержневой арматурой. Применяли СУБ класса В90 (объем составил 3 тыс. $м^3$)

Прочности самоуплотняющихся бетонов из смесей, произведенных различными заводами и уложенных в конструкции комплекса «Федерация», к 28-суточному возрасту имели требуемый уровень для бетонов классов В50 и В90, а кинетика их твердения не отличались от бетонов аналогичного класса, приготовленных из обычных смесей с осадкой конуса 22-24 см [4].

Экономическая целесообразность применения самоуплотняющихся бетонных смесей доказана его практическим применением в европейских странах. Анализ работ по бетонированию в Германии показал, что за счёт отсутствия отпадает необходимость в уплотнении бетонной смеси на строительной площадке, экономия средств за счёт использования самоуплотняющегося бетона при бетонировании отдельных строительных конструкций может составлять от 3 до 6 евро за конструкцию. Кроме того, необходимость уплотнения бетона, например при бетонировании колонн и опор, вызывает необходимость частых перерывов при подаче бетонной смеси, а при использовании самоуплотняющегося бетона такие перерывы исключены.

Самоуплотняющиеся бетоны являются новым, весьма перспективным видом цементных бетонов, но объем их применения в России при строительстве зданий и сооружений очень мал. Это связано с тем, что для адаптации данной технологии к условиям Российской Федерации необходима серьёзная работа по изучению различных минеральных наполнителей (золы, молотые шлаки и известняк, микрокремнезём и др.) в качестве микронаполнителей в СУБ с исследованием комплекса основных строительно-технических свойств бетонов прочности при различных видах нагружения; деформаций усадки и ползучести; модулей упругости; морозостойкости; выносливости (для транспортных сооружений). Одновременно необходимо разработать (или найти поставщиков) подходящую для СУБ опалубку и смазки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках государственного задания, а также Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова.

Список литературы

1. Лесовик В.С, Милькина А.С. Шаповалов Н.Н. Самоуплотняющийся бетон на композиционном вяжущем с использованием сырьевых ресурсов КМА для устройства полов // Материалы Юбилейной международной научно-практическая конференция, посвященной 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова (XXI научные чтения) Белгород, 9–10 октября, 2014 г. Белгород: Изд-во Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2014. С. 440-444.

2. Бычков М.В., Удодов С.А. Легкий самоуплотняющийся бетон как эффективный конструкционный материал // Науковедение Интернет-журнал. М.: Науковедение, 2013. С. 41.

3. Воронов В.В., Дегтев Ю.В., Лесовик В.С. Вяжущие для малых архитектурных форм из самоуплотняющихся бетонов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. № 5. С. 85–90.

4. Кардумян Г.С. Практический опыт применения новых бетонов в конструкциях высотных зданий // Технологии строительства. 2008. № 7 (62). С. 1-3.

УДК 666.98

К ПРОБЛЕМЕ РАЗРАБОТКИ БЕТОНОВ ПОВЫШЕННОЙ ГИБКОСТИ

Д. С. Уракин*, Ю. Н. Огурцова*, Ю. А. Черняева*

** Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова*
Россия, Белгород, ogurtsova.y@yandex.ru

Рассмотрены основные аспекты проектирования и контроля бетонов повышенной гибкости. Предложены методы повышения эффективности мелкозернистых бетонов для изделий и сооружений, подвергаемых изгибу.

Ключевые слова: мелкозернистый бетон, фибра, поливиниловый спирт

TO THE PROBLEM OF DEVELOPMENT OF CONCRETE WITH INCREASED FLEXIBILITY

D. S. Urakin*, Y. N. Ogurtsova*, Y. A. Chernyaeva*

** Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*
Russia, Belgorod, ogurtsova.y@yandex.ru

The main aspects of the design and control of concrete with increased flexibility were analysed. The methods of increasing the efficiency of fine-grained concrete for products and structures subjected to bending were proposed.

Keywords: fine-grained concrete, fiber, polyvinyl alcohol

Применение фибробетона в ответственных сооружениях – транспортных тоннелях, мостах, в том числе для сейсмоопасных регионов, определяет высокие требования, предъявляемые к данному материалу. Предложение новых методов его модифицирования, применение нетрадиционных сырьевых материалов требует контроля свойств конечного композита и оценки эффективности его использования.

Перспективным направлением является обеспечение не только повышенной гибкости фибробетонов, но и возможности восстановления структуры в случае трещинообразования [1]. Стоит отметить, что в сравнении с зарубежными производителями в России фибробетоны на данный момент не находят широкого применения [2]. Ситуацию осложняют малые объемы производства фибры различных видов на территории России. Импорт фибры зарубежных производителей приводит к удорожанию бетонов. При этом проводятся многочисленные исследования, направленные не только на улучшение характеристик данных материалов, но и на снижение их себестоимости [3, 4]. В нашей стране наименее изученной в сравнении с другими видами фибры для использования в бетонах является фибра, получаемая из поливинилового спирта. Данная фибра обладает всеми преимуществами полимерных фибр, а именно низким удельным весом и устойчивостью к коррозии. Основными достоинствами фибры по информации производителя являются: высокое сродство с бетонной матрицей, снижение пластических деформаций в бетоне, улучшение стойкости к воздействию ударных и истирающих нагрузок, увеличение прочностных показателей бетона и морозостойкости, уменьшение водопоглощения и проницаемости бетона.

В данной работе проведено исследование влияния способа введения в бетонную смесь и количества фибры из поливинилового спирта на конечные характеристики бетона.

Использованы следующие сырьевые материалы: портландцемент производства ОАО «Белгородский цемент», песок Корочанского месторождения Белгородской области, фибра из поливинилового спирта Kuralon II производства Kuraray (Япония).

Используемая в работе фибра представляет собой неразделенные волокна длиной 8 мм и диаметром 38 мкм. При использовании в бетоне данной фибры ключевым моментом для обеспечения высоких характеристик является ее равномерное распределение в бетонной смеси.

Образцы мелкозернистого бетона были исследованы с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

Фибра вводилась в бетонную смесь четырьмя различными способами: I. перемешивание с сухой смесью (цемент + песок); II − перемешивание с готовым цементно-песчаным раствором; III − предварительное перемешивание в воде; IV − предварительное распушение волокон с использованием сита.

Анализ полученных смесей показывает очевидную неэффективность методов I и III. При смешивании с сухой смесью (I) фибра комкуется в шарики размером до двух сантиметров, что не позволяет ее равномерно распределить в бетоне. При предварительном выдерживании в воде (III) фибра набухает и также собирается в комки. Метод IV позволяет достичь разделения фибры на отдельные волокна и в последующем равномерно распределить в бетонной смеси. Однако он имеет недостаток – значительные временные затраты при протирании фибры через сито.

После подготовки фибры и приготовления бетонных смесей были заформованы образцы бетонов размером 4×4×16 см. Для выявления поведения фибры при тепловой обработке одна часть образцов подвергалась пропариванию при температуре 85 °С, а вторая твердела во влажных условиях при комнатной температуре (таблица).

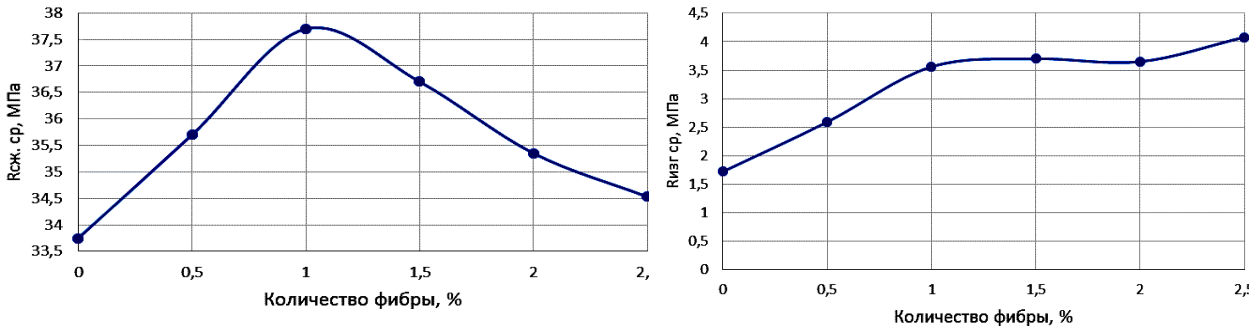
Прочность мелкозернистого бетона с фиброй

Условия твердения	Контрольный (без фибры)		Прочность на сжатие, МПа				Прочность на изгиб*, МПа			
	Прочность на сжатие, МПа	Прочность на изгиб, МПа	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Пропарочная камера	34,2	1,9	23,1	28,0	23,4	28,3	2,1	2,5	2,2	2,7
Нормальные условия	33,7	1,7	29,2	35,2	30,1	36,1	2,6	3,6	2,7	3,7

* При испытании бетонов с фиброй окончательного разрушения образцов после образования трещин не происходит, так как фибра начинает «работать» вместо бетонной матрицы. В связи с тем, что используемый гидравлический пресс не позволяет осуществлять длительную нагрузку, испытания останавливали после прекращения роста нагрузки пресса.

Полученные результаты показывают, что при твердении образцов с фиброй в пропарочной камере наблюдается снижение прочности на сжатие и на изгиб, в то время как контрольные образцы (без фибры) проявили наибольшую прочность после пропаривания. Следовательно, можно сделать вывод, что данную фибру не рекомендуется использовать при получении изделий с использованием тепловлажностной обработки. На основе полученных результатов для дальнейших исследований выбран способ введения фибры № II как оптимальный по всем характеристикам.

На следующем этапе проведен подбор оптимального количества фибры в бетоне. Фибра в состав бетонной смеси вводилась в различном количестве и производилась оценка характеристик бетона (рисунок).



а б

Влияние количества фибры на характеристики мелкозернистого бетона:
а – прочность на сжатие, б – прочность на изгиб

Таким образом, оптимальным является введение фибры в количестве 1 % от объема сухой смеси. Дальнейшее увеличение количества фибры практически не влияет на величину прочности при изгибе, но приводит к падению прочности на сжатие, что может быть обусловлено разуплотнением структуры.

Экономический эффект использования данной фибры может быть обусловлен рядом факторов: низкий вес фибры снижает трудоемкость процесса строительства, повышенная долговечность изделий минимизирует затраты на ремонт.

Работа выполнялась в рамках реализации программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова; при финансовой поддержке РФФИ.

Список литературы

1. Autogenous healing of engineered cementitious composites under wet-dry cycles / Y. Yingzi, M.D. Lepech, E.-H. Yang, V.C. Li // Cement and Concrete Research. 2009. № 39. P. 382-390.

2. Волков И.В. Проблемы применения фибробетона в отечественном строительстве // Строительные материалы. 2004. № 6. С. 12-13.

3. Клюев А.В. К вопросу формирования высококачественных фибробетонных композитов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 6. С. 55-57.

4. К вопросу о щелочестойкости базальтовой фибры в цементной системе / В.Б. Бабаев, В.В. Строкова, В.В. Нелюбова, Н.Л. Савгир // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 2. С. 63-66.

УДК 691.327

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА ОАО «ИЖСТАЛЬ» (Г. ИЖЕВСК) В СОСТАВЕ ЦНВ

А. Р. Хаматова*, О. В. Хохряков*

** Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, Казань, olvik@list.ru*

Рассмотрены вопросы применения электросталеплавильного шлака ОАО »Ижсталь» (г. Ижевск) в качестве активного наполнителя для рядового цемента и цементов низкой водопотребности (ЦНВ). Показано, что в цементно-песчаном без потери его прочности можно заменить цемент на 15% шлака. Сравнительная активность рядового портландцемента и ЦНВ получена при добавлении в него шлака в количестве 30%.

Ключевые слова: электросталеплавильный шлак, цемент низкой водопотребности, наполнители

ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF ELECTROSTEEL-SMELTING SLAG OF JSC IZHSTAL (G. IZHEVSK) AS A PART OF CNV

A. R. Hamitova*, O. V. Hohryakov*

** Kazan state university of architecture and engineering, Russia, Saratov, olvik@list.ru*

Questions of use of electrosteel-smelting slag of JSC Izhstal (Izhevsk) as active a filler for ordinary cement and the cements of low water requirement (CNV) are considered. It is shown that in concrete without loss of its durability it is possible to replace cement with 15% of slag. Comparative activity of an ordinary Portland cement and CNV is received at addition of slag in it in number of 50%.

Keywords: electrosteel-smelting slag, cement of low water requirement, fillers

Прирост потребностей строительной индустрии может быть удовлетворен за счет широкого использования вторичных ресурсов и отходов промышленности.

Отвалы металлургических шлаков занимают большие площади, их содержание требует значительных эксплуатационных затрат, и они являются источником загрязнения окружающей среды, представляют опасность для здоровья населения и угрозу растительному и животному миру близлежащих районов. Одним из наиболее перспективных направлений утилизации шлаковых отходов является их применение в строительных материалах.

Утилизация шлаковых отходов является важной составной частью проблемы создания безотходных и малоотходных технологий в промышленном производстве. В современных условиях производство основных материалов и изделий все в большей степени следует оценивать по параметрам, характеризующим количество образующихся отходов. Основной технологической задачей является переработка отходов в месте и в момент их возникновения.

В настоящее время сталеплавильные шлаки подвергаются грубому дроблению с целью извлечения крупного скрапа. Металл, выделенный из скрапа, возвращается в основный цикл производства, а из оставшихся отходов после дробления получают щебень, который используется в дорожном строительстве на отсыпке дорог [1, 2].

В данной работе изучена техническая целесообразность применения электросталеплавильного шлака (г. Ижевск) в качестве активного наполнителя цементных бетонов и для цементов низкой водопотребности (ЦНВ). Известно [3], что ЦНВ – емкий продукт, способный «поглощать» до 70% наполнителей как техногенного, так и природного происхождения. Технология ЦНВ пожаровзрывобезопасна, безотходна и не загрязняет окружающую среду. К основному оборудованию по производству ЦНВ относятся промышленно выпускаемые мельницы, сушилки, смесители, дробилки, дозаторы. Выделение CO_2 в атмосферу при производстве ЦНВ отсутствует.

Нами изучен состав ЦНВ-70, приготовленный на бездобавочном портландцементе ПЦ500Д0 производства ОАО «Мордовцемент», электросталеплавильном шлаке и суперпластификаторе СП-1 (ОАО »Полипласт»). Суперпластификатор в составе ЦНВ выполняет двойную функцию – сильного интенсификатора помола компонентов ЦНВ, что позволяет снизить энергозатраты на помол и эффективной водопонижающей добавки, предадсорбционно нанесенной на поверхность минеральной фазы. Суперпластификатор вводили в количестве 1% от массы ЦНВ-50. Электросталеплавильный шлак, вводимый в состав ЦНВ в качестве наполнителя, был предварительно высушен, затем измельчен в щековой дробилке и просеян че-

рез сито с размером ячейки 0,315 мм. Удельная поверхность шлака после дробления получена 127 м^2/кг. Химический состав шлака приведен в табл. 1. ЦНВ получали путем совместного помола шлака, цемента и суперпластификатора.

Таблица 1 – Химический состав электросталеплавильного шлака

Содержание окислов, %									П.п.п.	Влага
SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	MnO	Cr_2O_3	CuO	ZnO	Fe_2O_3		
16,35	0,81	3,46	1,53	1,41	2,04	0,28	5,90	50,82	1,54	4,62

Установлено, что свойства ЦНВ-70 отличаются от свойств портландцемента без применения шлака вследствие влияния суперпластификатора, который адсорбируется на поверхности твердых частиц. Например, существенно снижается водопотребность ЦНВ-70 в сравнении с ПЦ500Д0 (на 29,5 %).

Шлак в качестве активного минерального наполнителя вводили в количестве 5 и 15 % от массы цемента. Высушенный и дробленый шлак после просеивания подвергался помолу до удельной поверхности 476 м^2/кг в течение 8 минут.

Сравнительные характеристики цементно-песчаного раствора (ГОСТ 310.4) на основе ПЦ500Д0 со шлаком и ЦНВ-70 приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Сравнительные характеристики ПЦ500Д0 и ЦНВ-70

Наименование показателей	ПЦ500Д0			ЦНВ-70
	без шлака	со шлаком 5%	со шлаком 15%	
Удельная поверхность вяжущего, м^2/кг	370	-	-	473
Водоцементное отношение	0,44	0,45	0,46	0,31
Расплыв конуса, мм	115	111	113	113
Прочность при изгибе после ТВО, МПа	4,5	4,7	4,5	3,6
Прочность при сжатии после ТВО, МПа	37,4	41,7	38,1	39,4

Из табл. 2 видно, что в цементно-песчаном растворе без потери его прочности можно заменять цемент на 15 % шлака. Дальнейшее увеличение содержания шлака приводит к росту водопотребности раствора и снижению его прочности. Сравнительная активность ЦНВ с ПЦ500Д0 достигается при добавлении в него шлака в количестве 30 %. Дальнейшее его увеличение приводит к падению прочности ЦНВ.

Таким образом, шлак является эффективным минеральным наполнителем, который может использоваться для частичной замены цемента, что позволит снизить себестоимость бетонных и железобетонных изделий.

Список литературы

1. Юдина Л.В., Юдин А.В. Металлургические и топливные шлаки в строительстве. Ижевск: Удмуртия, 1995. 160 с.

2. Модифицированный мелкозернистый бетон для возведения монолитных покрытий взлетно-посадочных полос аэродромов / Якупов М.И., Морозов Н.М., Боровских И.В., Хозин В.Г. // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. № 4. С. 257-261.

3. Карбонатные цементы низкой водопотребности – зеленая альтернатива цементной индустрии России / Хозин В.Г., Хохряков О.В., Сибгатуллин И.Р., Гиззатуллин А.Р., Харченко И.Я. // Строительные материалы. 2014. № 5. С. 76-82.

УДК 691.3

К ВОПРОСУ О ДИСПЕРСНОМ АРМИРОВАНИИ ПЕНОБЕТОНА

О. В. Хотомченко*, М. Н. Сивальнева*, Л. Н. Боцман*, Н. В. Павленко*

** Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, Белгород*

Рассмотрены типы микроармирующих добавок и их основные характеристики. Обобщены требования, предъявляемые к дисперсной арматуре, применяемой в технологии ячеистых бетонов. Функциональная роль фибры заключается в создании пространственного каркаса структуры строительного композита, что позволяет улучшить ряд эксплуатационных характеристик.

Ключевые слова: пенобетон, микроармирование, фиброволокна, фибропенобетон

TO THE QUESTION OF FOAM CONCRETE DISPERSE REINFORCEMENT

O. V. Hotomchenko*, M. N. Sivalneva*, L. N. Botsman*, N. V. Pavlenko*

** Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Russia, Belgorod*

The types of micro-reinforcing additives and their main characteristics were analysed. The requirements for the dispersed reinforcement used in the technology of cellular concrete were summarized. The functional role of fiber is to create a spatial frame work of structure of constructional composite , which allows to improve a number of performance characteristics.

Keywords: foam concrete, the microreinforcement, reinforcing fiber, fibrofoamconcrete

Ячеистый бетон – один из самых распространенных материалов, применяемых в строительстве. В зависимости от условий твердения данный материал подразделяется на два типа: автоклавный и неавтоклавный. Простота производства, широкая сфера применения, относительно невысокая себестоимость предопределили популярность ячеистого композита неавтоклавного твердения.

При видимой простоте технологического процесса формирование макроструктуры данных материалов трудно поддается управлению и регулированию, что обусловлено комплексом факторов, оказывающих влияние на структурообразование материала. В связи с этим велика вероятность формирования дефектной структуры и колебания свойств, снижающих эксплуатационные характеристики. С целью снижения восприимчивости систем к воздействию данных факторов на поризованную систему композита, применяется дисперсное армирование. Дисперсное армирование представляет собой введение в систему дискретных волокон различного происхождения, путем равномерного распределения по объему [1].

Микро- и дисперсноармирующие добавки представлены фиброволокнами различной природы: базальтовые, полипропиленовые, полиамидные, капроновые, стеклянные, асбестовые, углеродные, полиэтиленовые, полиэфирные и др. Вещественная принадлежность волокна оказывает существенное влияние на улучшение свойств при дисперсном армировании пенобетонов [2].

Армирующие волокна имеют несколько классификаций и в соответствии с одной из них фибровые волокна подразделяются на два больших класса: природные и искусственные. В свою очередь, группа «Природные армирующие добавки» разделяются на органические (растительного и животного происхождения) и минеральные. Класс искусственных фибр представлен органическими, неорганическими и смешанными [3].

Согласно другой принятой классификации, армирующие волокна подразделяются на высокомодульные и низкомодульные. Низкомодульные волокна характеризуются большим относительным удлинением при разрыве, в этом случае наблюдается повышение ударной вязкости бетона. Применение высокомодульных волокон позволяет достичь также увеличения прочности при растяжении, жесткости и сопротивлении динамическим воздействиям.

К высокомодульным относятся волокна: стальные, базальтовые, стеклянные, углеродные. К низкомодульным волокнам относится один большой тип – органические фиброволокна, представленные полиэтиленовыми, полипропиленовыми, полиэфирными [4].

При сравнении характеристик различных фибр, можно отметить, что синтетические волокна уступают стальным и минеральным по прочностным показателям, но их использование позволяет улучшить ряд важных характеристик строительных композитов. Положительное влияние на свойства материала обуславливает их широкое применение в строительстве (табл. 1).

Таблица 1 – Физико-механические свойства волокон, применяемых для дисперсного армирования бетонов

Наименование волокна	Плотность, г/см^3	Модуль Юнга, 10^{-3} МПа	Прочность на растяжение, 10^{-3} МПа	Удлинение при разрыве, %
Полипропиленовое	0,9	3,5–8	0,4–0,77	10–25
Полиэтиленовое	0,95	1,4–4,2	0,7	10
Нейлоновое	1,1	4,2	0,77–0,84	16–20
Акриловое	1,1	2,1	0,21–0,42	25–45
Полиэфирное	1,4	8,4	0,73–0,78	11–13
Углеродное	2,0	245	2	1
Хлопковое	1,5	4,9	0,42–0,7	3–10
Асбестовое	2,6	68	0,91–3,1	0,6
Стеклянное	2,6	70–80	1,05–3,85	1,5–3,5
Базальтовое	2,6	80–100	1,6–3,6	1,4–3,6
Стальные фибры	7,8	200	0,80–3,15	3–4

Активная роль микроармирующих компонентов заключается в следующем [5]:

– армирующие волокна формируют пространственный каркас, размер ячеек которого определяется геометрическими параметрами фибровых компонентов и их концентрацией;

– свежезаформованные смеси пенобетона подвержены осадке, вызванной транспортированием и укладкой в формы, что приводит к коалесценции пор, синерезису пены, утолщению и разрыхлению межпоровых перегородок. Введение фиброволокон, представляющих собой поверхность раздела фаз, сдерживает осадочно-деформационные явления;

– армирующие волокна на ранней стадии твердения являются фиброцементным каркасом, повышающим устойчивость и пластическую прочность материала, нейтрализуя деструктивные процессы при наборе прочности.

Применение дисперсного армирования оказывает положительное воздействие на композит в различных направлениях, что включает улучшение структуры в целом и повышение эксплуатационных характеристик материала. При дисперсном армировании пенобетона синтетическими волокнами, формируется капиллярно-поровая структура материала, увеличивается доля условно-замкнутых пор в объеме порового пространства, что способствует улучшению эксплуатационных характеристик и повышению долговечности материала. При этом определяющим фактором является степень насыщения бетонной матрицы одинаковыми по размеру армирующими волокнами. Фибра уменьшают пластическую усадку, улучшают водоудерживающую способность материала, ограничивают седиментацию минеральных составляющих за счет создания трехмерной сетки внутри минеральной системы.

При введении базальтового волокна структура пенобетона становится аналогичной структуре бетона, армированного стальной сеткой. Придание базальтопенобетону прочности осуществляется за счет высокой степени дисперсности армирующего волокна при хороших прочностных характеристиках самого волокна. Увеличение прочности цементного камня происходит за счет влияния базальтового волокна на концентрации напряжений в местах, ослабленных структурными дефектами, либо повышенной пористости. Волокна улучшают микроструктуру, снижают внутренние напряжения и усадку цементного камня. Веретенообразная структура базальтового волокна хемосорбционно взаимодействует с цементной системой, создавая условия для роста новообразований низкоосновных гидросиликатов кальция в зоне контакта. Структура упрочняется за счет сцепления, или срастания фибровых волокон с новообразованиями твердеющего материала. Система с наличием в ней фибры характеризуется низкой осадкой, так как волокна влияют на структурообразование уже на ранних сроках твердения [6].

В результате проведенного обзора определены требования, предъявляемые к дисперсной арматуре, используемой в технологии ячеистых бетонов:

- соотношение модулей упругости армирующего волокна и бетонной матрицы (Ев/Еб) должно быть больше 1;
- предельная деформативность волокна должна быть выше предельной деформативности бетона;
- механическая прочность армирующего волокна на растяжение должна быть выше, чем у бетонной матрицы;
- щелочестойкость, что особенно важно для цементных систем;
- гибкость и стойкость к истиранию;
- низкое водопоглощение при достаточной адгезии к цементному камню;
- стабильность физико-механических свойств в условиях технологической обработки и последующей эксплуатации;
- невысокая стоимость и доступность.

При анализе литературных данных установлено, что применение армирующих волокон в технологии получения ячеистых бетонов неавтоклавного твердения является наиболее перспективным и эффективным. Это обосновано повышением агрегативной устойчивости системы, прочностных характеристик композита, снижением трещинообразования и времени твердения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки в рамках государственного задания, проект 979.

Список литературы

1. Павленко Н.В., Капуста М.Н., Мирошников Е.В. Особенности армирования ячеистых бетонов неавтоклавного твердения на основе наноструктурированного вяжущего // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 1. С. 33-36.
2. Моргун, В.Н., Талпа Б.В. Влияние вида дисперсной арматуры на свойства пенобетонов // Строительные материалы. 2008. № 6. С.48-49.
3. Загороднюк Л.Х., Шакарна М., Щекина А.Ю. Классификация добавок для армирования мелкодисперсных композитов // Materials digest of the XLIX International Research and Practice Conference and I stage of the Championship in technical sciences, construction sciences and architecture (London April 25–April 30 2013) «Construction technologies and architectural aesthetics of the information society» Published by IASHE. London, 2013. P. 46-49.
4. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: монография. М.: Изд-во АСВ, 2011. 642 с.
5. Моргун Л.В., Лобанов И.А., Пухаренко Ю.В. Особенности структуры и свойства безавтоклавных ячеистых бетонов, армированных синтетическими волокнами // Бетон и железобетон. 1983. № 9. С. 12-14.
6. Калугин И.Г. Пенобетоны дисперсно-армированные базальтовыми волокнами: автореф. дис. … канд. техн. наук. Красноярск: Полиграфический центр Библиотечно-издательского комплекса СФУ, 2011. 17 с.

УДК 691.53

ВЛИЯНИЕ БИОЦИДНЫХ КОМПОНЕНТОВ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ГИПСА

В. В. Нелюбова*, М. Д. Тумашова*, Э. К. Калатози*

** Белгородский государственный технологический университет им. Шухова В.Г., Россия, Белгород*

Рассмотрено влияние разных концентраций биоцидных компонентов на физико-химические свойства образцов строительного гипса. Показана целесообразность использования БиоПласта в составе воды затворения, а Биоцида-С – в составе раствора для выдержки образцов. Отмечен рост прочности при сжатии гипсовых образцов.

Ключевые слова: биоцид, гипс, биоповреждения, защита, процесс разрушения, микроорганизмы

INFLUENCE OF BIOCIDE COMPONENTS DIFFERENT COMPOSITION ON THE STRENGTH PROPERTIES OF GYPSUM

V. V. Nelubova*, M. D. Tumashova*, E. K. Kalatozi*

** Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov, Russia, Belgorod*

The influence of different concentrations of biocide components on the physical and chemical properties of the samples of gypsum cement was considered. The expediency of using Bioplast jointly with mixing water and Biocide S - as part of the solution for curing the samples was shown. Increase in the compressive strength of gypsum samples was marked.

Keywords: biocide, gypsum, biodeterioration, protection, destruction process, micro-organisms

В настоящее время к числу широко используемых вяжущих веществ относится гипс. Он применяется в строительстве, медицине, производстве товаров народного потребления.

Несмотря на очевидные преимущества, существуют определенные трудности, связанные с использованием данного материала в строительстве: низкая водостойкость, высокая гигроскопичность, недостаточная биостойкость. Последнее обусловлено тем, что гипсовые композиты характеризуются оптимальным значением щелочности, что делает их благоприятной средой для развития микроорганизмов. Необходимо отметить, что проблема биостойкости строительных композитов в настоящее время особенно актуальна. При эксплуатации в условиях повышенной влажности изделия поражаются микроскопическими грибами, ухудшается экологическая ситуация в зданиях, поверхность изделий покрывается пигментными пятнами, материал постепенно становится рыхлым и разрушается [1, 2].

Процесс разрушения материала имеет несколько этапов. Первый этап характеризуется переносом спор грибов на поверхность объекта; второй этап – адсорбция микроорганизмов на поверхностях изделий и конструкций. Процесс адсорбции зависит от свойств микроорганизмов, характера поверхности, степени шероховатости, состояния среды, pH. В третьем этапе происходит образование микроколоний и их рост до размеров, видимых невооруженным глазом, сопровождаемый появлением коррозионно-активных метаболических продуктов и локальным накоплением электролитов с избыточным содержанием гидроксония H_3O. Четвертый этап характеризуется накоплением продуктов метаболизма, образующихся в результате жизнедеятельности микроорганизмов на поверхностях повреждаемых объектов. Данный этап представляет значительную опасность [3-5].

Химическая защита материалов от биоповреждений основана на использовании биологически активных химических веществ или препаратов на их основе, способных предотвращать развитие, ослаблять жизнедеятельность или уничтожать организмы, вызывающие повреждения или полное разрушение материалов, отдельных конструкций или объектов в целом. Такие вещества и препараты называют биоцидами, защитными средствами, отдельные из них – антисептиками, техническими пестицидами, препаратами комплексного защитного действия.

Целью настоящей работы являлось изучение влияния биоцидных добавок на прочностные свойства гипса строительного. В качестве биоцидов использовались добавки сходного действия, но на разных химических основах: *Биоцид-С* – алкилдиметилбензиламмоний хлорид; *БиоПласт* – полигексаметиленгуанидин.

Все образцы формовались из гипса строительного марки Г-5 БII. Количество воды подбиралось исходя из нормальной густоты. Добавки вводились двумя способами: в составе воды затворения и в растворе, в котором выдерживались образцы. Увеличение концентраций биоцидов по сравнению с рекомендациями производителей связано с необходимостью выявления их влияния на эксплуатационные свойства растворов на основе гипса (табл. 1).

Метод затворения гипса биоцидными компонентами. По истечению суток с помощью пресса образцы были раздавлены.

Введение добавки БиоПласт повышает прочность на 16,7 и 6 % при его концентрациях, равных 20 и 33 % соответственно (рис. 1). Самые низкие показатели по прочности отмечены у образцов с использованием Биоцида-С. В данном случае падение прочности составляет 22,5 и 19 %.

Таблица 1 – Составы образцов с использованием биоцидов в составе воды затворения

№	Название биоцидного компонента	Концентрация, %
1	Контрольный образец гипса	0
2	Биоцид-С	10
3	Биоцид-С	50
4	БиоПласт	1:3 (33 %)
5	БиоПласт	1:5 (20 %)

Таким образом, при затворении гипса биоцидными компонентами концентрацией выше рекомендуемой в случае с БиоПластом идет положительное увеличение прочности образцов, что в свою очередь сказывается на свойствах материала и делает его более фунгицидным. Биоцидная добавка Биоцид-С имеет менее хорошие показатели, что отрицательно сказывается на механических свойствах образца, но при этом материал защищен от воздействия агрессивных сред.

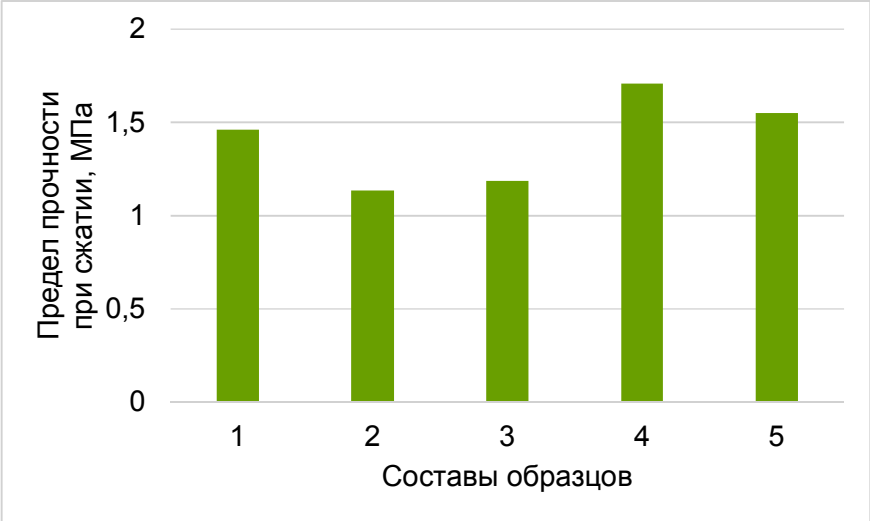


Рис. 1 – Зависимость прочности образцов от состава при введении биоцидов в составе воды затворения

Метод выдерживания образцов из строительного гипса в биоцидных растворах с заданными концентрациями проходил в течение суток (табл. 2). По истечению суток, образцы извлекались из раствора. Далее происходила сушка до постоянной массы и испытание.

Таблица 2 – Составы образцов с использованием биоцидов в составе растворов для выдерживания

№	Название биоцидного компонента	Концентрация, %
1	Контрольный образец	0
2	Биоцид-С	1,5
3	Биоцид-С	3
4	БиоПласт	1:3 (33 %)
5	БиоПласт	1:5 (20 %)

Согласно полученным данным (рис. 2), выдерживание образцов в растворах биоцидов различного состава приводит к увеличению прочности всех образцов по сравнению с контрольным составом. Так, при концентрации добавки Биоцид-С, равной 3 %, наблюдается рост прочности в 2,5 раза. Использование БиоПласта менее эффективно. Тем не менее, отмечается незначительный рост прочности. На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что использование биоцидов для получения растворов и выдерживание в них образцов является более целесообразным и перспективным методом для двух образцов биоцидного компонента, нежели введение добавок с водой затворения. Такой способ не только улучшает защитные свойства материала от биокоррозии (предостерегает от образования новых грибков и бактерий, образует защитную плёнку, очищает поверхность), но и упрочняет сам материал.

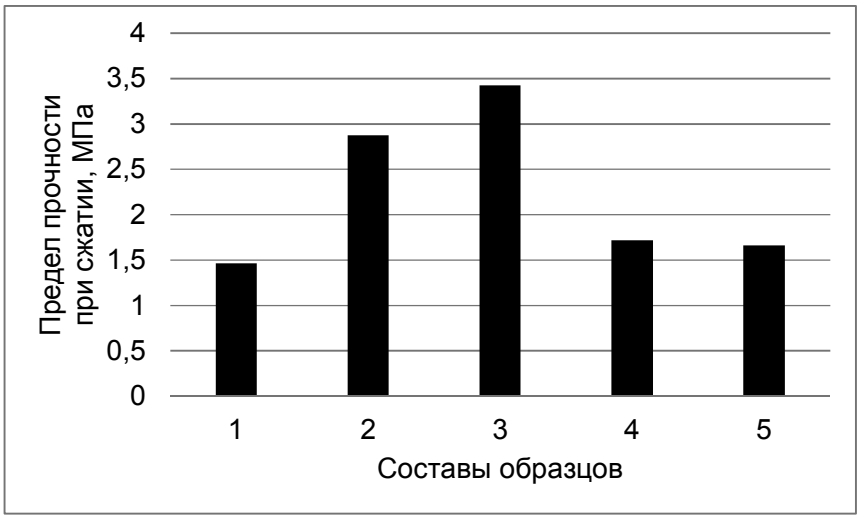


Рис. 2. Зависимость прочности образцов от состава
при выдерживании в растворах биоцидов в течение суток

Таким образом, в работе показано, что использование биоцидных компонентов различного состава оказывает различное влияние на прочностные свойства цементных образцов. При этом в случае метода затворения целесообразно использовать БиоПласт, тогда как Биоцид-С – в качестве водного раствора для выдерживания образцов. При этом использование биоцидов в больших концентрациях в составе воды затворения положительно сказывается на физико-механические свойства гипса.

Список литературы

1. Василенко М.И., Гончарова Е.Н. Микробиологические особенности процесса повреждения бетонных поверхностей // Фундаментальные исследования. 2013. № 8-1. С. 85-89.

2. Гончарова Е.Н., Чаплина Ю.В., Круть В.В. Защита строительных материалов от биокоррозии // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2004. № 8. С. 48.

3. Гончарова Е.Н., Юрченко В.А., Бригад Е.В., Чаплина Ю.И. Возбудители микробиологической коррозии бетона // Экология и промышленность России. 2003. № 3. С. 22–24.

4. Гридчин А.М., Баженов Ю.М., Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х. Строительные материалы для эксплуатации в экстремальных условиях: учеб. пособие. Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. 595 с.

5. Соломатов В.И., Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф. Биологическое сопротивление материалов. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2001. 196 с.

УДК 661.185

ПОЛИОЛЫ КАК ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ НАНОФАЗОЙ ЦЕМЕНТА

Е. А. Шошин*

** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов*

Исследования изменений электрокинетического потенциала модифицированных полиолами цементных суспензий выявили колебательные процессы во время индукционного периода гидратации цемента. Микроскопическое исследование выявило изменения в характере нанофазы цемента.

Ключевые слова: модифицированный цементный камень, полиолы, электрокинетический потенциал, микроскопический анализ, наночастицы

EFFECT OF POLYOLS ON NANO-PHASE CEMENT STRUCTURE

E. A. Shoshin*

** Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov*

The zeta-potential of early cement hydration phase is high sensitivity to the presence of polyols. Polyols are forming the oscillatory processes during the induction period of cement hydration. Microscopic examination revealed a change in the nature of cement nano-phase.

Keywords: modified cement stone, polyols, zeta-potential, microscopic examination, nano-particles

Строительная индустрия – бурно развивающаяся отрасль, без инноваций в которой немыслимо развитие всего народного хозяйства. В конце прошлого столетия развитие в строительном материаловедении связывалось с индустрией добавок, среди которых особое значение имеют суперпластификаторы и гиперпластификаторы. Анализ отечественных и зарубежных работ в области строительного материаловедения за последние годы показывает, что совершенствование состава пластифицирующих композиций до сих пор остается весьма актуальной задачей [например, 1-5]. Однако на данном этапе основные инновационные ожидания связаны с нанотехнологиями, развитие которых приводит к резкому снижению стоимости нанопродуктов [например, 6], в результате чего возникает возможность их массового применения в рецептуре цементных бетонов. Так обстоит дело с нанодиоксидом кремня, аспекты применения которого активно изучаются [7, 8]. Однако возможен и другой подход, заключающийся в синтезе наночастиц гидросиликатов заданной структуры и свойств непосредственно в процессе гидратации цемента. В этом случае индукционный период гидратации цемента приобретает особое значение.

Одна из моделей, объясняющих явление индукционного периода гидратации цемента, предполагает кинетическую природу этого эффекта, связанную с процессами зародышеобразования и кристаллизации цементного геля [9,10].

Наблюдение, косвенно подтверждающее последнюю точку зрения, сделали авторы [11], обнаружив в ходе калориметрических исследований гидратации C_3S экзотермический эффект, соответствующий образованию на поверхности частиц C_3S наночастиц цементного геля. Дальнейшие исследования различных видов портландцемента показали, что обнаруженный экзоэффект является характеристическим и связан с началом лавинообразного формирования на поверхности

клинкерных частиц наночастиц C-S-H-геля [12]. Иными словами, в ходе индукционного периода гидратации происходит формирование и созревание наночастиц гидросиликатов.

Исходя из теоретических представлений об эволюции наносистем [13], цементную пасту в индукционном периоде следует рассматривать как систему, находящуюся в состоянии активного роста и развития (первая стадия эволюции наносистем) – в условиях роста концентрации $Ca(OH)_2$, SiO_2 и Al_3^+ формируются разнообразные по свойствам наночастицы (зародышевая фаза), которые находятся в конкурентных отношениях между собой. К моменту достижения порога насыщения раствора $Ca(OH)_2$ (интенсивность роста концентрации $Ca(OH)_2$ падает до нуля) первая стадия развития цементной суспензии как наносистемы заканчивается и начинается вторая стадия развития наносистемы – старение и компактизация: наиболее устойчивые формы наночастиц становятся доминирующими и определяют характер последующего фазообразования. В этом смысле жидкая фаза цементной суспензии является своеобразным реактором, где формируется нанофаза, определяющая параметры как цементного геля, так и продуктов его кристаллизации. Наличие конкурентных процессов на первой стадии развития наносистемы часто приводит к проявлению колебательного характера изменения свойств наносистемы, например, массы наночастиц [13]. С этой точки зрения, знаковым было обнаружение колебательного характера изменения Z-потенциала цементной суспензии в присутствие углеводов.

Из приведенного графика видно, что присутствие углеводов в цементной суспензии провоцирует колебательный процесс, характер которого определяется молекулярной структурой модифицирующего углевода. Характерно, что присутствие углевода начинает влиять на величину Z-потенциала только после 30 мин гидратации, когда заканчивается предындукционный период (активный гидролиз клинкерных силикатов и насыщение раствора $Ca(OH)_2$) и цементная система переходит в состояние «покоя», характерное для индукционного периода [14]. Следует отметить, что именно в этот момент в модифицированных системах начинает проявляться колебательный процесс, амплитуда которого со временем увеличивается.

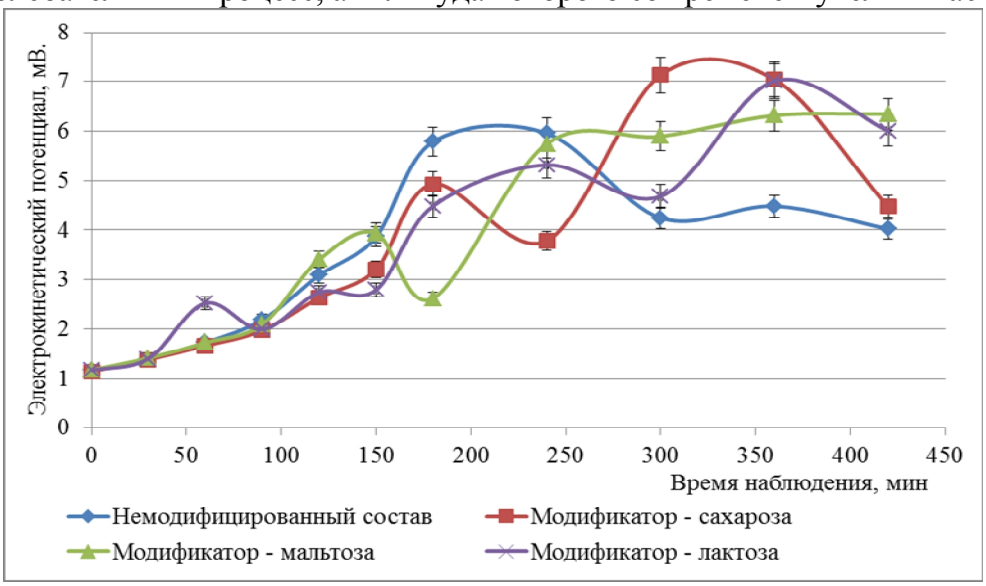
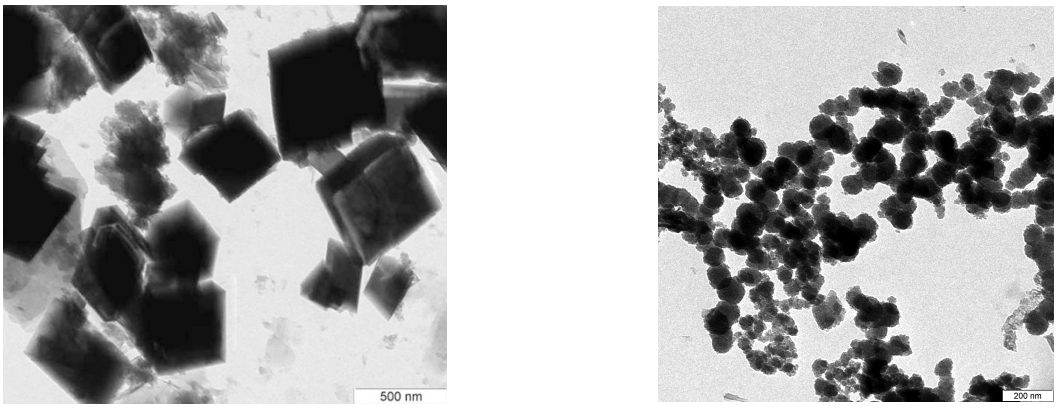


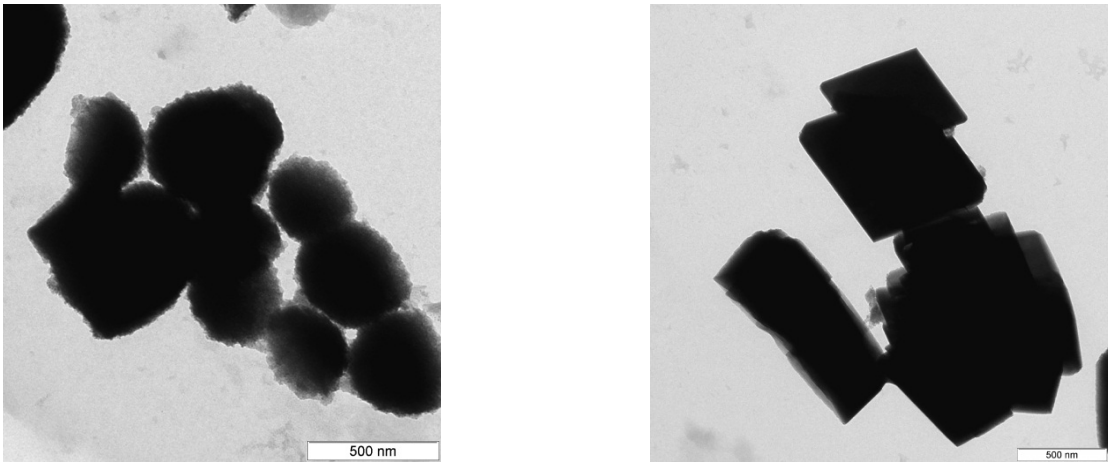
Рис. 1. Изменение электрокинетического потенциала цементных паст, модифицированных дисахаридами (содержание углеводов 0,003 моль/100 г цемента)

Исследования показали, что взаимодействие углеводов с гидросиликатами осуществляется посредством нескольких водородных связей число и расположение которых зависит от структуры углевода [15]. Таким образом, присутствующие в модифицированных системах углеводы посредством адсорбции стабилизируют наноформы гидросиликатов, не характерные для немодифицированных цементных систем. В результате в растворе растет число относительно стабильных наноформ гидратных образований, обостряются процессы конкуренции между ними (увеличение амплитуд колебаний кинетических кривых Z-потенциала), а рост растворимости $Ca(OH)_2$ в присутствие углеводов позволяет значительно продлить стадию активного роста и развития наносистемы. При этом различные углеводы формируют индивидуальный набор стабильных наноформ гидратных образований. Результатом описанных процессов должны стать изменения в характере наночастиц, присутствующих в цементной системе. И действительно, микроскопические исследования показали, что во всех случаях модификации цементных паст углеводами наблюдается изменение характера нанофазы (рис. 2-5).



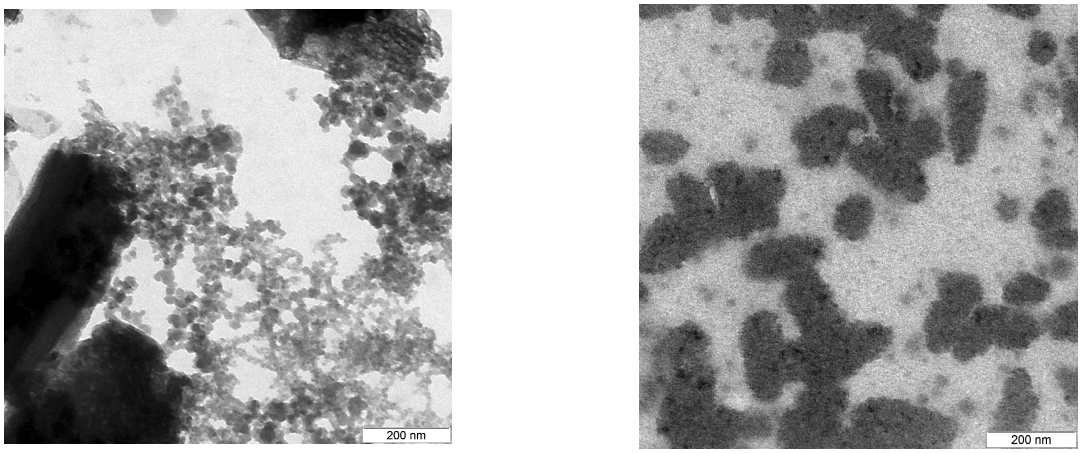
а б

Рис. 2. Характеристические наноструктуры немодифицированного портландцемента



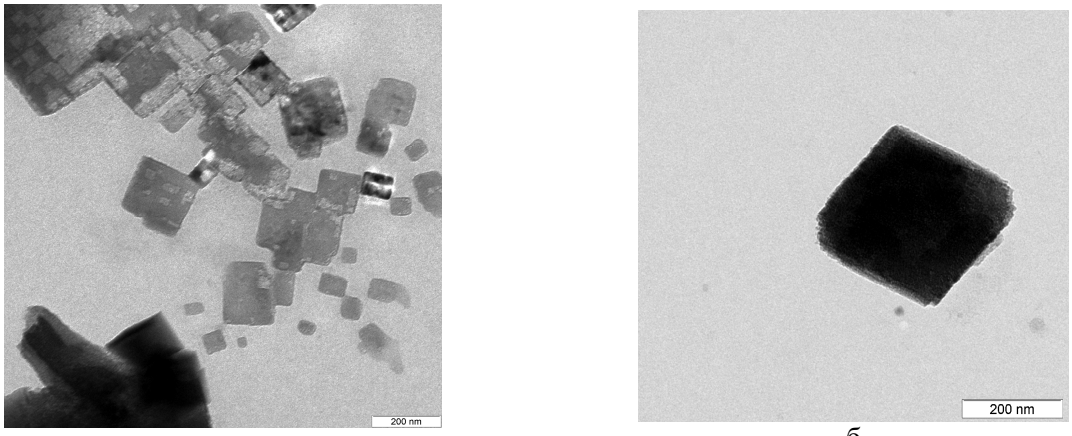
а б

Рис. 3. Характеристические наноструктуры портландцемента, модифицированного сахарозой



а б

Рис. 4. Характеристические наноструктуры портландцемента, модифицированного мальтозой



а б

Рис. 5. Характеристические наноструктуры портландцемента, модифицированного лактозой

На представленных фотографиях видно, что в отсутствие добавок в системе присутствуют характерные петлевидные структуры цементного геля из сферических частиц диаметром до 100 нм (рис. 2б). Кристаллическая фаза представлена кубическими и гексагональными элементами алюминатов с высокой дефектностью поверхностей (рис. 2а). В присутствие углеводов размер сферических элементов значительно больше, они образуют плотные сгустки (рис. 3а, 4б). А в некоторых случаях нанофаза представлена исключительно кубическими элементами (рис. 5).

Таким образом, представленные результаты демонстрируют принципиальную возможность управления структурой нанофазы цементного камня на ранней стадии гидратации путем введения полиолов с контролируемой молекулярной архитектурой.

Список литературы

1. Synthesis and performance of methacrylic ester based polycarboxylate superplasticizers possessing hydroxy terminated poly(ethylene glycol) side chains / J. Plank, K. Pöllmann, N. Zouaoui, P.R. Andres, C. Schaefer // Cement & Concrete Research. 2008. № 38.

2. Design and function of novel superplasticizers for more durable high performance concrete (superplast project) / Yves F. Houst, Paul Bowen, François Perche, Annika Kauppi, Pascal Borget, Laurent Galmiche, Jean-François Le Meins, Françoise Lafuma, Robert J. Flatt, Irene Schober, Phil F.G. Ban.ll, David S. Swift, Bernt O. Myrvold, Berit G. Petersen, Kåre Reknes // Cement & Concrete Research. 2008. № 38.

3. Hybrid additives for construction applications, fabricated through layer-by-layer adsorption of polycondensate type superplasticizers on latex templates / Markus Gretz, Johann Plank // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2010. № 366.

4. Cellulose ethers in.uence on water retention and consistency in cement-based mortars / Laetitia Patural, Philippe Marchal, Alexandre Govin, Philippe Grosseau, Bertrand Ruot, Olivier Devès // Cement & Concrete Research. 2011. № 41.

5. Effect of molecular weight of sulfanilic acid-phenol-formaldehyde condensate on the properties of cementitious system / Xinping Ouyang, Xinyuan Jiang, Xueqing Qiu, Dongjie Yang, Yuxia Pang // Cement and Concrete Research. 2009. № 39.

6. Rakov E.G. Carbon nanotubes in new materials // Russ.Chem.Rev. 2013. V. 82. P. 27-47.

7. Quercia G., Hüsken G., Brouwers H.J.H. Water demand of amorphous nano silica and its impact on the workability of cement paste // Cement and Concrete Research. 2012. Vol. 42. Iss. 2. P. 344-357.

8. The pozzolanic reactivity of monodispersed nanosilica hydrosols and their influence on the hydration characteristics of Portland cement / Hesam Madani, Alireza Bagheri, Tayebeh Parhizkar // Cement and Concrete Research. Vol. 42, Iss. 12. December 2012. P. 1563-157.

9. Fierens P., Verhagen J.P. Hydration of tricalcium silicate in paste – kinetics of calcium ions dissolution in the aqueous phase // Cem.Concr. Res. 1976. № 6. P. 337-342.

10. Early hydration of tricalcium silicate II. The induction period / Odler I., Dörr H. // Cem. Concr. Res. 1979. № 9. P. 277-284.

11. A peak in the hydration reaction at the end of the cement induction period / Makar J.M., Chan G.W., Esseghaier K.Y. // Journal of materials science. 2007. V. 42. № 4. P. 1388-1392.

12. Makar J.M., Chan G.W. End of induction period in ordinary Portland cement as examined by high-resolution scanning electron microscopy // Journal of the American ceramic society. 2008. V. 91. № 4. P. 1292-1299.

13 Мелихов И.В.. Тенденции развития нанохимии // Рос. хим. журнал. 2002. Т. 46. № 5. С. 7-14.

14. Рамачандран В.С., Фельдман Р.Ф., Коллепарди М. Добавки в бетон: справ. пособие. М.: Стройиздат, 1988. 575 с.

15. Origins of saccharide-dependent hydration at aluminate, silicate, and aluminosilicate surfaces / Benjamin J. Smitha, Aditya Rawala, Gary P. Funkhouserb, Lawrence R. Roberts, Vijay Guptad, Jacob N. Israelachvilia,1, and Bradley F. Chmelka // PNAS. 2011. V. 108. № 22. P. 8949–8954.

УДК 691.3

РАЗРАБОТКА СОСТАВА ПОРИСТОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ БЕТОНА НА ОСНОВЕ КРЕМНИСТОГО СЫРЬЯ И ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

А. А. Решетникова*, Д. В. Мещеряков*

** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов, psk@sstu.ru, mdv1955@yandex.ru*

Получение прочного и морозоустойчивого гранулированного заполнителя с развитой волокнистой контактной поверхностью из кремнистых пород для легких бетонов, теплоизоляционных засыпок и других изделий.

Ключевые слова: пористый заполнитель бетона, опока, жидкое стекло, отходы производства базальтового волокна

ELABORATION OF CONCRETE POROUS FILLER BASED ON SILICATE MATERIALS AND TECHNOGENIC WASTE

A. A. Reshetnikova*, D. V. Mescheryakov*

** Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov, psk@sstu.ru, mdv1955@yandex.ru*

Gaining frost-proog grain-filler with evolved fibered contact surface from hornstone for light concrete, fill insulation and other products.

Keywords: porous concrete aggregate, flask, liquid glass, waste production of basalt fiber

Наиболее распространенным искусственным заполнителем бетона является керамзит, получаемый методом вспучивания гранул из глинистого сырья при обжиге [1]. Известны способы изготовления заполнителя на основе кремнистых пород опок, трепелов, диатомитов [2].

Разработан способ изготовления гранулированного заполнителя из ядер предварительно вспененного материала, например пеностекла [3]. Заполнитель состоит из ядра с нанесенным на него покрытием из глинистого материала, при этом в качестве ядер он содержит дробленое теплоизоляционное пеностекло либо дробленое звукоизоляционное пеностекло с размером зерен 3-30 мм. Способ получения заполнителя включает подачу увлажненного дробленого теплоизоляционного пеностекла с размером зерен 3,0...30,0 мм на вибролоток на слой измельченного до дисперсности частиц менее 0,1 мм суглинка, с формированием в процессе продвижения зерен пеностекла по вибролотку, гранул с размером 4-32 мм, обжиг полученных гранул в муфельной печи при температуре 790-1050 °С с последующим охлаждением вместе с муфелем до комнатной температуры. Однако недостатком данного технического решения является необходимость применения в качестве ядер при формировании сырцовых гранул – дробленого пеностекла, не нашедшего широкого распространения и являющегося дорогостоящим материалом (уже изначально из-за высокой энергоемкости производства). Кроме того, сформированные полые гранулы обладают низкими показателями прочности и морозостойкости.

Задачей исследования является получение прочного и морозоустойчивого гранулированного заполнителя с развитой волокнистой контактной поверхностью на основе материала с природной пористостью. Предлагаемое решение может быть найдено благодаря применению опоки в качестве ядер. Поставленная задача решается тем, что пористый заполнитель бетона выполнен в виде гранул размером 5-20 мм с развитой контактной поверхностью, состоящих из ядра и оболочки, при этом в качестве ядра содержит зерна дробленой кремнистой опоки, а оболочка выполнена в виде стеклокерамического покрытия толщиной 1-2 мм с вплавленными базальтовыми волокнами. Технологически это может быть реализовано следующим образом.

Осуществляют приготовление пористых ядер из кремнистой опоки путем дробления горной породы, например, на щековой дробилке, с последующим разделением ядер по фракциям крупности от 5 до 20 мм (например, с помощью вибросита или виброгрохота). Образованные ядра обрабатывают шликером, например, посредством погружения или поливом с помощью нисходящей струи. При этом шликер представляет собой 40-50% водную суспензию, образованную смесью водного раствора метасиликата натрия (жидкого стекла) и легкоплавкой монтмориллонитовой или бентонитовой глины, взятых в соотношении 1:10, соответственно. В результате такой обработки за счет фильтрационных процессов отбора влаги и обезвоживания шликера на границе контакта с ядрами, на их пористой поверхности формируется оболочка (пленка) толщиной 1-2 мм в виде глиняной корки (толщина образующейся пленки набирается в течение не более 1 минуты). Затем осуществляют опудривание влажной поверхности оболочки пылевидно-волокнистыми отходами производства термостойкого базальтового волокна с последующим обжигом сформированных сырцовых гранул в печи при температуре 800-900 °С с образованием плотной стеклокерамической оболочки на поверх-

ности гранулы. При обжиге обеспечивается совмещение процесса тридимитизации кремнезема и сохранение природной микропористой структуры в ядре, формирование плотной стеклокерамической оболочки гранулы, а вплавленные в ее поверхность волокна, повышают удельную поверхность, увеличивая у заполнителя контактную зону и сдвиговую устойчивость. Образованные в процессе обжига гранулы заполнителя в результате огневой усадки имеют размер от 5 до 20 мм.

В качестве сырья для получения ядер заполнителя предполагается использовать опоку Вольского месторождения Саратовской области, химический состав которой приведен в табл. 1.

Эффективный диаметр пор у относительно крупнопористых и трепеловидных опок колеблется в пределах от 80 до 110 Å, а удельная поверхность – от 90 до 130 $м^2/г$.

Таблица 1 – Химический состав опок Вольского месторождения Саратовской области, масс. %

SiO_2	AI_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O	П.п.п.	Сумма
79,41	8,03	3,82	1,03	1,05	0,35	1,29	0,42	4,41	99,81

Мелкопористые опоки имеют эффективный диаметр пор менее 60 Å и удельную поверхность менее 90-60 $м^2/г$.

В основу глиняного шликера может входить глина Елшанского месторождения (г. Саратов) – легкоплавкая, монтмориллонитовая, морского происхождения, среднеюрского возраста, синевато-серой окраски, среднепластичная (число пластичности 13-40). Химический состав: оксид кремния 38-70%, оксид алюминия 10-21%, оксид железа 4-9%, оксид кальция 1-7%, оксид магния 1-2%. Температура обжига 750-1050^0 С. В качестве щелочного компонента шликера пригодно натриевое жидкое стекло по ТУ 2385-001-54824507-2000 с силикатным модулем 1,7-2,0 и плотностью 1,2-1,3 $г/см^3$. Шликер приготавливают в два этапа. Сначала смешивают 10 массовых частей глины и 1 массовую часть жидкого стекла, в полученную смесь добавляют воду до получения суспензии с 40-50% влажностью. При этом допускается первоначальное растворение отмеренной дозы жидкого стекла в воде и дальнейшее перемешивание с необходимым количеством глины.

Для опудривания влажной глиняной поверхности оболочки (после погружения ядер в шликер) подойдут пылевато-волокнистые отходы, образованные в производстве базальтового волокна на Саратовском заводе стройматериалов. Основные характеристики отходов приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Характеристика пылевато-волокнистых отходов, образованных в производстве базальтового волокна на Саратовском заводе стройматериалов

Плотность, $г/см^3$	Прочность на растяжение, МПа	Диаметр волокна, мкм	Удлинение при разрыве, %
2,6	1800	200	1,4

В стеклокерамическом покрытии гранул в процессе их обжига при 800-900°С и изотермической выдержке в течение 15 минут вплавленные базальтовые волокна претерпевают кристаллизацию с образованием минералов пироксеновой

группы (авгит, диопсид, геденбергит). Изотермическая выдержка в течение интервала времени более 15 минут приводит к полнообъемной кристаллизации базальтовых волокон, что увеличивает их хрупкость и, как следствие, снижение удельной поверхности самих гранул.

Свойства полученных заполнителей в сравнении с прототипом приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Свойства полученных заполнителей

№ п/п	Размер ядер (гранул) мм	Насыпная плотность, кг/м^3	Прочность при сжатии в цилиндре, МПа		Удельная поверхность зерна (метод парафинирования), м^2/л	Марка по морозостойкости
			в сухом состоянии	после выдержки в воде		
Температура обжига < 800 °С – недожог (осыпание компонентов оболочки)						
Температура обжига 800 °С						
1	3	500	5,3	5,1	19	F10
2	5	450	6,2	6,0	17	F20
3	20	400	7,5	7,3	13	F15
4	30	380	4,9	4,7	11	F10
Температура обжига 900 °С						
5	3	450	5,7	5,5	15	F10
6	5	400	6,8	6,6	13	F30
7	20	380	8,0	7,8	11	F20
8	30	350	5,2	4,9	10	F10
Температура обжига более 900 °С пережог (образование на гранулах участков совместного оплавления ядра, оболочки и волокон, сплавление гранул)						
Прототип: материал ядра – дробленое пеностекло и температура обжига 920 °С						
9	3-30	392	2,6	2,4	0,8	F5

Исследование свойств полученных материалов проводилось в соответствии с требованиями ГОСТ 9758-86 «Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний».

Анализ данных табл. 3 результатов испытаний полученных заполнителей показывает следующее.

1. Полученный пористый заполнитель бетона с насыпной плотностью 380-450 кг/м^3, морозостойкостью не менее F15 и прочностью при сжатии в цилиндре до 8 МПа в соответствии с ГОСТ 9757-90 «Заполнители пористые неорганические для строительных работ» отвечает марке П400.

2. Увеличение размера гранул более 20 мм (примеры 4 и 8) приводит к снижению их прочности, как в сухом, так и в насыщенном водой состоянии, а также падению морозостойкости.

3. Уменьшение размера гранул менее 5 мм (примеры 1 и 5) приводит к возрастанию насыпной плотности за счет перераспределения соотношения кремнистой и стеклокерамической составляющих частей гранулы (увеличение стеклокерамической доли и уменьшение кремнистой).

4. Температура обжига менее 800 °С недостаточна для перехода опаловидной структуры ядра в кристаллическое состояние, а также для формирования прочного керамического черепка скорлупы. Температура обжига выше 900°С приводит к образованию значительного количества стекловидной фазы в керами-

ческом слое гранулы и опасности оплавления базальтовых волокон (ассимиляции со стеклокерамической массой), что приводит к снижению величины удельной поверхности зерна. Возникает также опасность сплавления гранул.

Примеры по пунктам 2, 3, 6, 7 отвечают поставленному техническому результату, отличаются от прототипа улучшенными эксплуатационными показателями и имеют преимущества по прочности, морозостойкости и удельной поверхности. Полученные в соответствии с предлагаемым техническим решением заполнители обладают развитой волокнистой контактной поверхностью, позволяющей обеспечить лучшую адгезию и равномерное объемное распределение зерен в композиции с цементным камнем.

Таким образом, предлагаемые технические решения расширяют сырьевую базу производства теплоизоляционных засыпок и гранулированных легких заполнителей бетонов, обладающих улучшенными характеристиками по прочности и морозостойкости.

Список литературы

1. Онацкий С.П. Производство керамзита. 2-е изд., доп. и перераб. М., 1971. 312 с.

2. Пат. РФ на изобретение №2160722. Способ получения заполнителя / Чумаченко Н.Г., Баранова М.Н., Коренькова Е.А. Опубл. 20.12.2000.

3. Пат. РФ на полезную модель № 74384. Пустотелый или пористый гранулированный заполнитель для бетонов / Гридчин А.М., Воронцов В.М., Лесовик Р.В., Мосьпан А.В. Опубл. 27.06.2008.

УДК 691.175.2

ВТОРИЧНАЯ ЗАЩИТА БЕТОНА ВОДНО-ДИСПЕРСИОННЫМИ СОСТАВАМИ

Н. Н. Фомина*, И. С. Алексеенко*

** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов, fominanani@rambler.ru, alexeenkois@yandex.ru*

Рассмотрен эффективный способ вторичной защиты бетона от коррозии – окраска или пропитка композициями на основе водных дисперсий полимеров. Показано, что рациональный подбор компонентов композиций с учетом их индивидуальных характеристик, а также физико-химии процессов взаимодействия, при соблюдении технологии приготовления и при условии качественного нанесения, позволяет получать покрытия с заданным комплексом свойств.

Ключевые слова: водная дисперсия полимера, связующее, наполнитель, защитное покрытие, вторичная защита.

SECONDARY PROTECTION OF CONCRETE THE AQUEOUS DISPERSION COMPOSITIONS

N. N. Fomina*, I. S. Alekseenko*

** Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia, Saratov, fominanani@rambler.ru, alexeenkois@yandex.ru*

Considered an effective method of secondary protection of concrete against corrosion - painting or impregnating compositions based on aqueous dispersions of polymers. It is shown that a rational selection of the components of the compositions according to their individual characteristics, as well as the

physics and chemistry of the processes of interaction, when the technology of cooking and good quality application, allows to obtain coatings with given properties.
Keywords: aqueous dispersion of polymer, a binder, a filler, a protective coating, secondary protection

Вторичная защита бетонных и железобетонных конструкций является эффективным способом продления срока их службы в условиях воздействия различных эксплуатационных факторов [1-4].

Защитные покрытия в зависимости от условий эксплуатации должны отвечать ряду требований. Общими требованиями для всех видов покрытий являются их хорошая адгезия к подложке и трещиностойкость. Специфическими требованиями являются: для фасадных покрытий – атмосферостойкость; для защитных покрытий против действия агрессивных жидкостей и газов – химическая стойкость и непроницаемость для агрессивных агентов среды; для защитных покрытий конструкций и деталей, работающих в условиях повышенных температур – термостойкость; для покрытий внутренних помещений гражданских зданий – высокая декоративность и т. д. Также зачастую предъявляются требования по непроницаемости, твердости, прочности, эластичности и ряду других свойств.

Обобщение литературных данных [4-6] показывает, что эффективность защитных покрытий обеспечивается:

– хорошей адгезией к защищаемой поверхности;

– эластичностью не менее значения максимально допустимых деформаций защищаемой конструкции;

– проницаемостью, обеспечивающей требуемую величину коэффициента диффузии углекислого газа через защищаемую конструкцию;

– повышением эксплуатационной долговечности защищаемой конструкции не менее чем в 2 раза.

Основное условие получения защитного покрытия требуемого качества – правильный выбор окрасочного или пропиточного состава. Также необходима квалифицированная разработка системы покрытия и технологии его нанесения.

Анализ научно-технической информации свидетельствует о перспективности создания окрасочных и пропиточных составов на основе экологически чистых водно-дисперсионных связующих.

Реологические свойства водно-дисперсионных связующих определяют технологические свойства окрасочно-пропиточных композиций – седиментационную устойчивость наполнителей в композиции, удобство и качество нанесения на поверхность. Реологические свойства дисперсий характеризуются вязкостью, которая зависит способа получения и размера полимерных глобул дисперсии, концентрации дисперсии, типа и количества эмульгатора. Концентрация синтетических водных дисперсий изменяется в пределах 18-75 % и составляет, как правило, от 48 до 62 % [7]. Вязкость дисперсии можно снизить агломерацией глобул или добавлением небольших количеств электролита, а также разведением водой; повышение вязкости достигается диализом с последующим концентрированием, введением загустителей и другими способами.

Пленкообразующая способность дисперсий определяется природой полимерных частиц и обычно характеризуется минимальной температурой пленкообразования (МТП). МТП дисперсий, применяющихся в качестве связующих, должна быть не выше +5 ^{o}C.

Коллоидно-химические свойства дисперсий определяют стабильность композиции к различным физико-химическим воздействиям. Синтетические водные дисперсии являются лиофобными коллоидам, а следовательно, системами термодинамически неустойчивыми, неравновесными и необратимыми. Важнейшим критерием их агрегативной стабильности является степень насыщения поверхности глобул эмульгатором. Толщина слоя гидратированного эмульгатора составляет 2-15 нм, в зависимости от степени насыщения поверхности глобул эмульгатором, строения последнего, а также от типа полимера в дисперсии. Снижение устойчивости дисперсий могут вызывать следующие воздействия [8]:

- добавление электролитов;
- добавление смешивающихся с водой неэлектролитов;
- добавление других дисперсных фаз (порошки, суспензии, эмульсии);
- замораживание;
- сильное разведение;
- механические воздействия (интенсивное перемешивание, распыление через сопло и др.).

Ассортимент промышленно производимых в настоящее время водных дисперсий очень велик, но большая часть приходится на три основных вида: винилацетатные; бутадиен-стирольные; акриловые.

Основные преимущества винилацетатных дисперсий – это отсутствие в связующем токсичных компонентов и соединений с резким запахом; полярность мономерного звена и как следствие высокая адгезия как к подложке, так и к наполнителю; устойчивость полимера к окислению; паропроницаемость пленок [9]. Недостатками винилацетатных дисперсий являются: склонность полимера латекса к гидролизу с образованием гидрофильных звеньев поливинилового спирта и ухудшением водостойкости покрытий; высокая температура стеклования полимера, и как следствие необходимость пластификации. Эти недостатки лучше всего преодолеваются сополимеризацией винилацетата с другими мономерами, в первую очередь с этиленом.

В противоположность винилацетатным дисперсиям бутадиен-стирольные из-за отсутствия гидролизующихся групп не подвержены гидролизу. Температура стеклования этих сополимеров изменяется в широких пределах в зависимости от соотношения исходных мономеров. Пленки, полученные на основе этих дисперсий, обладают высокой гидрофобностью и вместе с тем достаточно паропроницаемы благодаря содержанию 5-6% водорастворимых компонентов. Еще одно преимущество: эластичность покрытий, высокая разрывная прочность и малое остаточное удлинение (5-10%). Важным достоинством этих дисперсий является также их относительно низкая стоимость. Однако присутствие двойных связей, остающихся в звеньях бутадиена и способных окисляться, приводит к преждевременному старению защитных покрытий в условиях длительного воздействия солнечного излучения [9].

Акриловые дисперсии выгодно отличаются от винилацетатных высокой стойкостью к гидролизу. Также они не содержат двойных связей и, следовательно, не окисляются на воздухе, что увеличивает долговечность защитных покрытий на их основе. Их основной недостаток – высокая стоимость и ограниченность сырьевой базы мономеров акрилового ряда: это самые дорогие дисперсии. Частично этот недостаток преодолевается сополимеризацией акрилатов со стиролом [9].

Водно-дисперсионные композиции для защитных покрытий являются многокомпонентными, а, следовательно, более сложными и менее стабильными системами, чем сами дисперсии, используемые для их изготовления [9]. Непременным компонентом защитных полимерминеральных составов являются наполнители и пигменты, которые могут выполнять в покрытии разнообразные функции:

– защитную, выступая в роли пассиваторов коррозии;

– декоративную, обеспечивая непрозрачность покрытия и нужный цвет;

– многие так называемые активные наполнители являются усилителями пленок, повышающими физико-механические характеристики, адгезионную прочность, атмосферостойкость и другие показатели покрытий;

– часто наполнители, улучшая качество покрытия, одновременно снижают его стоимость.

Соотношение между связующим и наполнителем принято характеризовать критической объемной концентрацией наполнителя (КОКН). В точке КОКН кривые зависимости свойств покрытия от степени наполнения проходят через экстремум. Величина КОКН водно-дисперсионных композиций зависит от природы полимера связующего и способности частиц дисперсии к коалесценции, смачиваемости поверхности наполнителя полимером, а также от формы и размера частиц наполнителя. Для многих дисперсий, имеющих размер полимерных частиц в среднем 0,2 мк, величина КОКН находится в пределах 45-50%. При использовании ультрадисперсных связующих и грубодисперсных наполнителей удается достичь значения КОКН 70%. Поэтому применение полимерных дисперсий с малыми размерами глобул позволяет существенно повышать степень наполнения композиций.

Водно-дисперсионные защитные композиции помимо основных компонентов (связующего и наполнителя), должны включать ряд специфических добавок [9], таких как: диспергаторы, эмульгаторы (обеспечивающие кинетическую и агрегативную устойчивость водной дисперсии), консистентные добавки (загущающие и структурирующие), смачиватели, антивспениватели, консерванты, ингибиторы коррозии и др.

Задача составления рецептуры водно-дисперсионной композиции заключается в таком подборе компонентов и добавок, при котором композиция обладала бы достаточной стабильностью, хорошими технологическими свойствами и формировала качественное долговечное покрытие.

Несмотря на сложность рецептуры водно-дисперсионных композиций, технология их изготовления сравнительно проста. Весь технологический процесс может быть осуществлен в различных вариантах технологической схемы в зависимости от типа диспергирующего оборудования. В настоящее время наиболее распространена технология изготовления воднодисперсионных красок с применением бисерных мельниц.

При выборе способа нанесения следует учитывать особенности реологии водно-дисперсионных композиций. При высоких скоростях сдвига композиции хорошо распределяются, затекая в поры подложки.

Помимо традиционных методов нанесения водно-дисперсионных композиций (кистями, валиками, распылителями) существуют коагуляционные методы – электроосаждение, хемо- и автоосаждение, электролитное осаждение, термоосаждение, энтальпийное осаждение и ударное осаждение.

Таким образом, многокомпонентные композиции на основе водных дисперсий полимеров являются перспективными материалами для защитной отделки строительных конструкций зданий и сооружений. Рациональный подбор компонентов композиций с учетом их индивидуальных характеристик, а также физико-химии процессов взаимодействия в системе на каждом структурном уровне, при соблюдении технологии приготовления и при условии качественного нанесения, позволяет получать покрытия с заданным комплексом свойств.

Список литературы

1. Технология бетона, строительных изделий и конструкций: учеб. для вузов / Ю.М. Баженов, Л.А. Алимов, В.В. Воронин, У.Х. Магдеев. М.: Изд-во АСВ, 2008. 350 с.

2. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. М, 1998. 768 с.

3. Малбиев С. А. Полимеры в строительстве : учеб. пособие / С. А. Малбиев, В. К. Горшков, П. Б. Разговоров. М.: Высш. шк., 2008. 456 с.

4. Шнейдерова В.В. Антикоррозионные лакокрасочные покрытия в строительстве. М.: Стройиздат, 1980. 180 с.

5. Потапов Ю.Б., Соломатов В.И., Селяев В.П. Полимерные покрытия для железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1973. 128 с.

6. Логанина В.И., Орентлихер Л.П. Повышение качества лакокрасочных покрытий строительных изделий и конструкций. М.: Изд-во АСВ, 2007. 144 с.

7. Энциклопедия полимеров / под ред. Каргина В.А. М.: Сов. Энцикл., 1972. Т. 1.

8. Елисеева В.И. Полимерные дисперсии. М.: Химия, 1980. 296 с.

9. Еркова Л.Н., Чечик О.С. Латексы. Л.: Химия, 1983. 224 с.

УДК: 625.142.4:006

ОЦЕНКА ВОДОРЕДУЦИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ДОБАВОК НА ПОЛИКАРБОКСИЛАТНОЙ ОСНОВЕ

Ю. А. Чевыкалова*

** Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, Санкт-Петербург, inbox212@inbox.ru*

Представлены результаты по определению водоредуцирующего действия добавок на поликарбоксилатной основе. Показано влияние минералогического состава портландцемента на водоредуцирующее действие добавок. Результаты могут быть использованы для получения высокопрочных бетонов, для снижения расхода портландцемента в равнопрочных бетонах.

Ключевые слова: портландцемент, минералогический состав, водоредуцирующее действие, цементное тесто, нормальная густота

ESTIMATION OF WATER-REDUCING EFFECT OF POLYCARBOXYLATE BASED ADMIXTURES

Y. A. Chevykalova*

** Petersburg State Transport University, Russia, Saint-Petersburg, inbox212@inbox.ru*

It has presented the results of the determination of water-reducing effect of polycarboxylate based admixtures. It has shown the influence of the mineralogical composition of Portland cement on the water reducing effect of admixtures. The results can be used for the purpose of obtaining high-strength concrete.

Keywords: Portland cement, mineral composition, water-reducing effect, cement paste, normal consistency

Составы современных видов бетона отличаются многокомпонентностью. Одним из важных компонентов в бетоне является пластифицирующая или водоредуцирующая добавка [1-3].

Задачи, решаемые за счет введения пластифицирующих добавок, в общем виде можно выделить как увеличение подвижности бетонной смеси, повышение ранней и нормативной прочности, сокращение расхода портландцемента [4,5].

В связи с тем, что одним из способов повышения прочности бетона является снижение содержания воды в равноподвижных смесях, было исследовано водоредуцирующее действие добавок, которое определялось на цементном тесте с консистенцией, соответствующей нормальной густоте. Добавки вводились с водой затворения. Водоредуцирующее действие добавок оценивалось как снижение расхода воды в процентах от первоначального расхода. Целью исследования являлась оценка водоредуцирующего действия добавок на поликарбоксилатной основе, а также исследование влияния минералогического состава портландцемента на действие добавок.

Для оценки водоредуцирующего действия были выбраны добавки Glenium 51, Policarbodal 1000, а также портландцементы ПЦ500-Д0-Н разных отечественных заводов – производителей, в которых содержание C_3A не должно превышать 8%. Минералогический состав портландцементов представлен в таблице.

Минералогический состав клинкера

Обозначение	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
ПЦ-1	63,1	14,6	6,3	13,5
ПЦ-2	64,1	15,4	7,9	11,2
ПЦ-3	62,1	17,2	6,2	15,5
ПЦ-4	66,4	14.6	4,2	10,7
ПЦ-5	63,9	13,0	4,1	16,0
ПЦ-6	65,0	9,4	6,4	12,4
ПЦ-7	62,1	10,4	6,9	11,3

При сравнении водоредуцирующего действия добавок установлено, что оно зависит от вида портландцемента. Анализ водоредуцирующего действия добавок во взаимосвязи с минералогическим составом портландцементов позволяет сделать вывод о том, что с увеличением содержания C_3A водоредуцирующее действие снижается (рис. 1, 2).

Из анализа рис. 1 и 2 можно сделать следующие выводы:

– при сравнении водоредуцирующего действия добавок при их одинаковых расходах, добавка Policarbodal 1000 обеспечивает большее снижение расхода воды;

– наименьшее водоредуцирующее действие обеих добавок получено в цементном тесте на ПЦ-2, который отличается повышенным содержанием C_3A; содержание C_3A в этом портландцементе составляет 7,9%;

– при расходе добавки Glenium 51, равном 0,2%, ее водоредуцирующее действие практически одинаковое у всех портландцементов, кроме ПЦ-2; с увеличением расхода добавки Glenium 51, влияние минералогического состава цементов на водоредуцирующее действие добавки повышается;

– для добавки Policarbodal 1000 не наблюдается увеличения в разнице между водоредуцирующим действием добавки при ее разных расходах для исследованных портландцементов.

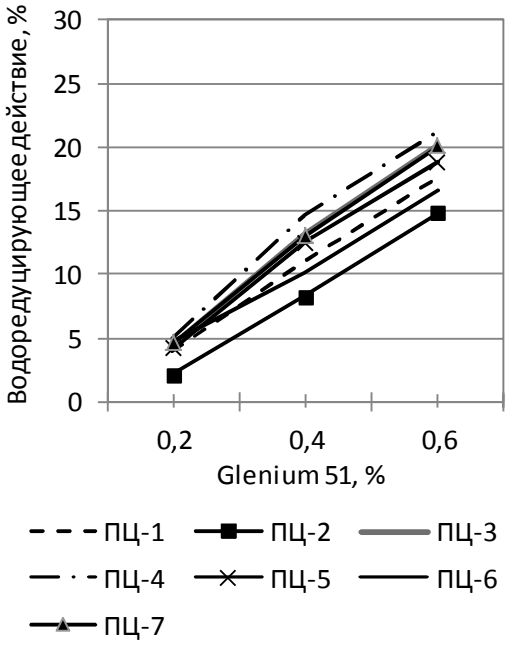


Рис. 1. Водоредуцирующее действие добавки Glenium 51 в зависимости от вида цемента

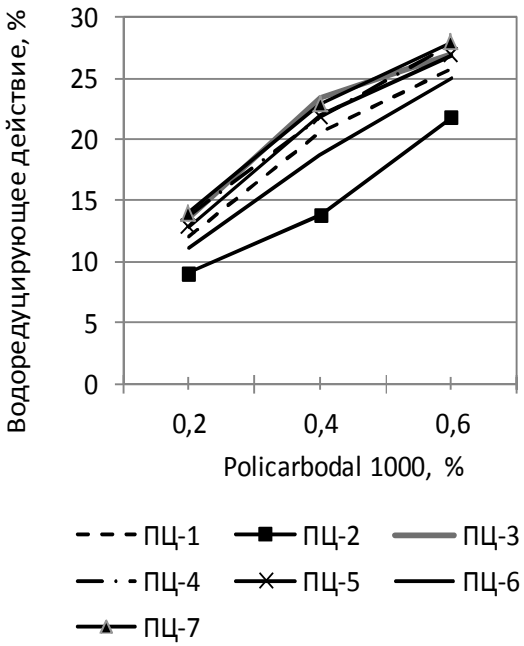


Рис. 2. Водоредуцирующее действие добавки Policarbodal 1000 в зависимости от вида цемента

Таким образом, для получения значительного снижения расхода воды при использовании поликарбоксилатного модификатора необходимо учитывать содержание C_3A в портландцементе. При этом влияния остальных компонентов минералогического состава не наблюдалось. При расходе добавки Glenium 51, равном 0,6%, отмечалась значительная зависимость ее водоредуцирующего действия от вида портландцемента, в отличие от добавки Policarbodal 1000. Недостаточное снижение расхода воды в равноподвижных смесях снижает эффективность использования водоредуцирующей добавки в бетоне. В связи с этим необходимо уделять внимание выбору портландцемента с необходимым минералогическим составом.

Список литературы

1. СмирноваО.М. Высококачественные бетоны для предварительно напряженных железобетонных подрельсовых конструкций // автореферат дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. СПб., 2013

2. Смирнова О.М., Макаревич О.Е. Выбор водоредуцирующих добавок и их расходов для высокопрочных бетонов сборных конструкций // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2014. № 4. С. 74-77.

3. Смирнова О.М. Морозостойкость высококачественных бетонов для подрельсовых конструкций // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2014. № 4. С. 77-81.

4. Смирнова О.М. Зависимость прочности бетона с добавками на поликарбоксилатной основе от свойств портландцемента после низкотемпературной тепловлажностной обработки // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. № 9 (645). С. 20-27.

5. Петрова Т.М., Смирнова О.М. Бетоны с повышенной ранней прочностью на основе портландцементов ПЦ500-Д0-Н и ЦЕМ 1 42,5Н // Вестник гражданских инженеров. 2011. № 4. С. 91-96.

УДК: 625

СМЕШАННЫЕ ВЯЖУЩИЕ НА ОСНОВЕ ПЫЛИ-УНОСА ЦЕМЕНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ОПАЛОВИДНЫХ КРЕМНИСТЫХ ПОРОД

Ю. Г. Иващенко*, И. В. Хомяков*

** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов*

Приведены свойства смешанного вяжущего из клинкера, цементной пыли-уноса, кремнистой опоки, рекомендуемого для сухих строительных смесей и цементных растворов.

Ключевые слова: вяжущее, опока, прочность, производство, клинкер, портландцемент, энергозатраты, эффективность

MIXED BINDERS BASED DUST ASH CEMENT PRODUCTION AND OPAL SILICEOUS ROCKS

Y. G. Ivashchenko*, I. V. Khomyakov*

** Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov*

Are the properties of the mixed binder of clinker, cement dust, fly ash, siliceous rock, recommended for dry mortar and cement-governmental solutions.

Keywords: binder, flask, durability, production, clinker, Portland cement, energy costs, efficiency

Снижение материалоёмкости и энергозатрат при производстве вяжущих является одной из важных задач в строительном материаловедении. Значительный ресурс представляют многотоннажные отходы цементной пыли-уноса обжигательных печей и кремнезёмсодержащие породы осадочного происхождения – опоки, трепелы, диатомиты.

Пыль-унос представляет собой не полностью обожжённый полидисперсный материал с плотностью 2,7 г/см^3, обладающий слабо выраженными гидравлическими свойствами, содержащий существенное количество щелочей.

Целью работы является получение смешанного вяжущего с использованием цементного клинкера, пыли-уноса обжиговых печей цементного производства и молотой опоки, химический состав которых приведён в табл. 1.

Таблица 1 – Химический состав опоки, пыли-уноса и клинкера

Наименование материала	Содержание оксидов, %									
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	CaO акт	SO_3	П.п.п.
опока	88,70	3,41	2,02	0,92	0,46	1,12	-	-	-	3,40
пыль-унос	13,70	3,15	3,60	44,15	1,16	2,21	2,40	0,37	3,50	25,15
клинкер	22,86	3,20	5,40	62,60	2,40	0,01	0,03	-	2,20	0,17

Для приготовления смешанного вяжущего компоненты подвергали совместному помолу в лабораторной шаровой мельнице с добавкой двуводного гипса до удельной поверхности 3200 см^2/г. Образцы формовали в виде балочек 40×40×160 мм из смеси состава вяжущее : кварцевый песок в соотношении 1:3 по массе при В/Т = 0,4. Длительность вибрирования 30 с. Образцы испытывали в возрасте 28 суток нормального твердения.

Составы и свойства смешанного вяжущего приведены в табл. 2.

Анализ полученных результатов испытаний позволяет констатировать, что оптимальными являются составы 1-3, позволяющие получить марку вяжущего 200, а составы 4, 5 – марку 150.

Таблица 2 – Составы и свойства смешанного вяжущего

№ состава	Состав вяжущего, %			Средняя прочность образцов, МПа		Марка вяжущего
	пыль-унос	клинкер	опока	при изгибе	при сжатии	
1	5	90	5	5,2	22,0	200
2	5	85	10	5,0	21,2	200
3	10	80	10	4,8	20,4	200
4	10	75	15	4,0	17,4	150
5	15	70	15	3,8	16,2	150

При совместном помоле происходят активация поверхностных центров с образованием свободных радикалов и формирование оптимального гранулометрического состава смешанного вяжущего.

Механизм взаимодействия активированных минеральных частиц опоки, пыли-уноса и цемента обусловлен преимущественным образованием низкоосновных гидросиликатов кальция, а также связыванием щелочей пыли-уноса (Na_2O, K_2O) аморфным кремнезёмом опоки при гидратации и твердении смешанного вяжущего.

Получаемое смешанное вяжущее позволяет решить проблему утилизации пыли-уноса цементного производства, шире использовать местное природное кремнезёмсодержащее сырьё и рекомендуется для приготовления сухих строительных смесей, штукатурных и кладочных растворов.

УДК 691.322

МНОГОТОННАЖНЫЙ ОТХОД КАМНЕДРОБЛЕНИЯ АЛЕВРОЛИТОВОЙ ГОРНОЙ ПОРОДЫ В КАЧЕСТВЕ МЕЛКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ

Ю. Г. Иващенко*, Д. К. Тимохин*, В. А. Лаушкина*

** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов, lustig_lerika@mail.ru.*

В условиях увеличения объемов строительства, использование многотоннажных отходов камнедробления фракции 0-5 мм в качестве заполнителя бетона является целесообразной задачей развития минерально-сырьевой базы регионов. В статье представлены результаты оценки минералогического состава отсева и подбора составов тяжелого цементного бетона с заполнителем фракции 0-5 мм.

Ключевые слова: отсев горной породы, минеральный состав, алевролит, фракция, бетон, подбор состава, мелкий заполнитель

TONNAGE WASTE LITHOCLASTY SILTSTONE ROCK AS FINE AGGREGATE

Y. G. Ivashchenko*, D. K. Timokhin*, V. A. Laushkina*

** Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov, lustig_lerika@mail.ru*

With the increased volume of construction, the use of large-tonnage waste lithoclasty fraction 0-5 mm as concrete aggregate is the appropriate goal of the mineral resource base regions. The article presents the results of mineralogical composition and selection of compositions dropout heavy concrete with aggregate fraction 0-5 mm.

Keywords: sifting rock , mineral composition, siltstone , faction , concrete , selection of composition, fine aggregate

При производстве крупного заполнителя по любой из современных технологий существует проблема отсева камнедробления, представленного фракцией менее 5 мм. Задача использования многотоннажных отходов камнедробления решается в технологии производства различных строительных материалов, например стеновых камней и сухих строительных смесей, асфальтобетона. Свойства отходов камнедробления определяются в основном химико-минералогическим и фракционным составом породы.

Цены на заполнители как на товарный продукт, производимые из природного минерального сырья и используемые при производстве бетонов, в современных условиях выросли в 2-3 раза в разных регионах. Учитывая, что при приготовлении бетонных смесей различного назначения количество расходуемого заполнителя достигает 30-50% от массы цемента, цена изделия напрямую зависит от стоимости заполнителя. Также при использовании такого вида заполнителя решается вопрос утилизации отсева и высвобождения дополнительных площадей под складирование щебня, производимого на площадке при дроблении горных пород.

Таким образом, использование отсевов камнедробления фракции 0-5 мм в качестве заполнителя для цементных бетонов является весьма актуальной задачей. Для решения поставленной задачи было проведено исследование, направленное на изучение минералогического состава для установления генезиса горной породы и ее возможности использования в цементных бетонах. Изучение минералогического состава осуществлялось по стандартным методикам, основные характеристики исследовались по серии образцов средним размером около 5 см и двум специально изготовленным шлифам.

При помощи макроскопического изучения установлено, что образцы представлены пелитово-слюдисто-кварцевой породой (алеврит-алевролит) (слюдисто-кварцевый сланец), порода черная, слюдистая, плотная, крепкая, с соляной кислотой не взаимодействует. Минеральный состав в процентном соотношении следующий:

- кварц (40-45%),
- слюда (15-20%),
- полевые шпаты (3-5%),
- хлорит (2-3%),
- акцессорные минералы (магнетит, лейкоксен) (менее 0,1 %),
- карбонат (5-10%),
- пелитовый материал (15-20%),
- пирит (2-3%),
- углистые частицы (3-5%).

В составе породы отмечается наибольшее содержание кварца алевритовой размерности (размер составляет 0,024-0,08 мм), зерна бесцветные неправильные с

неровными очертаниями, со следами растворения, кавернозности. Значительно содержание слюд, представленных биотитом, в основном измененным (гидратированным, пелитизированным, редко хлоритизированным), гидрослюдами (по биотиту), бесцветными чешуйками мусковита.

Таким образом, установлено, что данная горная порода может быть использована в качестве заполнителя для цементных бетонов.

Для установления фракционного состава отсева смешанной фракции 0-5 мм был произведен рассев согласно ГОСТ 8735-88, п. 3, результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Рассев фракций 0-5 мм

Остатки	Сита, мм										
	2,5		1,25		0,63		0,315		0,16		Поддон
Частные, %	23,2		28,52		14,56		9,71		8,17		15,34
Полные, %		23,2		51,72		66,28		75,99		84,16	

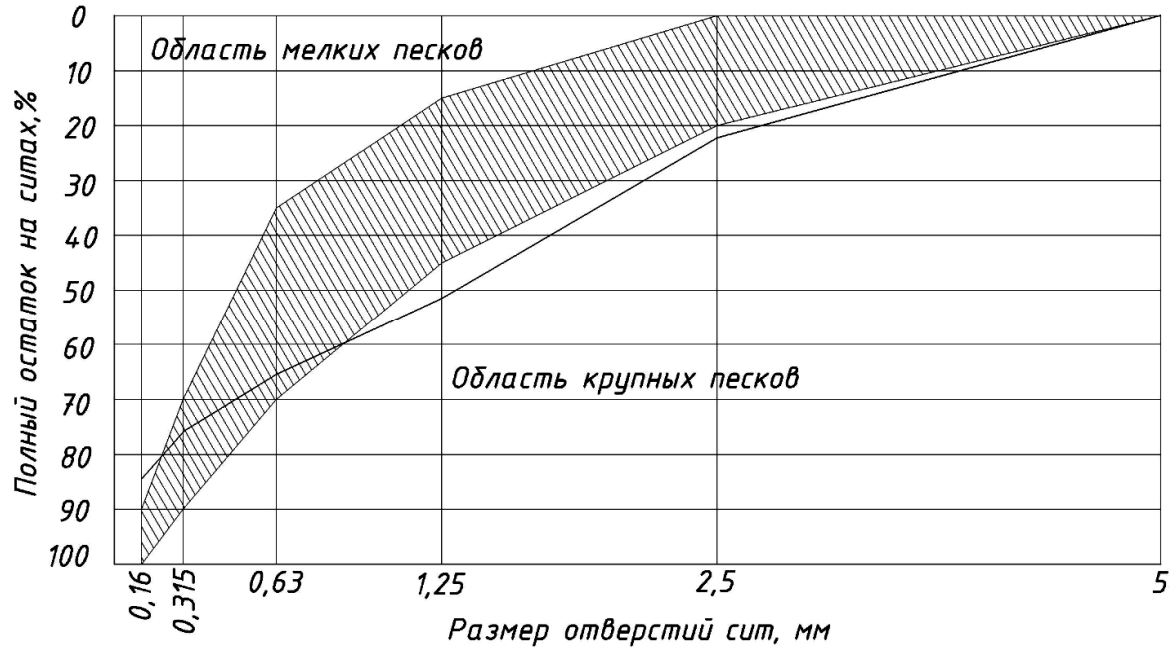


Рис. 1. График зернового состава фракции 0-5 мм

На основании полученных данных были осуществлены подборы составов тяжелого бетона класса по прочности на сжатие В15, результаты представлены в табл. 2.

В качестве крупного заполнителя использовался щебень фракции 5-10 мм, в качестве мелкого заполнителя использовались отсевки при получении данного щебня фракции 0-5 мм. В качестве вяжущего использовался портландцемент ОАО «Вольскцемент» ГОСТ 10178-85 ПЦ 500 Д-0. При приготовлении бетона использовалась водопроводная вода с температурой не менее 15 °С.

Таблица 2 – Составы бетона класса В15 на 1 м^3 (1000 л)

Наименование компонентов	Содержание, кг	Среднее значение предела прочности при сжатии , МПа	Марка по морозостойкости, F	Марка по водонепроницаемости	Марка по удобоукладываемости
Состав № 1					
Цемент ПЦ 500 Д-0	320	19,6	50	W2	П2
Фракция 0-5 мм (отсев)	450				
Щебень фракции 5-10 мм	1210				
Вода	240				
Средняя плотность тяжелого бетона $\rho_{ср}$ = 2211 кг/м^3					
Состав № 2					
Цемент ПЦ 500 Д-0	335	19,7	50	W2	П2
Фракция 0-5 мм (отсев)	500				
Щебень фракция 5-10 мм	1210				
Вода	250				
Средняя плотность тяжелого бетона $\rho_{ср}$ = 2264,5 кг/м^3					
Состав № 3					
Цемент ПЦ 500 Д-0	343	19,5	50	W2	П2
Фракция 0-5 мм (отсев)	550				
Щебень фракции 5-10 мм	1210				
Вода	260				
Средняя плотность тяжелого бетона $\rho_{ср}$ = 2295 кг/м^3					
Состав № 4					
Цемент ПЦ 500 Д-0	356	19,8	50	W2	П2
Фракция 0-5 мм (отсев)	600				
Щебень фракции 5-10 мм	1210				
Вода	267				
Средняя плотность тяжелого бетона $\rho_{ср}$ = 2322 кг/м^3.					

Таким образом, установлена возможность использования заполнителя и отсева дробления попутных пород фракции 0-5 и 5-20 мм для приготовления тяжелого бетона класса В15. На основании детального исследования заполнителей и бетона на их основе, в установленном порядке разрабатываются технические условия, их соответствия требованиям стандартов.

Список литературы

1. Москвин В.М., Рояк Г.С. Коррозия бетона при действии щелочей цемента на кремнезем заполнителя. М.: Госстройиздат, 1962. 163 с.

2. Розенталь Н.К., Любарская Г.В., Розенталь А.Н. Испытание бетона на реакционноспособных заполнителях // Бетон и железобетон. 2014. № 5. С. 24-29.

3. Вайсберг Л.А., Шулояков А.Д. Технология производства высококачественного щебня // Дорожная техника. 2012. № 4. С. 196-200.

УДК 691.327.333

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ НА СРОКИ ТВЕРДЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО ПЕНОБЕТОНА

Ю. Г. Иващенко*, А. В. Страхов*, Д. Ю. Багапова*

** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов, oficeasf@sstu.ru*

Рассматривается зависимость набора прочности теплоизоляционного пенобетона от времени, влажности и температуры тепловой обработки отформованных пенобетонных изделий.

Ключевые слова: теплоизоляционный пенобетон, тепловая обработка, пропаривание, стабилизатор, пена

STUDY ON THE EFFECT OF HEAT TREATMENT HARDENING TIME INSULATING FOAM

Y. G. Ivaschenko*, A. V. Strahov*, D. Y. Bagapova*

** Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov, oficeasf@sstu.ru*

The dependence of curing thermally insulating foam concrete from time to time, humidity and temperature of heat treatment of the molded foam concrete products.

Keywords: insulating foam concrete, heat treatment, steaming, stabilizer, foam

Структурообразование в твердеющем бетоне является комплексным процессом. Изготовление высококачественных изделий из эффективного теплоизоляционного пенобетона с заданными физико-механическими характеристиками достигается, путем подбора режимов твердения пенобетонной смеси – времени, влажности и температуры, а также способа ухода за пенобетоном. [1, 2]

По условиям твердения пенобетон может быть автоклавный (твердеющий в автоклавах в среде насыщенного водяного пара под давлением 0,8-1 МПа и температуре 170-190 °С) и неавтоклавный (твердеющие в результате тепловлажностной обработки или в естественных условиях) [3-5].

Применение неавтоклавного способа твердения пенобетона является экономически целесообразным за счет исключения высоких энергетических затрат на выполнение автоклавной обработки.

Целью данной работы является разработка оптимального режима тепловой обработки изделий из теплоизоляционного пенобетона, т.е. подбора величин влажности, температуры и продолжительности тепловлажностной обработки.

В работе рассмотрены три способа твердения изделий на основе теплоизоляционного пенобетона: твердение изделий в естественных условиях, твердение изделий за счет экзотермических процессов по принципу термоса, а так же способ тепловлажностной обработки с применением высокотемпературного насыщенного пара.

Режим твердения пенобетона в естественных условиях и набор прочности существенно зависит от минимального и максимального значений температуры окружающей среды и интервала колебаний данных температур. Исходя из этого, был проведен ряд экспериментов по определению оптимальных режимов твердения и набора прочности пенобетона в естественных условиях с применением климатической камеры «KBF 115 E5.2» для обеспечения постоянной температуры и влажности воздуха при моделировании условия окружающей среды в производственном цехе. Относительная влажность воздуха в климатической камере составляла 55-60%.

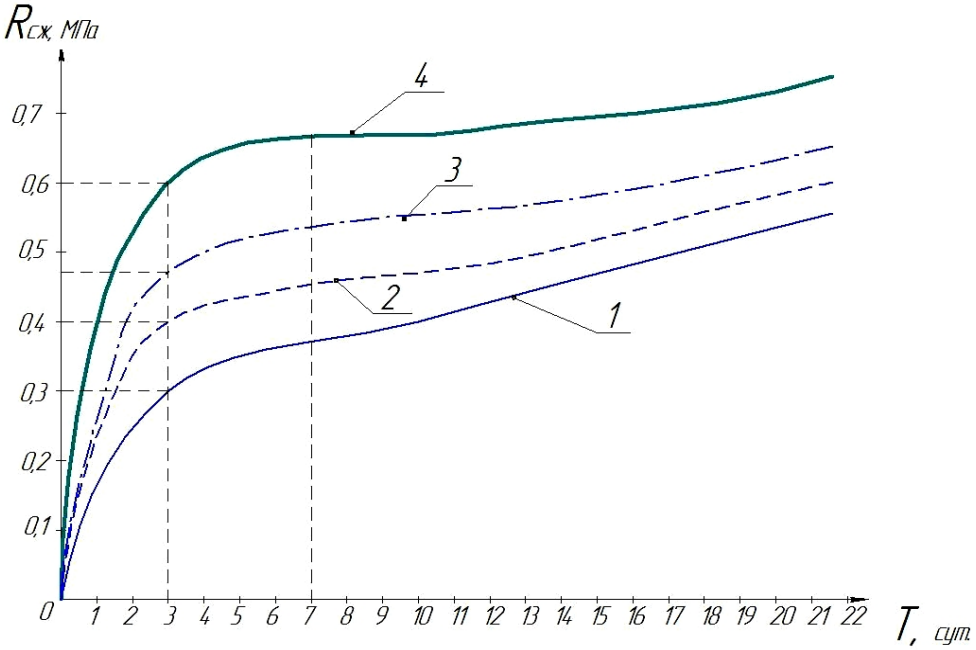


Рис. 1. График изменения прочности при сжатии теплоизоляционного пенобетона во времени в зависимости от условий твердения:
1 – твердение пенобетона при температуре 10°С; 2 – твердение пенобетона при температуре 15°С; 3 – твердение пенобетона при температуре 20°С; 4 – твердение пенобетона при температуре 25°С

Из анализа графика, приведенного на рисунке 1 можно сделать вывод, что относительная прочность теплоизоляционного пенобетона в возрасте 3 суток, например, при твердении при 10 °С составляет - 0,3 МПа, а при 25 °С – 0,60 МПа, т.е. в два раза выше. Но данных темпов роста прочности в промышленности недостаточно, следовательно, необходимо применять дополнительные методы тепловлажностной обработки.

Был проведен ряд экспериментов по определению оптимальных режимов твердения и набора прочности теплоизоляционного пенобетона методом термоса за счет тепловой энергии выделяемой массивом пенобетона (экзотермические процессы). С целью установления влияния объема теплоизоляционного пенобетонного массива на температуру экзотермической обработки исследования производились с образцами различных размеров: 1 – форма с одним отформованным блоком размерами 200×300×600 мм, объём изделия составляет 0,036 м^3; 2 – форма с двумя отформованным блоком размерами 200×300×600 мм, объём изделий составляет 0,072 м^3; 3 – форма с тремя отформованным блоком размерами 200×300×600 мм, объём изделий составляет 0,108 м^3. Для обеспечения эффекта термоса отформованные образцы накрывались формами-колпаками состоящих из каркаса и теплоизоляционной обшивки, изготовленных из деревянного бруса сечением 30×30 мм и обшитых плитами экструдированного пенополистирола толщиной 50 мм.

Начальная температура всех образцов пенобетона составляла 28 °С после формования, однако исследования показали, что по истечении четырех часов образцы набрали различную температуру соответственно своим объёмам 0,036 м^3 – 32 °С; 0,072 м^3 – 34 °С, 0,108 м^3 – 36 °С.

Анализ графика, представленного на рис. 2, показывает, что длительность сохранения достигнутых температур массивами пенобетона за счет экзотермиче-

ских процессов гидратации цемента также зависит от их объёмов и соответствует: 0,036 м^3 – в течение 5 часов; 0,072 м^3 – в течение 11 часов, 0,108 м^3 – в течение 16 часов.

Испытания по определению относительной прочности при сжатии образцов в возрасте 24 часов с момента формования при твердении в условиях саморазогрева за счет экзотермических процессов показали, что прочность при сжатии образцов, твердевших в объёме 0,036 м^3, составляет 0,34 МПа, образцов, твердевших в объёме 0,072 м^3, составляет 0,42 МПа, образцов, твердевших в объёме 0,108 м^3, составляет 0,61 МПа.

Такую зависимость изменения прочностных показателей теплоизоляционного пенобетона от объёма пенобетонных массивов и условий твердения можно объяснить следующим образом: твердение пенобетона в формах, в естественных условиях, не изолированных от окружающей среды, сопровождается потерями тепла, выделяемого при гидратации цемента в окружающую среду. В случае, когда изделия твердеют в объединенных массивах при дополнительной теплоизоляции форм и изолировании их от внешних воздействий окружающей среды, фиксировался эффект саморазогрева пенобетона за счет экзотермических реакций гидратации цемента. Положительный эффект от применения способа термоса по сравнению с естественными условиями твердения пенобетона подтверждается также относительной прочностью в ранние сроки твердения пенобетона, которые показывают, что образцы, твердевшие при условиях саморазогрева, набирают прочность, эквивалентную образцам, твердевшим при естественных условиях, в три раза быстрее.

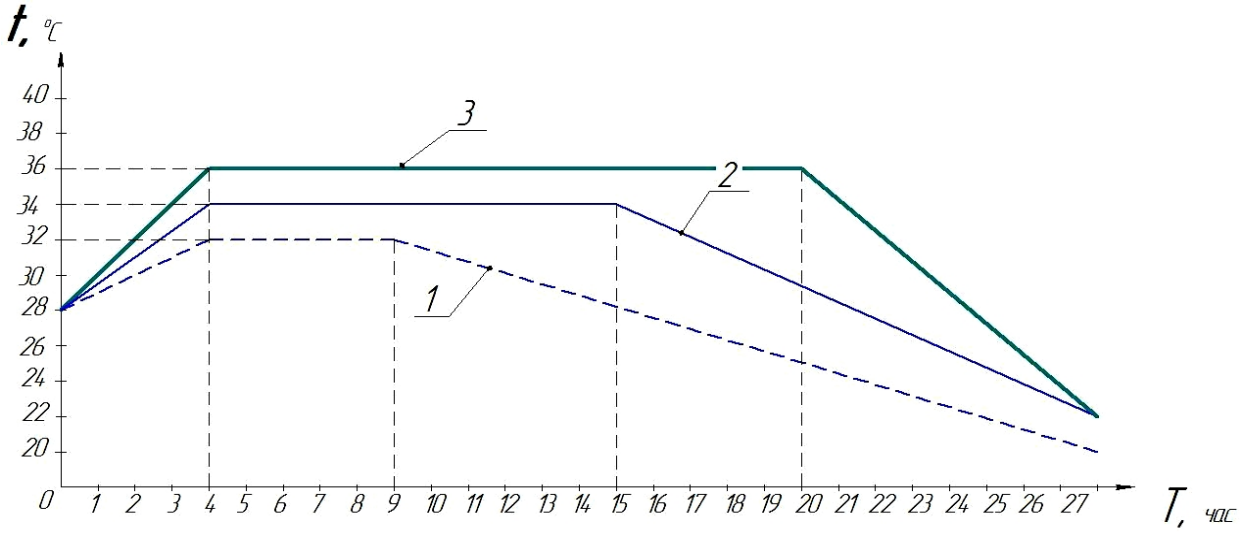


Рис. 2 .График изменения температуры образцов теплоизоляционного пенобетона во времени в зависимости от объёма пенобетонного массива:
1 – твердение пенобетона объёмом 0,036 м^3; 2 – твердение пенобетона объёмом 0,072 м^3;
3 – твердение пенобетона объёмом 0,108 м^3

Однако для увеличения производственных мощностей и формооборота в заводских условиях для ускорения набора прочности применяют процесс тепловлажностной обработки (ТВО) в камерах ямного типа.

Для определения оптимальных режимов ТВО был проведен ряд экспериментов твердения образцов размерами 200×300×600 мм, объём изделия составляет 0,036 м^3 в камере пропаривания «КУП-1» с автоматизированной системой поддержки температурно-влажностного режима рабочего объёма камеры.

Процесс ТВО начинали по истечении часа выдержки изделия в естественных условиях (t=20°С, $W_{отн}$=60%) после процесса формования. В виду ячеистой структуры теплоизоляционного пенобетона и малой средней плотности (300-320 кг/м^3) максимальная температура тепловой обработки составляла 90°С при относительной влажности среды 97-99%. В таблице представлены режимы тепловлажностной обработки.

Зависимость прочности при сжатии теплоизоляционного пенобетона от режимов ТВО

Номер испытания	Длительность тепловой обработки, ч			Прочность при сжатии, МПа	Процентное соотношение проектному классу В1,5, %
	подъём температуры	выдержка	остывание		
1	3	6	3	1,2	55
2	3	7	3	1,5	70
3	3	8	3	1,5	70
4	3	6	4	1,6	73
5	3	7	4	1,6	73
6	3	8	4	1,6	73

Из анализа данных, приведенных в таблице, можно сделать вывод, что наиболее оптимальным режимом ТВО теплоизоляционного пенобетона является режим № 5 – 3+7+4 ч с точки зрения энергетических затрат и достижения прочностных показателей.

Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее эффективным условием твердения изделий на основе теплоизоляционного пенобетона является твердение изделий при тепловлажностной обработке в течение 14 часов при максимальной температуре 90 °С при относительной влажности среды 97-99%. Поскольку по сравнению с вышеописанными способами изделия набирают 70-73% прочность от марочной прочности, в то время как при твердении в естественных условиях изделия достигает 15% прочности от марочной, а изделия, твердеющие за счет экзотермических процессов, – 30% прочность от марочной.

Список литературы

1. Баженов Ю.М. Технология бетона: учеб. М.: Изд-во АСВ, 2002 500 с.

2. Белов В.В., Петропавловская В.Б. Краткий курс материаловедения и технологии конструкционных материалов для строительства: учеб. пособие. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2011. 216 с.

3. Практическое бетоноведение в вопросах и ответах: справ. пособие / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин, О.М. Бордюженко, Ю.В. Гарницкий, В.В. Житковский; под ред. Л.И. Дворкина. СПб: ООО «Стройбетон», 2008. 328 с.

4. Laukaitis A. Influence of technological factors on porous concrete formation mixture and product properties / Summary of the research report presented for habilitation // Kaunas University of Technology, 1999. 70 c.

5. Xin Luo, Wei Sun, Sammy Yin Nin Chan, Effect of heating and cooling regimes on residual strength and microstructure of normal strength and high-performance concrete // Journal of Cement and Concrete Research. 2000. Vol. 30. 379-383.

УДК 661.185

ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФОСФОГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО

Ю. Г. Иващенко*, С. А. Евстигнеев*, А. В. Страхов*

** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов, oficeasf@sstu.ru*

Рассмотрены существующие составы сырьевых смесей и способы изготовления вяжущих веществ га основе фосфогипса дигидрата, также предложены составы и технологический способ изготовления композиционного вяжущего с применением алюмосиликатных добавок природного происхождения.

Ключевые слова: фосфогипс, механоактивация, хемосорбция, алюмосиликатная добавка, водостойкость

MANUFACTURING TECHNOLOGY OF PHOSPHO GYPSUM BINDER

Y. G. Ivaschenko*, S. A. Evstigneev*, A. V. Strahov*

** Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov, oficeasf@sstu.ru*

The existing composition of the raw mixtures and methods of making binders hectare basis phosphogypsum dihydrate, just proposed composition and processing method for manufacturing a composite binding using aluminosilicate additives of natural origin.

Keywords: phosphogypsum, mechanical activation, chemisorption, aluminum silicate additive, water resistance

Разработка составов сырьевых смесей и ресурсосберегающих технологий изготовления композиционных вяжущих, отвечающих современным требованиям, на сегодняшний день является актуальной проблемой. Данная проблема направлена не только на изготовление готовой продукции, но также на улучшение экологической обстановки региона. На сегодняшний день существует ряд решений, направленных на получение фосфогипсового вяжущего, но они не получили широкого распространения по нескольким причинам – высокая энергоёмкость и материалоёмкость технологического процесса, получение вяжущих с низкими марками по прочности и водостойкости и др.

В данной работе рассматриваются современные разработки отечественных и зарубежных ученых, а также описываются разработанные составы и способ изготовления композиционного вяжущего на основе фосфогипса дигидрата.

Известна строительная смесь на основе фосфогипса дигидрата и портландцемента, содержащая в качестве добавки высококремнеземистый отход производства ферросилиция при следующем соотношении компонентов, % масс.: фосфогипс дигидрат – 60-80; портландцемент – 15-25; указанный отход производства – 5-15; вода (сверх 100%) – 10-12.

При этом материал, полученный на основе данной смеси методом прессования при давлении 80 МПа, через 28 суток твердения в естественных условиях имеет предел прочности при сжатии от 15,3 до 22,3 МПа и коэффициент размягчения от 0,6 до 0,71 [1].

К недостаткам данной строительной смеси относятся низкая водостойкость материала ($К_р$=0.6-0.71, что относится к группе неводостойких строительных материалов), высокие энергетические затраты на формование изделий (давление

прессования 80 МПа), что ограничивает габариты формуемых изделий, и соответственно сужает номенклатуру строительных изделий изготавливаемых на основе данной смеси.

Авторы работы [2] предлагают состав сырьевой смеси получения вяжущего, включающее компоненты при следующем соотношении, масс.%: бокситовый шлам, термообработанный при температуре 350-450 °С – 84-87; фосфогипс, термообработанный при температуре 150°С – 7-12; $MgCl_2$ 4 – 6.

При этом прочность при сжатии предлагаемого вяжущего составляет 15.0 МПа, морозостойкость – 100 циклов.

Однако предлагаемое вяжущее имеет низкий предел прочности при сжатии, а также высокую температуру обработки фосфогипса.

Известна сырьевая смесь для получения гипсовых изделий, содержащая измельченный техногенный двуводный гипс с удельной поверхностью 3000 и 9000 $см^2/г$, добавку гранулированного поливинилового спирта и в качестве извести и воды насыщенный раствор гашеной извести при следующем соотношении компонентов, масс.%: указанный гипс с удельной поверхностью 3000 $см^2/г$ – 37,6-41,6; указанный гипс с удельной поверхностью 9000 $см^2/г$ – 46,4-50,4; указанный поливиниловый спирт – 0,167-0,5; указанный насыщенный раствор до содержания: известь гашеная – 0,0135-0,019; вода – остальное [3].

Введение в сырьевую смесь добавки гранулированного поливинилового спирта ПВС повышает прочность коагуляционных структур смеси в результате образования абсорбционных контактов полимерной цепочки с частицами двуводного гипса при оптимальном процентном содержании компонентов.

К недостаткам известной сырьевой смеси следует отнести необходимость использования при ее приготовлении гранулированного поливинилового спирта ПВС, который предварительно растирают до фракции менее 50 мкм и смешивают с насыщенным теплым раствором извести до полного растворения. Введение в сырьевую смесь ПВС с последующим выполнением указанных операций усложняет и удорожает технологию производства гипсовых изделий.

Разработанный авторами [4] способ получения водостойкого и экологически чистого гипсового вяжущего на основе фосфогипса, включающий обработку фосфогипса серной кислотой с концентрацией 62,5-95,0%, нагретой до 40-70 °С, с нагревом полученной суспензии до 95-105 °С и последующей выдержкой ее при этой температуре до содержания в ней фторидов не более 0,05 масс.%, нейтрализацией в две стадии путем введения в суспензию карбонатсодержащей добавки, затем порошкообразной гидроокиси кальция, сушку до полного удаления несвязанной воды и автоклавную обработку с получением высокопрочного гипсового вяжущего или обжиг с получением ангидритового вяжущего, причем перед нейтрализацией осуществляют отдувку газообразного фтора сжатым воздухом и удаление фторидов, а на первой стадии нейтрализации осуществляют удаление углекислого газа.

Полученное вяжущее имеет следующие технические характеристики: прочность при сжатии от 3,2 до 14,8 МПа и коэффициент размягчения $К_р$ = 0,4-0,98.

Недостатком данного способа является сложность дополнительных технологических переделов, а также высокая энергоёмкость технологии изготовления за счет наличия дополнительной автоклавной обработки.

Составы сырьевых смесей и способ изготовления предлагаемого композиционного вяжущего на основе фосфогипса дигидрата направлены на повышение предела прочности при сжатии и водостойкости материала.

Поставленная задача решается тем, что в композицию для изготовления вяжущего, включающую фосфогипс дигидрат, дополнительно введены стеарат цинка, кремнезёмсодержащий компонент природного происхождения – опоку или трепел, или диатомит, при следующем соотношении компонентов, масс.%: фосфогипс дигидрат – 77,0-87,5; стеарат цинка – 2,5-3,0; алюмосиликатный компонент – опока или трепел, или диатомит – 10,0-20,0.

Оптимальное содержание в композиции алюмосиликатного компонента природного происхождения 10,0-20,0 (мас.%) и стеарата цинка 2,5-3,0 (масс.%), так как снижение кремнезёмсодержащего компонента менее 10,0 (масс.%) не приводит к проявлению вяжущих способностей композиции, а превышение 20 (масс.%) приводит к снижению марки вяжущего. Введение стеарата цинка менее 2,5 (масс.%) не позволяет повысить коэффициент водостойкости до 0.8, а при введении более 3,0 (масс.%) приводит к удорожанию вяжущего.

Алюмосиликатный компонент природного происхождения применяли в виде мелкодисперсного порошка с удельной поверхностью $S_{уд}$ = 2000-2500 см^2/г, химический состав представлен в табл. 1.

Таблица 1 – Химический состав алюмосиликатного компонента

Алюмосиликатный компонент	Химический состав, масс.%						
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	П.п.п.
Опока карьера села Поливановка, Саратовская область	86,0-92,0	3,0	≤2,5	1,0	1,5	0,3	3,06
Трепел Зикеевского месторождения, Калужская область	85,0-89,0	9,14	≤5,0	1,55	1,3	1,09	4,1
Диатомит Балашейского месторождения, Самарская область	82,0-87,0	8,68	≤4,34	0,57	0,83	0,7	6,62

Основной положительный эффект от введения в вяжущее алюмосиликатного компонента природного происхождения достигается за счёт его повышенной адсорбционной способности. В результате совместного помола (механоактивации) фосфогипса дигидрата и кремнезёмсодержащего компонента происходит физико-химическая адсорбция пассивирующих плёнок с поверхности частиц фосфогипса дигидрата за счёт высокоразвитой удельной поверхности и пористости алюмосиликатного компонента (опока $S_{уд}$=90-120 м^2/г, эффективный диаметр пор 52Å; трепел $S_{уд}$=96-135 м^2/г, эффективный диаметр пор 48Å; диатомит $S_{уд}$=81-92 м^2/г, эффективный диаметр пор 39Å).

Повышение прочности вяжущего объясняется стерическим эффектом, когда определённый объём наполнителя участвует в образовании каркаса в сочетании с частицами фосфогипса дигидрата. Ультрадисперсные частицы алюмосиликатного компонента в результате совместной механоактивации с фосфогипсом дигидратом

выполняют роль каркаса в затвердевшем материале, что позволяет повысить прочность вяжущего до 18-20 МПа.

При этом в качестве добавки, повышающей водостойкость вяжущего, выбран стеарат цинка (цинк стеариновокислый $[CH_3(CH_2)_{16}COO]_2Zn$), который является гидрофобизирующей добавкой и позволяет повысить коэффициент водостойкости на 20% – до $К_р$ = 0,81-0,85. Эффективное действие стеарата цинка на повышение коэффициента водостойкости объясняется блокированием поверхности микропор затвердевшего вяжущего, что обусловливается снижением водопоглощения до 6% (масс.). Повышение указанных свойств позволяет расширить номенклатуру изделий и область применения предлагаемого вяжущего от изготовления материалов для отделочных работ внутри помещений до наружных отделочных материалов, а также изготовления стеновых материалов на основе предлагаемого вяжущего.

Для составления композиций комплексного вяжущего использованы следующие исходные материалы: фосфогипс дигидрат с ООО «Балаковские минеральные удобрения» (химический состав приведён в табл. 2); стеарат цинка (цинк стеариновокислый $[CH_3(CH_2)_{16}COO]_2Zn$ – ТУ 6-09-17-316-96); алюмосиликатный компонент природного происхождения: опока карьера села Поливановка Саратовской области, или трепел Зикеевского месторождения Калужской области, или диатомит Балашейского месторождения Самарской области (химический состав приведён в табл. 1).

Таблица 2 – Химический состав фосфогипса дигидрата

CaO	SO_4	P_2O_5	SiO_2	Fe_2O_3	F	pH
27,3-31,02	54,15-65,40	0,98-1,19	0,55-0,68	0,35-0,44	0,18-1,7	4,5-5,8

Приготовление вяжущего производят в следующей последовательности: необожженный фосфогипс дигидрат с влажностью не более 16-18% с удельной поверхностью частиц $S_{уд}$=1600-1800 $см^2/г$ в количестве 77,0-87,5 % (масс.) от общего количества (например 80,2 с $S_{уд}$ = 1700 $см^2/гр.$ для состава № 3 табл. 3) и алюмосиликатный компонент с удельной поверхностью частиц $S_{уд}$=2000-2500 $см^2/гр.$ в количестве 10-20% (масс.) от общего количества (например 17,0 с $S_{уд}$ = 2200 $см^2/гр.$ для состава № 3 табл. 3) помещают в шаровую мельницу, где производят совместный помол (механоактивацию) сырьевой смеси до удельной поверхностью частиц $S_{уд}$=3500-4200 $см^2/гр.$ Полученную смесь загружают в тепловой агрегат, в котором осуществляют обработку при 150$^oС$ в течение 2 часов (низкотемпературный обжиг). Образовавшееся вяжущее загружают в смеситель, куда в последствии подают стеарат цинка (цинк стеариновокислый) в количестве 2,5-3 % (масс.) от общего количества вяжущего (например, 2.8% для состава № 3 табл. 3) и смешивают эти компоненты в течение 2-2,5 мин при частоте вращения перемешивающего органа смесителя 180-200 об/мин (для состава № 3 табл. 3 – 190 об/мин). После чего полученное готовое вяжущее упаковывают в герметичную тару [5].

В табл. 3 приведены конкретные составы предлагаемого вяжущего, а в табл. 4 – физико-механические характеристики заявленного вяжущего.

Таблица 3 – Составы сырьевых смесей композиционного вяжущего

№ состава	Компоненты, мас.%				
	Фосфогипс дигидрат	Опока карьера села Поливановка, Саратовская область	Трепел Зикеевского месторождения, Калужская область	Диатомит Балашейского месторождения, Самарская область	Стеарат цинка (цинк стеариново-кислый)
1	77,0	20,0	-	-	3,0
2	80,2	17,0	-	-	2,8
3	85,3	12,0	-	-	2,7
4	87,5	10,0	-	-	2,5
5	77,0	-	20,0	-	3,0
6	80,2	-	17,0	-	2,8
7	85,3	-	12,0	-	2,7
8	87,5	-	10,0	-	2,5
9	77,0	-	-	20,0	3,0
10	80,2	-	-	17,0	2,8
11	85,3	-	-	12,0	2,7
12	87,5	-	-	10,0	2,5

Таблица 4 – Физико-механические характеристики композиционного вяжущего

Номер состава	Характеристика образцов		
	Предел прочности при сжатии, МПа	Водостойкость (коэффициент размягчения $К_р$)	Морозостойкость, цикл
1	20,0	0,85	100
2	18,5	0,86	100
3	18,1	0,82	100
4	17,6	0,81	100
5	19,8	0,84	100
6	18,3	0,85	100
7	17,9	0,81	100
8	17,4	0,81	100
9	19,9	0,86	100
10	18,4	0,87	100
11	18,0	0,83	100
12	17,5	0,82	100

Таким образом, композиционное вяжущее, изготовленное из предлагаемых компонентов, обладает более высокими показателями предела прочности при сжатии и коэффициента размягчения (водостойкости) по сравнению с показателями известных способов и составов фосфогипсового вяжущего.

Список литературы

1. Строительная смесь: патент РФ №2074843, 93030520/33, заявл. 15.06.1993; опубл. 10.03.1997, Бюл. №10. 5 с.

2. Вяжущее: патент РФ №2016867, 4955199/33, заявл. 28.06.1991, опубл. 30.07.1994, Бюл. №8. 6 с.

3. Сырьевая смесь для изготовления гипсовых изделий: патент РФ №2318769, 2006128143/03, заявл. 02.08.2006, опубл. 10.03.2008, Бюл. №7. 5 с.

4. Способ получения водостойкого и экологически чистого гипсового вяжущего: патент РФ №2333171, 2007111997/03, завл. 02.04.2007, опубл. 10.09.2008, Бюл. № 25. 8 с.

5. Вяжущее: пат. 2538556 Рос. Федерация. №2013146483/03,. заяв. 17.10.2013. опубл. 10.01.2015 Бюл. № 1. 6 с.

УДК 691.11

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ OSB-ПЛИТ

А. А. Пшенов*, Н. В. Зобкова*

** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов, aapshenov@yandex.ru, zobkovanv@ yandex.ru*

Разработана методика ускоренных и длительных испытаний OSB-плит для оценки их долговечности. В качестве критериев оценки долговечности были приняты плотность и предел прочности при статическом изгибе.

Ключевые слова: OSB плита, долговечность, испытания на ускоренное старение, камера моделирования условий окружающей среды, атмосферная стойкость

ELABORATION OF ORIENTED STRAND BOARD ENDURANCE EVALUATING METHODS

A. A. Pshenov*, N. V. Zobkova*

** Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia, Saratov, aapshenov @sstu.ru, zobkovanv @yandex.ru*

Technology of short and long time test evaluating oriented strand board endurance is elaborated. Imporosity and cross-breaking strength were used as endurance criterias.

Key words: oriented strand board, quick aging test, environmental simulation cage, durability

С целью исследования долговечности OSB-плит были разработаны и проведены ускоренные и длительные (натурные) испытания. Исследования выполнялись на кафедре «Строительные материалы и технологии» САДИ СГТУ имени Гагарина Ю.А.

Под долговечностью плит на основании [1] понимается комплексное свойство количественно выражаемое продолжительностью эффективного сопротивления сложному воздействию внешних и внутренних факторов в эксплуатационный период работы материала до соответствующего критического уровня.

Ускоренные испытания заключаются в переменном изменении температурно-влажностных условий выдержки образцов материала в лабораторных условиях.

Для испытаний использовались камера моделирования условий окружающей среды для сложных температурных условий МК 115 и камера универсальная пропарочная КУП 1А. Испытанию подверглись стандартные образцы плит по ГОСТ 10634. В качестве критериев оценки долговечности были приняты следующие показатели:

- ✓ плотность,
- ✓ предел прочности при статическом изгибе.

Образцы плит подвергались следующим воздействиям по четырем режимам обработки:

I. Образцы помещались в КУП 1А на 4 ч с температурой пропаривания 85°С, вынимались и помещались на 20 ч в МК 115 с изменением температуры в диапазоне от -40 до +60 (рис. 1 а);

II. Образцы помещались в КУП 1А на 4 ч с температурой пропаривания 85°С, вынимались и помещались на 20 ч в МК 115 с изменением температуры в диапазоне от -40 до +60 (рис. 1 б).

III. Образцы помещались в МК 115 на 24 часа с изменением температуры в диапазоне от -40 до +60 (рис. 1 в);

IV. Образцы помещались в МК 115 на 24 часа с изменением температуры в диапазоне от -40 до +60 (рис. 1 г);

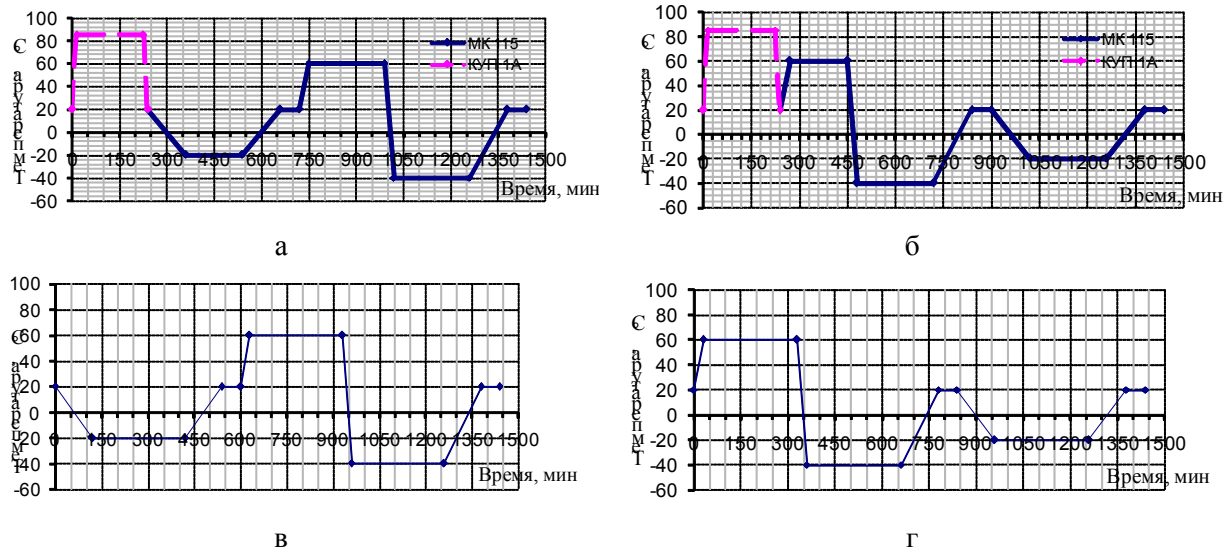


Рис. 1. Режимы обработки образцов

Таким образом, общая продолжительность одного цикла составляет одни сутки. Целью испытания являлось выявление наиболее жесткого режима одного цикла испытания, необходимого для получения в короткий срок таких результатов, которые характерны для состояния образцов после длительного испытания. Результаты проведенных испытаний подробно изложены в [2].

Для проверки эффективности ускоренных методов были проведены длительные испытания. Важно понимать, что полученные результаты длительных испытаний в отличие от ускоренных методов относятся только к конкретному климатическому району, т.е. городу Саратову. Испытания на длительную стойкость проводились на открытом воздухе, позволяющие выявить атмосферную стойкость плит.

По данным [3, 4], на результаты атмосферных испытаний влияют географические условия и расположение образцов: на солнечной стороне или в тени, под открытом небом или под навесом, на крыше или у поверхности земли, под углом к горизонту или вертикальное, с ориентацией лицевой поверхности на юг или без ориентации, с вращением по ходу движения солнца или неподвижное.

Для испытаний на атмосферостойкость был изготовлен стенд с постоянным углом наклона рамы 50º к горизонту, равным географической широте г. Саратов. Место расположения испытательной площадки находилось на крыше здания вдали от источников загрязнения воздуха на открытом месте. Расстояние от поверхности крыши до нижнего конца рамы составляет 0,8 м. Стенд представляет собой пространственную конструкцию с расположение рам на четыре стороны. Стенд с образцами был сориентирован таким образом, чтобы каждая рама была обращена лицевой стороной к сторонам света; т.е. 1-я – на юг, 2-я – на запад, 3-я – на север, 4-я – на восток (рис. 2).

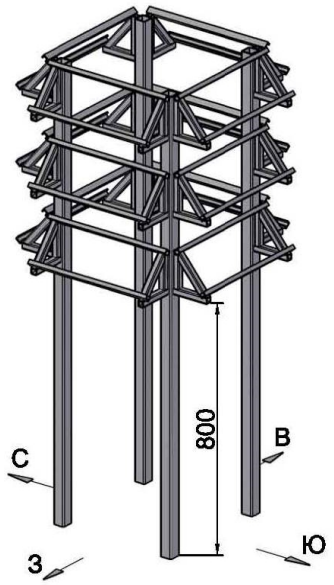


Рис. 2. Стенд для испытания образцов на атмосферостойкость

На основании полученных результатов в настоящее время проводятся циклические испытания на ускоренное старение по II режиму обработки (см. рис. 1 б) с целью сопоставления результатов с длительными испытаниями по методике изложенной выше.

Список литературы

1. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение. учеб. пособие для строит. спец. вузов. М.: Высш. шк., 2003. 701 с.

2. Зобкова Н.В., Пшенов А.А. Сравнение методов испытания ускоренного старения для оценки долговечности OSB-плит // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. Шухова. 2014. № 3. С. 25-28.

3. Хрулёв В.М., Мартынов К.Я. Долговечность древесно-стружечных плит. М.: Лесная промышленность, 1977. 168 с.

4. Хрулёв В.М. Долговечность клеевых соединений. М.: Гослесбумиздат, 1962. 159 с.

УДК 691.33

БЕТОНЫ НА ФОСФОРНОШЛАКОВОМ ВЯЖУЩЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФОСФОРНОШЛАКОВОГО ЩЕБНЯ

К. С. Шинтемиров*, С. С. Уразова*, Ж. Е. Орынгалиева*

** Западно-Казахстанского аграрно-технического университета имени Жангир хана, Казахстан, Уральск, shintemirov@mail.ru*

Приведены сведения по получению вяжущих материалов и бетонов на основе фосфорного шлака, в частности из гранулированных электротермофосфорных шлаков, размолотых до удельной поверхности 3500-4000 см^2/г и активированных солями щелочных и щелочноземельных металлов. В качестве крупного заполнителя применили форношлаковый щебень.

Ключевые слова: фосфорношлаковое вяжущее, активированное солями, щебень из фосфорного шлака, бетоны на бесклинкерном вяжущем

CONCRETE PHOSPHORUS SLAG ASTRINGENT USING PHOSPHORUS SLAG CRUSHED STONE

K. S. Shintemirov*, S. S. Urazova*, Z. Y. Oringaliyeva*

** West Kazakhstan agrarian-technical University by named Zhangir khan, Kazakhstan, Uralsk, shintemirov@mail.ru*

Is intended to obtain concrete and cementitious materials based on phosphorus slag, in particular from electro thermal phosphoric granulated slag, milled to a specific surface 3500-4000 cm^2/g and the activated salts of alkali and alkaline earth metals. As a coarse aggregate used forno slag crushed stone.

Keywords: phosphorus slag astringent, activated salts, crushed stone of phosphorus slag, concrete on without clinker astringent

Важнейшей задачей повышения эффективности капитальных вложений в строительную отрасль, является применение новых видов вяжущих материалов и изделий из них. При этом особое внимание предусматривается уделить широкому использованию попутных продуктов, т.е. отходов промышленности, в частности, шлаков электротермического производства фосфора. Это позволит не только утилизировать накопившиеся отвалы фосфорного шлака, но и вернуть в хозяйственный оборот плодородные земельные угодья, занятые отвалами, на содержание которых затрачиваются огромные денежные средства. Охрана природы и обеспечение комплексного и экономного использования природных ресурсов возведены у нас в ранг государственной политики, что нашло свое отражение в Посланиях Президента Республики Казахстан народу Казахстана.

Применение гранулированного фосфорного шлака в производстве вяжущих веществ и строительных материалов различного назначения получило бурное развитие в 70-х годах XX-го столетия. Так, например, применение гранулированного фосфорного шлака взамен глины и части известняка в составе сырьевой смеси портландцементного клинкера более выгодно, так как позволяет сократить расход тепла более чем на 45% при получении белитового клинкера и более чем на 20%- при синтезе алитового клинкера. Применение электротермофосфорного шлака в качестве компонента сырьевой смеси цементного клинкера обеспечивает возможность синтеза новых видов клинкеров: высокоалитового, содержащего до 90% алита, и практически мономинерального белитового, содержащего 95% белита. Активность цемента из высокоалитового клинкера достигает 600 [1].

Электротермофосфорные шлаки применяются в производстве шлакопортландцемента, а также в качестве заполнителей тяжелых и легких бетонов. Однако на наш взгляд более перспективным является применение гранулированного фосфорного шлака в производстве бесклинкерного вяжущего вещества, активированного различными солями. На базе такого вяжущего вещества можно получить бетоны, как автоклавного твердения, так и бетоны, твердеющие при атмосферном давлении. В настоящей работе приводятся данные по получению вяжущего вещества из гранулированного фосфорного шлака, размолотого до удельной поверхности 3500 – 4000 $см^2/г$ путем его активации различными солями щелочных и щелочноземельных металлов.

Дальнейшие наши исследования посвящены экспериментальной оценке влияния активаторов шлака на прочностные свойства бетонов при твердении их в условиях пропаривания и автоклавирования. При этом в качестве крупного заполнителя применяли щебень из фосфорного шлака. Поскольку щебень из фосфорного шлака обладает гладкой поверхностью, для повышения сцепления щебня с цементным камнем, его обрабатывали 3%-ным раствором соляной кислоты.

В качестве активаторов были использованы сульфаты и хлориды щелочных и щелочноземельных металлов Na_2SO_4, K_2SO_4, $MgSO_4$, мирабилит, а также хлориды щелочных и щелочноземельных металлов $MgCl_2$, $CaCl_2$, карналлит, бишофит природный. Выбор этих солей обоснован их дешевизной, доступностью и высокой активационной способностью вяжущего из фосфорного шлака.

В работе использованы следующие сырьевые материалы: гранулированный электротермофосфорный шлак Новоджамбулского фосфорного завода (НДФЗ), портландцемент М400 Шымкентского цементного завода, речной песок Желаевского карьера. Химический состав некоторых сырьевых материалов приведен в табл. 1.

Таблица 1 − Химический состав сырьевых материалов

№ пп	Наименование материалов	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	Fe_2O_3	R_2O	SO_3	P_2O_5	F_2	Пересчет F_2 на CaF_2	п.п.п
1	Гранулированный электротермофосфорный шлак	40,7-42,5	46,5-48,6	3,0-3,5	2,0-2,5	0,7-1,7	0,5-0,6	0,3-0,5	1,0-1,3	1,0-1,2	4,5	0,5
2	Портландцемент	21,3	62,6	1,3	7,8	5,1	0,4	0,5	-	-	-	1,0
3	Песок	72,6	2,5	0,6	15,3	2,0	6,0	следы	-	-	-	1,0

Гранулированный фосфорный шлак представлен в виде крупного песка серого цвета, с пористой структурой. Состоит из стекла псевдоволластонитового состава (80-90%), где в виде включений содержатся тонкодисперсные частички псевдоволластонита, окерманита и куспидина. Использовался шлак, размолотый до удельной поверхности 3500-4000 $см^2/г$.

Песок кварцево-полевошпатовый состоит из, %: кварца 70-72, полевого шпата 20-25, амфибола с пироксеном 4-7, слюды (мусковит) – 1. Содержание или-

стых и глинистых примесей менее 1 %. Модуль крупности песка 1,8-2,2. Средняя насыпная плотность 1,55 кг/л.

Щебень из фосфорного шлака получен траншейным методом и классифицирован по фракции и плотности, чтобы получить однородный по прочности и плотности щебень. Для повышения сцепления щебня с цементным камнем его обрабатывали 3%-м раствором соляной кислоты.

Для затворения бетонной смеси применялась водопроводная вода.

Испытания проводили на образцах-балочках размерами 4×4×16 см, из мелкозернистого бетона состава 1:2 (фосфорный шлак: песок) с водошлаковым отношением 0,28. Соли активаторы вводили с водой затворения. Подвижность бетонной смеси характеризовалась осадкой конуса 1 см, время виброуплотнения составляло 45 с. Образцы запаривали при температуре 175°С по режиму 2+8+2 ч (подъем давления + изотермическая выдержка + спуск давления). Автоклавная обработка была принята в связи с тем, что сульфаты щелочных и щелочноземельных металлов не возбуждают вяжущих свойств фосфорного шлака при температуре 90$^{\pm}$5°С, то есть бетоны при пропаривании не твердеют при принятых концентрациях активаторов. Такие образцы применяли с целью определения коррозии стальной арматуры в бетонах на фосфорношлаковом вяжущем. В эти образцы по продольной оси были расположены арматурные стержни класса В-II, отшлифованные до зеркального блеска. Коррозию арматуры определяли электрохимическими методами – снятие анодных поляризационных кривых стали в бетоне [2].

Характеристика образцов мелкозернистого бетона на фосфорношлаковом вяжущем, активированном сульфатами щелочных и щелочноземельных металлов приведена в табл. 2.

Таблица 2 − Характеристика армированных образцов мелкозернистого бетона на фосфорношлаковом вяжущем, активированном сульфатами щелочных и щелочноземельных металлов

№ состава	Вид активатора и концентрация % от массы фосфорного шлака	Средняя плотность, кг/м^3	Rизг, МПа	Rсж, МПа	pH жидкой фазы	Водопоглощение, % по массе
1	K_2SO_4 – 2,0	2124	7,8	80,0	11,10	5,8
2	Na_2SO_4 – 2,0	2120	7,0	76,0	10,60	6,4
3	$MgSO_4$ – 2,0	2096	5,6	58,0	10,58	6,5
4	мирабилит -2,0	2083	5,3	55,0	10,45	6,6
5	Контрольный состав 1:3 (цемент : песок) В/Ц=0,485 нормального твердения	2075	3,2	37,0	12,53	10,8

Из табл. 2 видно, что при активации молотого гранулированного фосфорного шлака сульфатами щелочных и щелочноземельных металлов можно получить высокопрочные бетоны, превышающие прочность цементных бетонов более чем в два раза. При этом анализ жидкой фазы бетонов показал, что pH бетонов на фосфорношлаковом вяжущем находится на уровне ниже критических значений pH,

указанных в работе С.Н. Алексеева, где показано, что при pH ниже 11,8 стальная арматура в бетонах нуждается в защите от коррозии [2].

В табл. 3 приведены результаты по определению активности шлакового вяжущего при активации его хлоридами щелочных и щелочноземельных металлов. Разница заключалась лишь в том, что в качестве активаторов твердения применялись $MgCl_2$, бишофит, карналлит и $CaCl_2$, взятые в количестве 1% для бетонов автоклавного твердения и 2% для пропаренных бетонов. Количество активаторов указано в процентах от массы шлака. Активаторы вводились в бетонную смесь вместе с водой затворения. Образцы твердели по режиму 2+8+2 ч при температуре 175 и 90 ± 5°C соответственно. Характеристика образцов приведена в табл. 3.

Таблица 3 − Характеристика образцов мелкозернистого бетона на фосфорношлаковом вяжущем, актированном хлоридами щелочноземельных металлов

№ состава	Вид активатора и концентрация % от массы фосфорного шлака	Средняя плотность, кг/м^3	$R_{изг}$, МПа	$R_{сж}$, МПа	pH жидкой фазы	Водопоглощение, % по массе
Бетоны автоклавного твердения						
5	$MgCl_2$ − 1	2128	7,8	80,0	9,85	5,8
6	Бишофит – 1	2125	6,3	68,0	9,25	5,9
7	Карналлит – 1	2120	5,8	62,0	10,60	6,1
8	$CaCl_2$ − 1	2095	5,2	58,0	9,75	6,2
Пропаренные бетоны						
9	$MgCl_2$ − 2	2160	6,8	72,0	9,60	5,6
10	Бишофит – 2	2123	5,7	63,0	9,40	5,8
11	Карналлит – 2	2098	5,4	60,0	9,55	6,0
12	$CaCl_2$ − 2	2085	4,3	45,0	9,45	6,1
13	Контрольный состав 1:3(цемент : песок) В/Ц=0,485	2075	3,7	42,0	12,53	10,8

Экспериментальные данные, приведенные в табл. 3, показывают, что хлориды щелочных и щелочноземельных металлов являются более эффективными активаторами гранулированного фосфорного шлака, размолотого до удельной поверхности 3500-4000 см^2/г. Так, например, при введении хлоридов для активации шлака в количестве 1% от массы шлака и твердении бетонов в условиях повышенных температуре и давления пара получаются высокопрочные бетоны с прочностью от 58 до 80 МПа. При этом более эффективными оказались хлорид магния, бишофит и карналлит. Введение этих солей в количестве 2% от массы шлака позволяет получать высокопрочные бетоны даже при пропаривании, т.е. при нормальном давлении и температуре до 95°C [3].

Анализ анодных поляризационных кривых показал, что стальная арматура находится в пассивном состоянии, что объясняется высокой плотностью бетонов. стационарные потенциалы имели значения −110…210 мВ, а токи поляризации при потенциале Е=+300 мВ, имели значения 5…7 мкА/см^2.

Прочность образцов-кубов размерами 10×10×10 см на фосфорношлаковом щебне была на уровне 80 – 100 МПа.

Таким образом, можно с уверенностью говорить о том, что из отходов химической промышленности, в частности, из электротермофосфорных шлаков можно получать высокопрочные бетоны, которые дешевле цементных бетонов и более долговечны, так как в их составе отсутствует свободный гидроксид кальция – наиболее растворимый компонент цементных бетонов.

Список литературы

1. Паримбетов Б.П. Строительные материалы из минеральных отходов промышленности. М.: Стройиздат, 1978. 201 с.

2. Алексеев С.Н. Коррозия и защита арматуры в бетоне. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1968. 231 с.

3. А.с. СССР № 952797. Вяжущее / Сулейменов С.Т., Шинтемиров К.С., Алексеев С.Н., Розенталь Н.К., Захарова М.В. // Б.И. 1982, № 31.

НЕЙРОСЕТЕВОЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСОЕМКОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. А. Гарькавенко*

** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов, alangarkavenko@gmail.com*

Рассматривается подход к повышению ресурсоемкости производства теплоизоляционных материалов на основе жидкостекольного связующего. Описан алгоритм функционирования интеллектуальной системы поддержки принятия решения при проектировании составов строительных изделий. Расписана система хранения данных. Использование описанных подходов позволяет повысить качество выпускаемой продукции, а также повысить интенсификацию производства.

Ключевые слова: жидкое стекло, теплоизоляция, нейронные сети, моделирование, материаловедение

A NEURAL NETWORK APPROACH TO SOLVING THE PROBLEM OF INCREASING THE RESOURCE INTENSITY OF PRODUCTION OF THERMAL INSULATION MATERIALS.

A. A. Garkavenko*

** Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov, alangarkavenko@gmail.com*

This article discusses the approach to improving resource-production of thermal insulating materials based on liquid glass binder. Describe an algorithm for intellectual support decision system for the design of compositions of building products. The described data storage system. Using these approaches can improve the quality of products, as well as to increase the intensification of production.

Keywords: liquid glass, insulation, neural networks, modeling, construction materials science

Современные тенденции организации производства строительных материалов и изделий направлены на внедрение ресурсоэнергосберегающих технологии, развитие инженерных подходов к созданию материалов с заданными свойствами.

Конкурентоспособность на рынке сбыта требует гибкого подхода к повышению качественных показателей производимой продукции. В качестве строительного материала удовлетворяющего требованиям ресурсоемкости и повышающий энергосбережение может служить теплоизоляционный материал на основе жидкостекольного вяжущего.

Обладая хорошими качествами в классическом варианте производства, жидкостекольные смеси отлично подвергаются модификации. Отдельно стоит отметить возможность модификации свойств с помощью введения отходов производства.

При подборе новых составов возникают задачи оптимизации. Ассистирующим инструментом может служить интеллектуальная система моделирования, позволяющая сузить поиск, а иногда напрямую сформировать рекомендации к проектированию состава смеси и оптимизации технологического режима производства.

Интеллектуальная система функционирует в качестве инструмента, а также способна получать новые знания, производить дообучение, повышая качество моделирования. Система с таким принципом управления может считаться стохастической, т.к. в большинстве своем отсутствуют линейные (прямые) зависимости между начальными и конечными показателями управления. Ядром моделирования в таких системах зарекомендовали себя нейронные сети.

Для успешного функционирования такой системы необходим опыт(знания), которые представляют собой экспериментальные данные. Обучение приводит к суммированию накопленных знаний. При обучении необходимо внимательно подходить к разбросу данных в обучающей выборки. При большой разнице в поступающих данных необходимо использовать различные ядра системы, рассчитанные на определенные интервалы взаимодействия. При обращении с данными необходима определенность в том, насколько могут быть разными поступающие данные, а также система должна знать какие могут быть вариации тех или иных составляющих. Примером может служить база, в которой для получения данных при подборе составов обращение идет к таблицам с вариативностью данного параметра. Жидкое стекло разделяем на различные сущности, под ними так же подразумеваем разные параметры: вид наполнителя, удельная поверхность частиц; массовое содержание добавки, класс добавки. При технологической переработке определяем режим сушки, название аппарата. Для каждого из представленных параметров соответствует свое численное значение массы или времени. Информация о составе не будет иметь ценности без результатов контроля над продукцией. Информация записывается непосредственно с приборов, и приводится к маркировкам соответствующим значениям. Необходимо задать коридор значений и понимать невозможность выхода за эти пределы, исходя из определенных границ производится нормирование. Сформировав обучающую выборку данные поступают в модуль масштабирования, где по заложенным алгоритмам информация из непрерывного понимания превращается в дискретную, размещенную для простоты моделирования в интервале 0..1. Подготовленные данные подставляются с двух сторон ядра, происходит обучение. Система хранит проверенные данные, ко-

торые попадают в базу знаний и обращение к которым не требует участия моделирования, также оставляется флаг наличия факта обучения ядра на проверенных данных, и флаг о неподтвержденности данных взятых с моделирования. В случае, когда данные из обучающей выборки находятся за гранью, приходится использовать другое ядро, рассчитанное на другие интервалы входных данных. Появляется необходимость в расширении обучающей выборки для достаточного обучения нескольких ядер. Центры моделирования хранятся в бинарном виде рядом с описанием конфигурации, условий использования. После каждого моделирования и получения продукции, вводятся корректировки, которые записываются со стадии контроля за партией. Таким образом, мы получаем постоянно эволюционирующий механизм интеллектуальной помощи принятия решения (рис. 1).

Системы интеллектуальной помощи принятия решения повышают интенсификацию производства, уменьшают брак, улучшают условия труда.

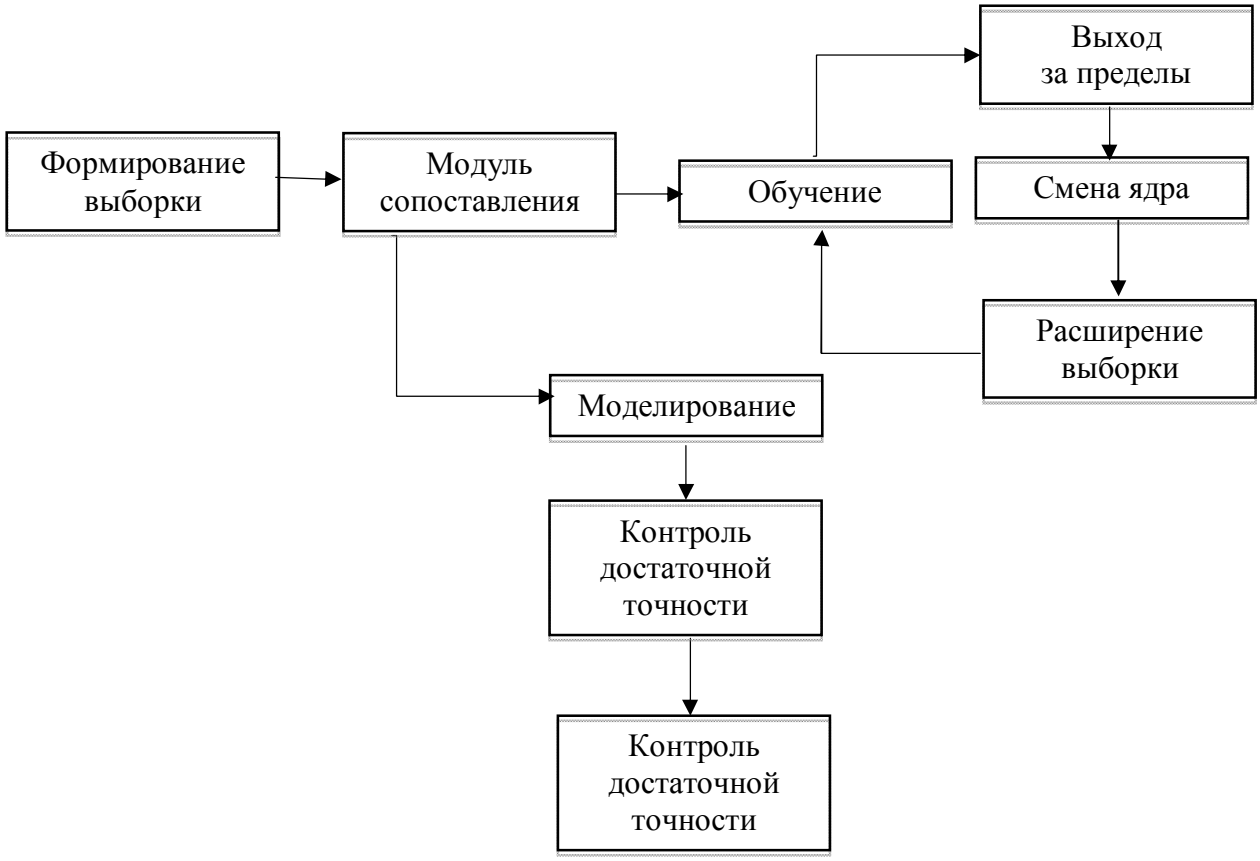


Рис. 1. Общая блок схема функционирования интеллектуальной системы помощи принятия решения

Хранение данных для интеллектуальной системы предполагает ее разбиение на функциональные сущности. Накопление и обработка данных повышают качество системы интеллектуальной помощи принятия решения, позволяют масштабировать функционал на новых данных. Ниже представлена диаграмма хранения информации в базе данных (рис. 2).

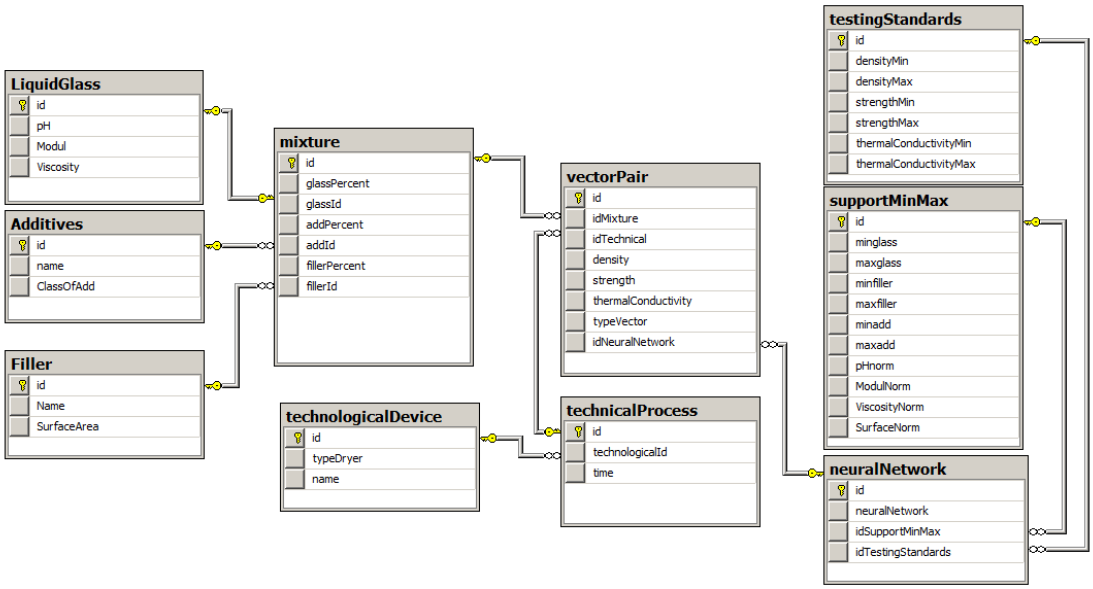


Рис. 2. Схема хранения сущностей в базе данных

Таблица LiquidGlass отвечает за описание сущности модели жидкого стекла. Известны значение pH, модуль и вязкость у каждой партии разные. Additives содержит знания о добавках, различая их по названию и классу добавки. Filler – наполнители различаем из названия, а также удельной поверхности. Mixture содержит сущность рецептурной части, куда помещаются идентификаторы сущностей, входящих в эту часть (жидкое стекло, добавка, наполнитель), а также процентное содержание каждого из них. TechnologicalDevice описывает технологический агрегат для дальнейшего технологического процесса, описанного в таблице technicalProcess, который, помимо сущности прибора, содержит данные о времени процесса. Сопоставление сущностей рецептурной части и технологического процесса содержится в таблице vectorPair, где также хранятся соответствующие данные, описывающие характеристики готового изделия: плотность, прочность, теплопроводность.

Количество факторов, способных оказывать влияние на свойства изделия, может быть очень большим. Схема принятия решения задачи подбора составов отображена в следующей блок-схеме.

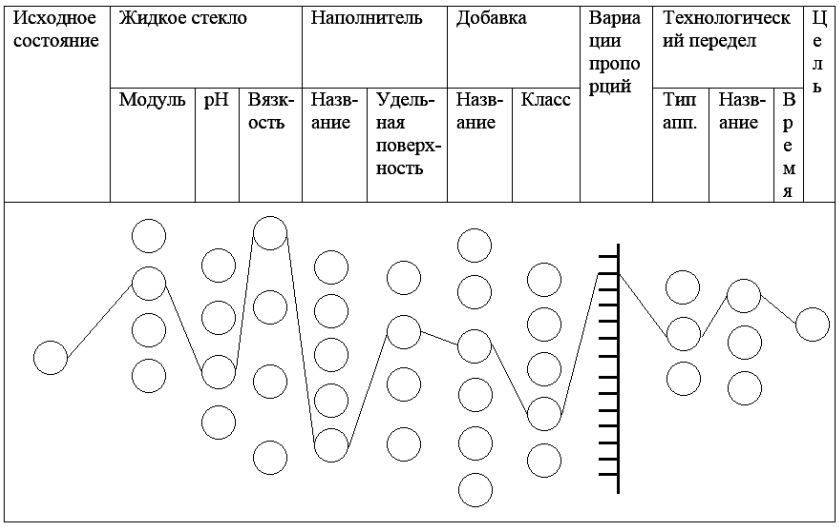


Рис. 3. Схема принятия решения при решении задачи подбора состава изделия

Также помещаем служебную информацию о типе данных в этой таблице (проверенные данные, смоделированные, для обучения), и идентификатор выбранной нейронной сети – idNeuralNetwork. Таблица neuraletwork содержит саму нейронную сеть с весами связей, и идентификаторы таблиц для масштабирования данных, поступающих на моделирование. Таблицы testingStandards и supportMinMax содержат нормирующие данные для поддержки модуля масштабирования данных.

Список литературы

1. Иващенко Ю.Г., Зинченко С.М., Козлов Н.А. Структурообразующая роль органоминеральных добавок при твердении цементных композиций // Вестник СГТУ. 2013. Т. 3. № 1 (72). С. 168-171.

2. Хайкин Саймон. Нейронные сети: полный курс. 2-е изд. М.: Вильямс, 2006. 1104 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СИСТЕМ ГАЗОТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И СТРОИТЕЛЬНОЙ КЛИМАТОТЕХНИКИ

УДК 681.03.06:531.383:532.516

ВОЛНЫ ДЕФОРМАЦИЙ В ВЯЗКОУПРУГОЙ ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКЕ, СОДЕРЖАЩЕЙ ВЯЗКУЮ ЖИДКОСТЬ И ОКРУЖЕННОЙ УПРУГОЙ СРЕДОЙ

Ю. А. Блинков*, А. Ю. Блинкова**, Л. И. Могилевич, В. С. Попов*****

** Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, Россия, Саратов, blinkovua@gmail.com*

*** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов, anblinkova26@gmail.com, vic_p@bk.ru*

****Поволжский филиал Московского государственного университета путей сообщения, Россия, Саратов, mogilevich@sgu.ru*

Исследование посвящено анализу распространения нелинейных продольных волн деформаций в цилиндрической оболочке окруженной упругой средой и содержащей вязкую несжимаемую жидкость внутри. Физические свойства оболочки определяются уравнениями квадратичной теории вязкоупругости.

Ключевые слова: нелинейные волны, вязкая несжимаемая жидкость, цилиндрические вязкоупругие оболочки, окружающая упругая среда

DEFORMATION WAVES IN VISCOELASTIC PHYSICAL NONLINEARITY CYLINDRICAL SHELL CONTAINING A VISCOUS FLUID AND SURROUNDED BY AN ELASTIC MEDIUM

U. A. Blinkov*, A. U. Blinkova **, L. I. Mogilevich, V. S. Popov*****

** Saratov State University, Russia, Saratov, blinkovua@gmail.com*

*** Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov, anblinkova26@gmail.com, vic_p@bk.ru*

**** Volga region branch of Moscow state university of communication means Russia, Saratov, mogilevich@sgu.ru*

The present study is devoted to analysis of nonlinear deformation of longitudinal waves in a cylindrical shell surrounded by an elastic medium and containing a viscous incompressible fluid inside. The physical properties of the shell defined by the equations quadratic theory of viscoelasticity.

Keywords: nonlinear waves, viscous incompressible fluid, viscoelastic cylindrical shell, surrounding elastic medium

Получим уравнения динамики с учётом наличия вязкой несжимаемой жидкости в цилиндрической оболочке с помощью асимптотических методов для решения связанной задачи гидроупругости с соответствующими граничными условиями.

Рассмотрим бесконечно длинную вязкоупругую цилиндрическую оболочку, окруженную упругой средой, внутри которой находится вязкая несжимаемая

жидкость. Уравнения движения вязкой несжимаемой жидкости и уравнение неразрывности в цилиндрической системе координат r,ϑ,x записываются в случае осесимметричного течения в виде

$$\frac{\partial \bar{V}}{\partial t} + grad\,\frac{1}{2}V^2 + rot\,\bar{V}\times\bar{V} + \frac{1}{\rho}grad\;p = -\nu\;rot\,rot\,\bar{V},$$
$$div\bar{V} = 0. \tag{1}$$

На границе оболочки и жидкости при $r = R_1 - W$ выполняются условия прилипания

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} &= V_x + U\frac{\partial V_x}{\partial x} - W\frac{\partial V_x}{\partial r}, \\ -\frac{\partial W}{\partial t} &= V_r + U\frac{\partial V_r}{\partial x} - W\frac{\partial V_r}{\partial r}. \end{aligned} \tag{2}$$

Здесь t – время; V_r, V_x – проекции вектора скорости жидкости на оси цилиндрической системы координат; p – давление; ρ –плотность; ν –кинематический коэффициент вязкости; U – продольное упругое перемещение оболочек по оси x; W – прогиб, положительный к центру кривизны оболочки; R_1 – внутренний радиус оболочки, R – радиус срединной поверхности оболочки, h_0 – толщина оболочки ($h_0 = 2(R - R_1)$) и $h_0 = R$.

В случае осевой симметрии, используя гипотезу Кирхгофа-Лява, имеем связь между компонентами деформаций ε_x, ε_y перемещений [5]

$$\varepsilon_x = \frac{\partial U}{\partial x} - z\frac{\partial^2 W}{\partial x^2}, \varepsilon_y = -\frac{1}{R}W, \tag{3}$$

где R – радиус срединой поверхности оболочки, z – расстояние от нее. Связь между компонентами напряжений σ_x, σ_y и деформаций зададим уравнениями квадратичной теории вязкоупругости [1], учитывающей линейную упругость объёмных деформаций

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{E}{1-\mu_0^2}(\varepsilon_x + \mu_0\varepsilon_y) - \frac{E}{1+\mu_0}\alpha\int_{-\infty}^{t} e^{-\beta(t-\tau)}(1+a\varepsilon_u^2)e_x d\tau, \\ \sigma_y &= \frac{E}{1-\mu_0^2}(\varepsilon_y + \mu_0\varepsilon_x) - \frac{E}{1+\mu_0}\alpha\int_{-\infty}^{t} e^{-\beta(t-\tau)}(1+a\varepsilon_u^2)e_y d\tau. \end{aligned} \tag{4}$$

Здесь E – модуль Юнга, μ_0 – коэффициент Пуассона материала оболочки, t – время; α,β,a – параметры вязкоупругости; ε_u^2 – квадрат интенсивности деформаций, e_x, e_y – компоненты девиатора деформаций

$$\varepsilon_u^2 = \frac{4}{3}(\varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2 - \varepsilon_x\varepsilon_y); \quad e_x = \frac{2}{3}\varepsilon_x - \frac{1}{3}\varepsilon_y, \quad e_y = \frac{2}{3}\varepsilon_y - \frac{1}{3}\varepsilon_x. \tag{5}$$

Разлагая функции $(1+a\varepsilon_u^2)e_x, (1+a\varepsilon_u^2)e_y$ в ряд Тейлора по степеням $(t-\tau)$, при условии βt =1 сохраняем два члена разложения. Из формул (4) получим приближенные уравнения состояния [2]

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \frac{E}{1-\mu_0^2}(\varepsilon_x+\mu_0\varepsilon_y)+p[\frac{2}{3}\varepsilon_x-\frac{1}{3}\varepsilon_y+a(e_u^2 e_x)],\\ \sigma_y &= \frac{E}{1-\mu_0^2}(\varepsilon_y+\mu_0\varepsilon_x)+p[\frac{2}{3}\varepsilon_y-\frac{1}{3}\varepsilon_x+a(\varepsilon_u^2 e_y)]\end{aligned} \tag{6}$$

где введен оператор р, такой, что $pf=\frac{E}{1+\mu_0}(\frac{\alpha}{\beta^2}\frac{\partial f}{\partial t}-\frac{\alpha}{\beta}f)$.

Вычисляя с использованием (6) усилия и моменты по формулам [5]

$$N_x=\int_{-\frac{h_0}{2}}^{\frac{h_0}{2}}\sigma_x dz, N_y=\int_{-\frac{h_0}{2}}^{\frac{h_0}{2}}\sigma_y dz, M_x=\int_{-\frac{h_0}{2}}^{\frac{h_0}{2}}\sigma_x z dz, M_y=\int_{-\frac{h_0}{2}}^{\frac{h_0}{2}}\sigma_y z dz, \tag{7}$$

подставим (8) в систему уравнений динамики оболочки [3]

$$\begin{aligned}&\frac{\partial N_x}{\partial x}-\rho_0 h_0\frac{\partial^2 U}{\partial t^2}=-q_x, \frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2}+\frac{1}{R}N_y+\frac{\partial}{\partial x}(\frac{\partial W}{\partial x}N_x)-\rho_0 h_0\frac{\partial^2 W}{\partial t^2}=\\ &=-q_n-\rho_0 h_0\left[k_1\frac{c_0^2}{l^2}W-k_2\frac{c_0^2 l^2}{R^6}W^3-2t_1c_0^2\frac{\partial^2 W}{\partial x^2}+m\frac{\partial^2 W}{\partial t^2}\right]\end{aligned} \tag{8}$$

здесь h_0 – толщина оболочки, ρ_0 – плотность материала оболочки, q_x, q_n – напряжения, действующие со стороны жидкости на поверхность оболочки, снесенные на невозмущаемую поверхность оболочки ($W=R$)

$$q_x=[\rho\nu(\frac{\partial V_x}{\partial r}+\frac{\partial V_r}{\partial x})]_{r=R}, q_n=[-\rho+2p\nu\frac{\partial V_r}{\partial r}]_{r=R} \tag{9}$$

Выражение в квадратных скобках характеризует реакцию упругой среды в которой расположена труба кругового сечения Власова-Леонтьева [4]. $k_1\frac{c_0^2}{l^2}W-k_2\frac{c_0^2 l^2}{R^6}W^3$ – реакция на сдавливание (сжатие), $-2t_1c_0^2\frac{\partial^2 W}{\partial x^2}$ – реакция на сдвиг, $m\frac{\partial^2 W}{\partial t^2}$ – инерционная реакция. Коэффициенты k_1, k_2, t_1, m определены в [4].

Принимая за характерную длину волны деформации l, перейдем к безразмерным переменным для исследования уравнений динамики оболочек (3)-(9)

$$W=w_m u_3,\quad U=u_m u_1,\quad t^*=\frac{c_0}{l}t,\quad x^*=\frac{x}{l},\quad c_0=\sqrt{\frac{E}{\rho_0\left(1-\mu_0^2\right)}}. \tag{10}$$

здесь c_0 – скорость звука в материале оболочки

Положим

$$\frac{u_m}{l}=\varepsilon, \frac{w_m}{R}=O(\varepsilon), a=O(\varepsilon^{-1}), \frac{\alpha}{\beta}=O(1), \frac{\alpha}{\beta^2}\frac{c_0}{l}=O(\varepsilon), \frac{R}{l}=O(\varepsilon^{1/2}), \frac{h_0}{R}=O(\varepsilon), \tag{11}$$

где $\varepsilon=1$ – малый параметр задачи.

Применим метод двухмасштабных разложений, вводя независимые переменные в виде

$$\xi=x^*-ct^*,\quad \tau=\varepsilon t^*, \tag{12}$$

где c – безразмерная неизвестная скорость волны, а зависимые переменные представлены в виде разложения по малому параметру ε:

$$u_1=u_{10}+\varepsilon u_{11}+\ldots,\quad u_3=u_{30}+\varepsilon u_{31}+\ldots \tag{13}$$

Подставляя (10), (12), (13) в уравнения (8) с учетом оценок (11), получим в нулевом приближении по ε линейную систему уравнений, из которой следует связь

$$\frac{w_m}{R}u_{30}=\mu_1\frac{u_m}{l}\frac{\partial u_{10}}{\partial\xi},\ \mu_1=\frac{\mu_0+\frac{1}{3}(1-\mu_0)\frac{\alpha}{\beta}}{1-\frac{2}{3}(1-\mu_0)\frac{\alpha}{\beta}} \tag{14}$$

и определяется безразмерная скорость волны

$$c^2=[1-\frac{2}{3}(1-\mu_0)\frac{\alpha}{\beta}](1-\mu_1{}^2). \tag{15}$$

Из следующего приближения по ε, учитывая (14) и (15), находится уравнение для определения u_{10}:

$$\begin{gathered}\frac{\partial^2u_{10}}{\partial\xi\partial\tau}+\frac{c}{2}\frac{R^2}{l^2\varepsilon}\mu_1^2\left(1+m-\frac{2t_1}{c^2}\right)\frac{\partial^4u_{10}}{\partial\xi^4}+\frac{c}{2}\frac{u_m}{l\varepsilon}\frac{\partial u_{10}}{\partial\xi}\frac{\partial^2u_{10}}{\partial\xi^2}-\\ -\left\{\frac{2}{3}\frac{(1-\mu_0)\frac{\alpha}{\beta}}{c}\left[1+\mu_1^4+(1+\mu_1)^4\right]\frac{a}{\varepsilon}\left(\frac{u_m}{l}\right)^2+\frac{3}{2c}\frac{1}{\varepsilon}\frac{u_m^2}{R^2}k_2\mu_1^4\right\}(\frac{\partial u_{10}}{\partial\xi})^2\frac{\partial^2u_{10}}{\partial\xi^2}-\\ -\frac{1}{3}(1-\mu_0)\frac{\alpha}{\beta^2}\frac{c_0}{l\varepsilon}(1+\mu_1+\mu_1{}^2)\frac{\partial^3u_{10}}{\partial\xi^3}+\frac{1}{\varepsilon}\frac{R^2}{l^2}\frac{\mu_1^2}{2c}k_1\frac{\partial^2u_{10}}{\partial\xi^2}=\\ =-\frac{l^2}{\varepsilon u_m\rho_0h_0c_0^2\,2c}[q_x-\mu_1\frac{R}{e}\frac{\partial q_n}{\partial\xi}]\end{gathered} \tag{16}$$

Для определения правой части уравнения (16) введем безразмерные переменные и параметры

$$\begin{gathered}V_r=w_m\frac{c_0}{l}v_r,\ V_x=w_m\frac{c_0}{R_1}v_x,\ r^*=\frac{r}{R_1},\ t^*=\frac{c_0}{l}t,\ x^*=\frac{x}{l},\ p=\frac{\rho\nu c_0lw_m}{R_1^3}P;\\ \psi=\frac{R_1}{l}=o(\varepsilon^{\frac{1}{2}}),\quad \lambda=\frac{w_m}{R_1},\ \psi=\ 1,\quad \lambda=\ 1.\end{gathered} \tag{17}$$

Подставляя (17) в уравнения гидродинамики и граничные условия (1), представим безразмерные скорость и давление в виде разложения по малому параметру λ:

$$v_x=v_x^0+\lambda v_x^1+\ldots,\quad v_r=v_r^0+\lambda v_r^1+\ldots,\quad P=P^0+\lambda P^1+\ldots \tag{18}$$

В нулевом приближении по ψ ($\psi\approx0$ – гидравлическая теория смазки), считая $(\psi)(R_1c_0/\nu)=\ 1$ (ν – ползущие течения [5]), и в нулевом приближении по λ получаем уравнения гидродинамики (классические уравнения гидродинамической теории смазки, из которых с принятой точностью по ε,ψ,λ из (5) найдем

$$q_x=\rho\nu\frac{w_mc_0}{R_1^2}\frac{\partial v_x^0}{\partial R^*}|_{r^*=1},\quad q_n=-\rho\nu\frac{w_mc_0}{R_1^2}\frac{l}{R_1}P^0,$$

и выражение в квадратных скобках правой части (16) имеет вид

$$[q_x-\mu_1\frac{R}{l}\frac{\partial q_n}{\partial\varepsilon}]=\rho\nu\frac{w_mc_0}{R_1^2}[(\frac{\partial v_x^0}{\partial r^*})_{r^*=1}+\mu_1\frac{R}{l}\frac{l}{R_1}\frac{\partial P^0}{\partial x^*}]=\rho\nu\frac{w_mc_0}{R_1^2}\frac{1}{2}\frac{\partial P^0}{\partial\xi}[1+2\mu_1\frac{R}{R_1}] \tag{19}$$

Подставляя (22) в уравнение (16), окончательно получим

$$\frac{\partial^2 u_{10}}{\partial\xi\partial\tau}+\frac{c}{2}\frac{R^2}{l^2\varepsilon}\mu_1^2\left(1+m-\frac{2t_1}{c^2}\right)\frac{\partial^4 u_{10}}{\partial\xi^4}+$$

$$+\left\{\frac{2}{3}\frac{(1-\mu_0)\dfrac{\alpha}{\beta}}{c}\left[1+\mu_1^4+(1+\mu_1)^4\right]\frac{a}{\varepsilon}\left(\frac{u_m}{l}\right)^2+\frac{3}{2c}\frac{1}{\varepsilon}\frac{u_m}{R^2}k_2\mu_1^4\right\}(\frac{\partial u_{10}}{\partial\xi})^2\frac{\partial^2 u_{10}}{\partial\xi^2}- \tag{20}$$

$$-\frac{1}{3}(1-\mu_0)\frac{\alpha}{\beta^2}\frac{c_0}{l\varepsilon}(1+\mu_1+\mu_1^2)\frac{\partial^3 u_{10}}{\partial\xi^3}+\frac{1}{\varepsilon}\frac{R^2}{l^2}\frac{\mu_1^2}{2c}k_1\frac{\partial^2 u_{10}}{\partial\xi^2}-$$

$$-2[1-(2\mu_1)^2]\frac{\rho l\nu}{\rho_0 h_0 R_1 c_0\varepsilon}\frac{\partial u_{10}}{\partial\xi}=0$$

При отсутствии жидкости $(\rho=0)$ последнее слагаемое выпадает, и уравнение (20) превращается в уравнение Гарднера-Бюргерса, для $\frac{\partial u_{10}}{\partial\xi}$ имеющее точное частное решение.

Легко видеть, что замена

$$\frac{\partial u_{10}}{\partial\xi}=c_3\varphi,\quad \eta=c_1\xi,\quad t=c_2\tau \tag{21}$$

позволяет записать уравнение (20) в виде

$$\frac{\partial\varphi}{\partial t}+\frac{\partial^3\varphi}{\partial\eta^3}-6\sigma_1\varphi^2\frac{\partial\varphi}{\partial\eta}-\sigma_2\frac{\partial^2\varphi}{\partial\eta^2}+\sigma_3\frac{\partial\varphi}{\partial\eta}-\sigma\varphi=0. \tag{22}$$

здесь $\sigma=1$ при $\mu_1<\frac{1}{2}$, $\sigma=-1$ при $\mu_1>\frac{1}{2}$ и $\sigma=0$ при $\mu_1=\frac{1}{2}$.

При отсутствии жидкости уравнение (22) превращается в уравнение Гарднера-Бюргерса, имеющее точное частное решение

$$\mp\frac{\sigma_2}{6}\mp k\left\{k\eta+\left(2k^3+\frac{\sigma_2^2 k}{6}-\sigma_3 k\right)t\right\}. \tag{23}$$

Наличие жидкости в физически нелинейной вязкоупругой оболочке, окруженной упругой средой, приводит к росту амплитуды волны деформации или ее падению в зависимости от величины μ_1. Упругая среда, окружающая оболочку, приводит к увеличению скорости нелинейной волны деформации.

Работа выполнена при поддержке Гранта РФФИ № 16-01-00175-а.

Список литературы

1. Москвитин В. В. Сопротивление вязко-упругих материалов. М.: Наука, 1972. 328 с.

2. Аршинов Г. А., Землянухин А. И., Могилевич Л. И. Двумерные уединенные волны в нелинейной вязкоупругой деформируемой сред // Акустический журнал РАН. 2000 .Т. 46. № 1. С. 116-117.

3. Вольмир А. С. Нелинейная динамика пластинок и оболочек. М.: Наука, 1972. 328 с.

4. Власов В. З., Леонтьев Н. Н. Балки, плиты и оболочки на упругом основании. М.: Физматлит, 1960. 490 с.

5. Чивилихин С. А., Попов В. С., Гусаров В. В. Динамика скручивающихся нанотрубок в вязкой жидкости // Доклады РАН. 2007. Т. 412. № 2. С. 201-203.

УДК 681.03.06:531.383:532.516

НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ В ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ ВЯЗКОУПРУГОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКЕ, СОДЕРЖАЩЕЙ ВЯЗКУЮ НЕСЖИМАЕМУЮ ЖИДКОСТЬ И ОКРУЖЕННОЙ УПРУГОЙ СРЕДОЙ

А. Ю. Блинкова*, С. В. Иванов**, Л. И. Могилевич, В. С. Попов****

** Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, Россия, Саратов, anblinkova26@gmail.com*

*** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов, evilgraywolf@gmail.com, vic_p@bk.ru*

**** Поволжский филиал московского государственного университета путей сообщения, Россия, Саратов, mogilevich@sgu.ru*

Получено уравнение, обобщающее известное уравнение Гарднера, описывающее волны деформации с помощью асимптотических методов решения связанной задачи гидроупругости, включающей уравнения динамики геометрически нелинейной вязкоупругой оболочки, окруженной упругой средой с учетом уравнений динамики вязкой несжимаемой жидкости, находящейся внутри оболочки, с соответствующими граничными условиями.

Ключевые слова: нелинейные волны, вязкая несжимаемая жидкость, цилиндрические вязкоупругие оболочки, окружающая упругая среда

NONLINEAR WAVES IN GEOMETRICALLY NONLINEAR VISCOELASTIC CYLINDRICAL SHELL CONTAINING VISCOUS INCOMPRESSIBLE FLUID AND SURROUNDED BY AN ELASTIC MEDIUM

A. U. Blinkova *, S. V. Ivanov**, L. I. Mogilevich, V. S. Popov****

** Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov, anblinkova26@gmail.com, vic_p@bk.ru*

*** Saratov State University, Russia, Saratov, evilgraywolf@gmail.com*

**** Volga region branch of Moscow state university of communication means Russia, Saratov, mogilevich@sgu.ru*

An equation that generalizes the well-known equation Gardner describing the wave deformation by means of asymptotic methods for solving problems related hydroelasticity including dynamic equations geometrically nonlinear viscoelastic shell, surrounded by an elastic medium with the equations of the dynamics of a viscous incompressible liquid inside the shell, with appropriate boundary conditions.

Keywords: nonlinear waves, viscous incompressible fluid, viscoelastic cylindrical shell surrounding elastic medium

Получим уравнения динамики с учётом наличия вязкой несжимаемой жидкости в цилиндрической оболочке, окруженной упругой средой, с помощью асимптотических методов для решения связанной задачи гидроупругости.

Рассмотрим бесконечно длинную вязкоупругую цилиндрическую оболочку, взаимодействующую с упругой окружающей средой, внутри которой находится вязкая несжимаемая жидкость. Уравнения движения вязкой несжимаемой жидкости и уравнение неразрывности в цилиндрической системе координат записываются в случае осесимметричного течения в виде

$$\frac{\partial \bar{V}}{\partial t} + grad\,\frac{1}{2}V^2 + rot\,\bar{V}\times\bar{V} + \frac{1}{\rho}grad\ p = -\nu\ rot\ rot\,\bar{V},$$
$$div\bar{V} = 0. \tag{24}$$

На границе с оболочкой выполняются условия прилипания жидкости

$$-\frac{\partial W}{\partial t} = V_r + U\frac{\partial V_r}{\partial x} - W\frac{\partial V_r}{\partial r},\ \frac{\partial U}{\partial t} = V_x + U\frac{\partial V_x}{\partial x} - W\frac{\partial V_x}{\partial r},\quad r = R_1 - W. \tag{25}$$

Здесь t – время; V_r, V_x – проекции вектора скорости жидкости на оси цилиндрической системы координат; p – давление; ρ – плотность; ν – кинематический коэффициент вязкости; U – продольное упругое перемещение оболочек по оси x; W – прогиб, положительный к центру кривизны оболочки; R_1 – внутренний радиус оболочки, R – радиус срединной поверхности оболочки, h_0 – толщина оболочки ($h_0 = 2(R - R_1)$) и $h_0 = R$.

Для определения напряжений, действующих со стороны вязкой нсжимаемой жидкости, введем безразмерные переменные и параметры

$$V_r = w_m\frac{c_0}{l}v_r, V_x = w_m\frac{c_0}{R_1}v_x, r^* = \frac{r}{R}, t^* = \frac{c_0}{l}t, x^* = \frac{x}{l}, p = \frac{\rho\nu c_0 l w_m}{R_1^3}P;$$
$$\psi = \frac{R_1}{l} = o(\varepsilon^{\frac{1}{2}}),\quad \lambda = \frac{w_m}{R_1}, \psi << 1,\quad \lambda << 1. \tag{26}$$

Подставляя (18) в уравнения гидродинамики (1) и граничные условия (2), представим безразмерные скорость и давление в виде разложения по малому параметру λ:

$$v_x = v_x^0 + \lambda v_x^1 + \ldots,\quad v_r = v_r^0 + \lambda v_r^1 + \ldots,\quad P = P^0 + \lambda P^1 + \ldots \tag{27}$$

В нулевом приближении по ψ ($\psi \approx 0$ – гидравлическая теория смазки), считая $(\psi)(R_1 c_0/\nu) << 1$ (ν – ползущие течения [1]), и в нулевом приближении по λ получаем уравнения гидродинамики (классические уравнения гидродинамической теории смазки)

$$\frac{\partial P^0}{\partial r^*} = 0,\quad \frac{\partial P^0}{\partial x} = \frac{1}{r^*}\frac{\partial}{\partial r^*}(r^*\frac{\partial v_x^0}{\partial r^*}),\quad \frac{1}{r^*}\frac{\partial}{\partial r^*}(r^* v_r^0) + \frac{\partial v_x^0}{\partial x^*} = 0 \tag{28}$$

и граничные условия

$$r^*\frac{\partial v_x^0}{\partial r^*} = 0,\quad r^*\frac{\partial v_r^0}{\partial r^*} = 0,\qquad r^* = 0;$$
$$v_r^0 = -\frac{\partial u_{30}}{\partial t^*},\quad v_x^0 = \frac{u_m R_1}{w_m l}\frac{\partial u_{10}}{\partial t^*},\qquad r^* = 1. \tag{29}$$

Из решения задачи (28), (29) следует, что

$$P^0 = 16\int\left[\frac{1}{2}\frac{u_m R_1}{w_m l}\frac{\partial u_{10}}{\partial t^*} - \int\frac{\partial u_{30}}{\partial t^*}dx^*\right]dx^*,$$
$$\frac{\partial v_x^0}{\partial r^*} = \frac{1}{2}r^*\frac{\partial P_0}{\partial x^*}. \tag{30}$$

С принятой точностью по $\varepsilon, \psi, \lambda$ из (7) найдем

$$q_x = \rho\nu\frac{w_m c_0}{R_1^2}\frac{\partial v_x^0}{\partial r^*}|_{r^*=1},\quad q_n = -\rho\nu\frac{w_m c_0}{R_1^2}\frac{l}{R_1}P^0. \tag{31}$$

В случае осевой симметрии используя гипотезу Кирхгофа-Лява, имеем связь между компонентами деформаций ε_x, ε_y перемещениями [2]

$$\varepsilon_x = \frac{\partial U}{\partial x} - z\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{1}{2}(\frac{\partial U}{\partial x} - z\frac{\partial^2 W}{\partial x^2})^2 + \frac{1}{2}(\frac{\partial W}{\partial x})^2, \varepsilon_y = -\frac{1}{R}W, \tag{32}$$

где R – радиус срединой поверхности оболочки, z – расстояние от нее. Связь между компонентами напряжений σ_x, σ_y и деформаций зададим уравнениями линейной теории вязкоупругости [3], учитывающей линейную упругость объёмных деформаций

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{E}{1-\mu_0^2}(\varepsilon_x + \mu_0\varepsilon_y) - \frac{E}{1+\mu_0}\alpha\int_{-\infty}^{t} e^{-\beta(t-\tau)}e_x d\tau, \\ \sigma_y &= \frac{E}{1-\mu_0^2}(\varepsilon_y + \mu_0\varepsilon_x) - \frac{E}{1+\mu_0}\alpha\int_{-\infty}^{t} e^{-\beta(t-\tau)}e_y d\tau. \end{aligned} \tag{33}$$

Здесь E – модуль Юнга, μ_0 – коэффициент Пуассона материала оболочки, t – время; α, β – параметры вязкоупругости; e_x, e_y – компоненты девиатора деформаций

$$e_x = \frac{2}{3}\varepsilon_x - \frac{1}{3}\varepsilon_y, \quad e_y = \frac{2}{3}\varepsilon_y - \frac{1}{3}\varepsilon_x. \tag{34}$$

Разлагая функции e_x, e_y в ряд Тейлора по степеням

+

$(t-\tau)$, при условии $\beta t >> 1$ сохраняем два члена разложения из формул (10)) получим приближенные уравнения состояния [4]

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{E}{1-\mu_0^2}(\varepsilon_x + \mu_0\varepsilon_y) + p[\frac{2}{3}\varepsilon_x - \frac{1}{3}\varepsilon_y], \\ \sigma_y &= \frac{E}{1-\mu_0^2}(\varepsilon_y + \mu_0\varepsilon_x) + p[\frac{2}{3}\varepsilon_y - \frac{1}{3}\varepsilon_x] \end{aligned} \tag{35}$$

где введен оператор p, такой, что $pf = \frac{E}{1+\mu_0}(\frac{\alpha}{\beta^2}\frac{\partial}{\partial t} - \frac{\alpha}{\beta})f$.

Вычисляя с использованием усилия и моменты по формулам

$$N_x = \int_{-\frac{h_0}{2}}^{\frac{h_0}{2}}\sigma_x dz, N_y = \int_{-\frac{h_0}{2}}^{\frac{h_0}{2}}\sigma_y dz, M_x = \int_{-\frac{h_0}{2}}^{\frac{h_0}{2}}\sigma_x z dz, M_y = \int_{-\frac{h_0}{2}}^{\frac{h_0}{2}}\sigma_y z dz \tag{36}$$

и подставим (8) в систему уравнений динамики оболочек [5]

$$\frac{\partial N_x}{\partial x} - \rho_0 h_0\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = -q_x, \frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} + \frac{1}{R}N_y + \frac{\partial}{\partial x}(\frac{\partial W}{\partial x}N_x) - \rho_0 h_0\frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = -q_n + \rho_0 h_0\frac{c_0^2}{l^2}k_1 W \tag{37}$$

здесь ρ_0 – плотность материала оболочки, h_0 – толщина оболочки; q_x, q_n – напряжения, действующие со стороны жидкости на поверхность оболочки, снесенные на невозмущенную поверхность оболочки $(W << R)$

$$q_x = [\rho\nu(\frac{\partial V_x}{\partial r} + \frac{\partial V_r}{\partial x})]_{r=R}, q_n = [-p + 2\rho\nu\frac{\partial V_r}{\partial r}]_{r=R} \tag{38}$$

Выражение $-\rho_0 h_0\frac{c_0^2}{l^2}k_1 W$ характеризует реакцию на сдавливание (сжатие) упругой среды, в которой расположена труба кругового сечения [5].

Принимая за характерную длину волны деформации l, перейдем к безразмерным переменным для исследования уравнения динамики оболочки

$$W = w_m u_3, \quad U = u_m u_1, \quad t^* = \frac{c_0}{l} t, \quad x^* = \frac{x}{l}, \quad c_0 = \sqrt{\frac{E}{\rho_0 \left(1-\mu_0^2\right)}}. \tag{39}$$

здесь c_0 – скорость звука в материале оболочки.

Положим

$$\begin{aligned} &\frac{u_m}{l} = \varepsilon = o(1), \quad &&\frac{w_m}{R} = O(\varepsilon), \quad &&\frac{\alpha}{\beta} = O(1), \\ &\frac{\alpha}{\beta^2}\frac{c_0}{l} = O(\varepsilon), \quad &&\frac{R}{l} = O(\varepsilon^{1/2}), \quad &&\frac{h_0}{R} = O(\varepsilon), \end{aligned} \tag{40}$$

где $\varepsilon << 1$ – малый параметр задачи.

Применим метод двухмасштабных разложений, вводя независимые переменные в виде

$$\xi = x^* - ct^*, \quad \tau = \varepsilon t^*, \tag{41}$$

где c – безразмерная неизвестная скорость волны, а зависимые переменные представлены в виде разложения по малому параметру ε:

$$u_1 = u_{10} + \varepsilon u_{11} + \ldots, \quad u_3 = u_{30} + \varepsilon u_{31} + \ldots \tag{42}$$

Подставляя (11), (13), (14) в уравнения (13) с учетом оценок (12), получим в нулевом приближении по ε линейную систему уравнений, из которой следует связь

$$\frac{w_m}{R} u_{30} = \mu_1 \frac{u_m}{l} \frac{\partial u_{10}}{\partial \xi}, \mu_1 = \frac{\mu_0 + \frac{1}{3}(1-\mu_0)\frac{\alpha}{\beta}}{1 - \frac{2}{3}(1-\mu_0)\frac{\alpha}{\beta}} \tag{43}$$

и определяется безразмерная скорость волны

$$c^2 = [1 - \frac{2}{3}(1-\mu_0)\frac{\alpha}{\beta}](1-\mu_1^2). \tag{44}$$

Из следующего приближения по ε, учитывая (15) и (16), находятся уравнения для определения u_{10}:

$$\begin{aligned} &\frac{\partial^2 u_{10}}{\partial \xi \partial \tau} + \mu_1^2 \frac{c}{2}\frac{R^2}{l^2 \varepsilon}\frac{\partial^4 u_{10}}{\partial \xi^4} + \frac{c}{2}\frac{u_m}{l\varepsilon}\frac{\partial u_{10}}{\partial \xi}\frac{\partial^2 u_{10}}{\partial \xi^2} - \\ &-\frac{1}{3}(1-\mu_0)\frac{\alpha}{\beta^2}\frac{c_0}{l\varepsilon}(1+\mu_1+\mu_1^2)\frac{\partial^3 u_{10}}{\partial \xi^3} + \frac{R^2}{l^2\varepsilon}\frac{\mu_1^2}{2c}k_1\frac{\partial^2 u_{10}}{\partial \xi^2} = -\frac{l^2}{\varepsilon u_m \rho_0 h_0 c_0^2 2c}[q_x - \mu_1 \frac{R}{l}\frac{\partial q_n}{\partial \xi}] \end{aligned} \tag{45}$$

и выражение в квадратных скобках правой части (22) имеет вид

$$[q_x - \mu_1 \frac{R}{l}\frac{\partial q_n}{\partial \varepsilon}] = \rho \nu \frac{w_m c_0}{R_1^2}[(\frac{\partial v_x^0}{\partial r^*})_{r^*=1} + \mu_1 \frac{R}{l}\frac{l}{R_1}\frac{\partial P^0}{\partial x^*}] = \rho \nu \frac{w_m c_0}{R_1^2}\frac{1}{2}\frac{\partial P^0}{\partial \xi}[1 + 2\mu_1 \frac{R}{R_1}] \quad (1)$$

Учитывая, что были введены переменные (13), (14) и имея соотношения (7), (8), имеем

$$P^0 = 8c\frac{u_m R_1}{w_m l}[2\mu_1 \frac{R}{R_1} - 1]u_{10}, c = \sqrt{[1 - \frac{2}{3}(1-\mu_0)\frac{\alpha}{\beta}](1-\mu_1^2)}. \tag{47}$$

Следовательно, в правой части уравнения (22) остается выражение

$$2\frac{\rho l \nu}{\rho_0 h_0 R_1 c_0 \varepsilon}[1 - (2\mu_1 \frac{R}{R_1})^2]\frac{\partial u_{10}}{\partial \xi}, \tag{48}$$

с принятой точностью по ψ, ε положим $R_1 \approx R$.

Подставляя (25) в уравнение (17), окончательно получим

$$\frac{\partial^2 u_{10}}{\partial\xi\partial\tau}+\frac{u_m}{l\varepsilon}\frac{c}{2}\frac{\partial u_{10}}{\partial\xi}\frac{\partial^2 u_{10}}{\partial\xi^2}+\frac{1}{\varepsilon}(\frac{R}{l})^2\mu_1{}^2\frac{c}{2}\frac{\partial^4 u_{10}}{\partial\xi^4}-$$
$$-\frac{1}{3}\frac{\alpha}{\beta^2}\frac{c_0}{l\varepsilon}(1-\mu_0)(1+\mu_1+\mu_1{}^2)\frac{\partial^3 u_{10}}{\partial\xi^3}+\frac{R^2}{l^2\varepsilon}\frac{\mu_1^2}{2c}k_1\frac{\partial^2 u_{10}}{\partial\xi^2}-2[1-(2\mu_1)^2]\frac{\rho l\nu}{\rho_0 h_0 R_1 c_0\varepsilon}\frac{\partial u_{10}}{\partial\xi}=0. \quad (49)$$

При отсутствии жидкости ($\rho=0$) последнее слагаемое выпадает и уравнение превращается в уравнения Гарднера-Бюргерса, для $\frac{\partial u_{10}}{\partial\xi}$ имеющие точное частное решение. В зависимости от физичеких параметров величина μ_1 может быть больше $\frac{1}{2}$, меньше $\frac{1}{2}$ или равна $\frac{1}{2}$. Последний случай эквивалентен отсутствию жидкости, но означает, что она не влияет на волну деформации.

Легко видеть, что замена

$$\frac{\partial u_{10}}{\partial\xi}=c_3\phi,\quad \eta=c_1\xi,\quad t=c_2\tau \quad (50)$$

позволяет записать уравнение (21) в виде

$$\frac{\partial\phi}{\partial t}+6\phi\frac{\partial\phi}{\partial\eta}+\frac{\partial^3\phi}{\partial\eta^3}-\sigma_2\frac{\partial^2\phi}{\partial\eta^2}+\sigma_3\frac{\partial\phi}{\partial\eta}-\sigma\phi=0. \quad (51)$$

здесь $\sigma=1$ при $\mu_1<\frac{1}{2}$, $\sigma=-1$ при $\mu_1>\frac{1}{2}$ и $\sigma=0$ при $\mu_1=\frac{1}{2}$.

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта РФФИ № 16-01-00175-а.

Список литературы

1. Солитон в стенке нанотрубки и стоксово течение в ней / В. С. Попов, О. А. Родыгина, С. А. Чивилихин, В. В. Гусаров // Письма в ЖТФ. 2010. Т. 36, № 18. С. 48–54.

2. Вольмир А. С. Оболочки в потоке жидкости и газа: задачи гидроупругости. М.: Наука, 1979. С. 320.

3. Москвитин В. В. Сопротивление вязко-упругих материалов. М.: Наука, 1972. 328 с.

4. Аршинов Г. А., Землянухин А. И., Могилевич Л. И. Двумерные уединенные волны в нелинейной вязкоупругой деформируемой среде // Акустический журнал РАН. 2000. Т. 46. № 1. С. 116-117

5. Власов В. З., Леонтьев Н. Н. Балки, плиты и оболочки на упругом основании. М.: Физматлит, 1960. 490 с.

УДК 681.03.06:531.383:532.516

ВОЛНЫ ДЕФОРМАЦИЙ В ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКЕ С КОНСТРУКЦИОННЫМ ДЕМПФИРОВАНИЕМ, СОДЕРЖАЩЕЙ ВЯЗКУЮ ЖИДКОСТЬ И ОКРУЖЕННОЙ УПРУГОЙ СРЕДОЙ

Ю. А. Блинков*, А. Ю. Блинкова**, И. А. Ковалева**, Л. И. Могилевич***

** Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, Россия, Саратов, blinkovua@gmail.com*

*** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов, anblinkova26@gmail.com, irinakovaleva1406@gmail.com*

**** Поволжский филиал Московского государственного университета путей сообщения, Россия, Саратов, mogilevich@sgu.ru*

Исследование посвящено анализу распространения нелинейных продольных волн деформаций в геометрически нелинейной цилиндрической оболочке с конструкционным демпфированием, окруженной упругой средой и содержащей вязкую несжимаемую жидкость внутри. Наличие жидкости потребовало разработки новой математической модели и компьютерного моделирования процессов, происходящих в рассматриваемой системе.

Ключевые слова: нелинейные волны, вязкая несжимаемая жидкость, цилиндрические вязкоупругие оболочки, окружающая упругая среда

DEFORMATION WAVES IN A GEOMETRICALLY NONLINEAR SHELL WITH STRUCTURAL DAMPING CONTAINING VISCOUS FLUID AND SURROUNDED BY AN ELASTIC MEDIUM

U. A. Blinkov*, A. U. Blinkova **, I. A. Kovaleva**, L. I. Mogilevich***

** Saratov State University, Russia, Saratov, blinkovua@gmail.com*

*** Yuri Gagarin state technical university of Saratov,*
Russia, Saratov, anblinkova26@gmail.com, irinakovaleva1406@gmail.com

**** Volga region branch of Moscow state university of communication means,*
Russia, Saratov, mogilevich@sgu.ru

The present study is devoted to analysis of nonlinear longitudinal waves in a geometrically nonlinear deformation Qi of cylindrical shell with structural damping, and surrounded by an elastic medium containing a viscous incompressible fluid inside. The presence of fluid required the development of new mathematical models and computer simulation of processes occurring in the system are risen.

Keywords: nonlinear waves, viscous incompressible fluid, viscoelastic cylindrical shell surrounding elastic medium

Рассмотрим бесконечно длинную цилиндрическую оболочку, внутри которой находится вязкая несжимаемая жидкость.

Уравнение движения вязкой несжимаемой жидкости и уравнение неразрывности записываются виде

$$\frac{\partial \bar{V}}{\partial t} + grad\,\frac{1}{2}V^2 + rot\,\bar{V}\times\bar{V} + \frac{1}{\rho}grad\;p = -\nu\;rot\;rot\,\bar{V},$$
$$div\bar{V} = 0. \qquad (52)$$

На границе оболочки и жидкости в цилиндрической системе координат r,ϑ,x в случае осесимметричного течения при $r = R_1 - W$ выполняются условия прилипания

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} &= V_x + U\frac{\partial V_x}{\partial x} - W\frac{\partial V_x}{\partial r}, \\ -\frac{\partial W}{\partial t} &= V_r + U\frac{\partial V_r}{\partial x} - W\frac{\partial V_r}{\partial r}. \end{aligned} \qquad (53)$$

Здесь t – время; V_r, V_x – проекции вектора скорости жидкости на оси цилиндрической системы координат; p – давление; ρ – плотность; ν – кинематический коэффициент вязкости; U – продольное упругое перемещение оболочки по оси x; W – прогиб, положительный к центру кривизны оболочки; R_1 – внутренний радиус оболочки, R – радиус срединной поверхности оболочки, h_0 – толщина оболочки ($h_0 = 2(R - R_1)$) и $h_0 = R$.

Напряжения со стороны слоя жидкости определяются формулами

$$q_n = -\left[P_{rr}\cos(-\bar{n},\hat{\bar{n}}_r) + P_{rx}\cos(\hat{\bar{n}},\bar{i}) \right]\Big|_{r=R_1-W} \tag{54}$$

$$q_x = -\left[P_{rx}\cos(-\bar{n},\hat{\bar{n}}_r) + P_{xx}\cos(\hat{\bar{n}},\bar{i}) \right]\Big|_{r=R_1-W}$$

где $P_{rr} = -p + 2\rho\nu\dfrac{\partial V_r}{\partial r}$, $P_{rx} = \rho\nu\left(\dfrac{\partial V_x}{\partial r} + \dfrac{\partial V_r}{\partial x}\right)$, $P_{xx} = -p + 2\rho\nu\dfrac{\partial V_x}{\partial x}$.

В подходе Эйлера здесь имеем

$$\cos(-\bar{n},\hat{\bar{n}}_r) = \frac{R_1 - W}{|\bar{N}|},\ \cos(-\bar{n},\hat{\bar{n}}_r) = \frac{R_1 - W}{|\bar{N}|}, \tag{55}$$

где

$$|\bar{N}| = (R_1 - W)\sqrt{1 + \left(-\frac{\partial W}{\partial x}\right)^2}.$$

Здесь $\bar{n}$ – нормаль к срединной поверхности цилиндрической оболочки, $\bar{n}_r$, $\bar{i}$ – орты базиса (r,ϑ,x) цилиндрической системы координат, центр которой расположен на геометрической оси.

Полагая $\partial W / \partial x = 1$, из (6) можно получить

$$-\bar{n} = \bar{n}_r,\ \cos(-\bar{n},\hat{\bar{n}}_r) = 1,\ \ \cos(-\bar{n},\hat{\bar{i}}) = 0 \tag{56}$$

В результате, согласно (5) и (56), напряжения на оболочке со стороны слоя жидкости по нормали и в продольном направлении определяются формулами

$$q_n = \left[-p + 2\rho\nu\frac{\partial V_r}{\partial r} \right]\Big|_{r=R_1-W},\quad q_x = \left[\rho\nu\left(\frac{\partial V_x}{\partial r} + \frac{\partial V_r}{\partial x}\right)\right]\Big|_{r=R_1-W}. \tag{57}$$

Принимая за характерную длину волны деформации l, введем безразмерные переменные и параметры

$$W = w_m u_3,\quad U = u_m u_1,\quad V_r = w_m\frac{c_0}{l}v_r,\quad V_x = w_m\frac{c_0}{R_1}v_x,$$

$$p = \frac{\rho\nu c_0 l w_m}{R_1^3}P,\quad r^* = \frac{r}{R_1},\quad x^* = \frac{x}{l},\quad t^* = \frac{c_0}{l}t, \tag{58}$$

$$\frac{u_m}{l} = \varepsilon = 1,\ \psi = \frac{R_1}{l} = O\left(\varepsilon^{\frac{1}{2}}\right),\ \lambda = \frac{w_m}{R_1} = O(\varepsilon),\ \frac{w_m}{u_m} = O\left(\varepsilon^{\frac{1}{2}}\right).$$

Здесь c_0 – скорость звука в материале оболочки, определяемая модулем Юнга, коэффициентом Пуассона плотностью материала оболочки; ψ, λ, ε –- малые параметры задачи; w_m, u_m – амплитуды упругих перемещений.

Рассмотрим нулевое приближение по малому параметру $\psi = \dfrac{R_1}{l}$ (гидродинамическая теория смазки), то есть положим $\psi = 0$, а также считаем течение ползущим и положим $\psi\dfrac{R_1 c_0}{\nu} = 0$, что справедливо для тонких трубок (с

очень малым радиусом R_1) [1-3]. В результате этих приближений уравнение гидродинамики (1) примет вид

$$\frac{\partial P}{\partial r^*}=0,\quad \frac{\partial P}{\partial x^*}=\frac{1}{r^*}\frac{\partial}{\partial r^*}\left(r^*\frac{\partial v_x}{\partial r^*}\right),\quad \frac{1}{r^*}\frac{\partial}{\partial r^*}\left(r^* v_r\right)+\frac{\partial v_x}{\partial x^*}=0. \tag{59}$$

Решение уравнений гидродинамической теории смазки (12) с учетом граничных условий позволяет найти

$$\begin{aligned} q_n &= -\frac{\rho\nu c_0 l w_m}{R_1^3}16\frac{\partial}{\partial t^*}\int\left[\frac{1}{2}\frac{u_m R_1}{w_m l}u_1-\int u_3 dx^*\right]\mathrm{d}x^*,\\ q_x &= \frac{\rho\nu c_0 w_m}{R_1^2 l}8\frac{\partial}{\partial t^*}\left[\frac{1}{2}\frac{u_m R_1}{w_m l}u_1-\int u_3\mathrm{d}x^*\right]. \end{aligned} \tag{60}$$

Запишем уравнения движения элемента цилиндрической оболочки в перемещениях для модели Кирхгофа-Лява, считаем материал физически линейно-упругим

$$\sigma_i = E e_i, \tag{61}$$

здесь σ_i – интенсивность напряжений, E – модуль Юнга и e_i – интенсивность деформаций.

Кроме этого, учтем конструкционное демпфирование в материале оболочки, характеризуемое величиной, пропорциональной $\partial W/\partial t$, добавляемой к Даламберовой силе инерции [4]

$$\varepsilon_d\frac{1}{l}\sqrt{\frac{E}{\rho_0(1-\mu_0^2)}}\rho_0 h_0\frac{\partial W}{\partial t}, \tag{62}$$

здесь ε_d – коэффициент демпфирования; ρ_0 – плотность материала оболочки, μ_0 – коэффициент Пуассона; $c_0=\sqrt{E/[\rho_0(1-\mu_0^2)]}$ – скорость звука в материале оболочки.

Уравнения динамики геометрически нелинейной оболочки [3] с учетом (29) записываются в виде

$$\begin{aligned} &\frac{Eh_0}{1-\mu_0^2}\frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{\partial U}{\partial x}+\frac{1}{2}\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)^2+\frac{1}{2}\left(\frac{\partial W}{\partial x}\right)^2+\frac{h_0^2}{24}\left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2}\right)^2-\right.\\ &\left.-\mu_0\frac{W}{R}\right]-\rho_0 h_0\frac{\partial^2 U}{\partial t^2}=-q_x,\\ &\frac{Eh_0}{1-\mu_0^2}\left\langle\frac{h_0^2}{12}\frac{\partial^2}{\partial x^2}\left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2}+\frac{\partial U}{\partial x}\frac{\partial^2 W}{\partial x^2}+\ldots\right)-\frac{\partial}{\partial x}\left\{\frac{\partial W}{\partial x}\left(\frac{\partial U}{\partial x}+\right.\right.\right.\\ &\left.\left.\left.+\frac{1}{2}\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)^2+\frac{1}{2}\left(\frac{\partial W}{\partial x}\right)^2+\frac{h_0^2}{24}\left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2}\right)^2-\mu_0\frac{W}{R}\right)\right\}-\right.\\ &\left.-\frac{1}{R}\left(\mu_0\frac{\partial U}{\partial x}+\frac{1}{2}\mu_0\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)^2+\frac{1}{2}\mu_0\left(\frac{\partial W}{\partial x}\right)^2+\frac{h_0^2}{24}\mu_0\frac{\partial^2 W}{\partial x^2}-\frac{W}{R}\right)\right\rangle+\\ &+\rho_0 h_0\frac{\partial^2 W}{\partial t^2}+\varepsilon_d\rho_0 h_0\frac{c_0}{l}\frac{\partial W}{\partial t}+k_1 W=q_n. \end{aligned} \tag{63}$$

В (46) слагаемое k_1W характеризует реакцию на сдавливание (сжатие) упругой среды Власова-Леонтьева, в которой расположена труба кругового сечения [5]; q_x, q_n – напряжения со стороны жидкости.

Принимая за характерную длину волны деформации l, перейдем к безразмерным переменным (8), принимая в них $R = R_1 + O(\varepsilon)$ из уравнений динамики оболочек (46) с учетом

$$\frac{h_0}{l} = O\left(\varepsilon^{\frac{3}{2}}\right), \quad \frac{w_m}{l} = O\left(\varepsilon^{\frac{3}{2}}\right), \quad \frac{h_0}{R} = O(\varepsilon), \quad \frac{k_1 R^2}{\rho_0 h_0 c_0^2} = O(\varepsilon). \tag{64}$$

Применим метод двухмасштабных разложений, вводя независимые переменные в виде

$$\xi = x^* - ct^*, \quad \tau = \varepsilon t^*, \tag{65}$$

где c – неизвестная безразмерная скорость волны, а зависимые переменные представлены в виде разложения по малому параметру ε:

$$u_1 = u_{10} + \varepsilon u_{11} + \ldots, \quad u_3 = u_{30} + \varepsilon u_{31} + \ldots \tag{66}$$

Приравнивая нулю коэффициенты при ε^0, с учетом (64)-(66) получим систему уравнений

$$\begin{gathered} \frac{\partial^2 u_{10}}{\partial \xi^2} - \mu_0 \frac{w_m l}{u_m R} \frac{\partial u_{30}}{\partial \xi} - c^2 \frac{\partial^2 u_{10}}{\partial \xi^2} = 0 \\ -\mu_0 \frac{\partial u_{10}}{\partial \xi} + \frac{w_m l}{u_m R} u_{30} = 0. \end{gathered} \tag{67}$$

Из системы (67)следует

$$\frac{w_m l}{u_m R} u_{30} = \mu_0 \frac{\partial u_{10}}{\partial \xi}, \qquad \left(1 - \mu_0^2 - c^2\right) \frac{\partial^2 u_{10}}{\partial \xi^2} = 0. \tag{68}$$

Следовательно, u_{10} – произвольная функция, а безразмерная скорость волны $c = \sqrt{1-\mu_0^2}$ т. к. $c^2 = 1 - \mu_0^2$. Приравнивая коэффициенты при ε в левых и правых частях уравнений, полученных из (63), найдем с учетом напряжений со стороны жидкости (6)

$$q_x - \mu_0 \frac{R}{l} \frac{\partial q_n}{\partial \xi} = -4\sqrt{1-\mu_0^2} \frac{\nu}{R_1 c_0} \rho c_0^2 \frac{u_m}{l} \left[1 - \left(2\mu_0 \frac{R}{R_1}\right)^2\right] \frac{\partial u_{10}}{\partial \xi}. \tag{69}$$

уравнение

$$\begin{gathered} \frac{\partial^2 u_{10}}{\partial \xi \partial \tau} + \frac{u_m}{l\varepsilon} \frac{\sqrt{1-\mu_0^2}}{2} \frac{\partial u_{10}}{\partial \xi} \frac{\partial^2 u_{10}}{\partial \xi^2} + \frac{1}{\varepsilon}\left(\frac{R}{l}\right)^2 \frac{\mu_0^2 \sqrt{1-\mu_0^2}}{2} \frac{\partial^4 u_{10}}{\partial \xi^4} - \varepsilon_d \frac{R^2}{l^2 \varepsilon} \frac{\mu_0^2}{2} \frac{\partial^3 u_{10}}{\partial \xi^3} + \\ + \frac{\mu_0^2}{2\sqrt{1-\mu_0^2}} \frac{k_1}{\varepsilon} \frac{R^2}{\rho_0 h_0 c_0^2} \frac{\partial^2 u_{10}}{\partial \xi^2} - 2\left[1 - \left(2\mu_0\right)^2\right] \frac{\rho l \nu}{\rho_0 h_0 \varepsilon R_1 c_0} \frac{\partial u_{10}}{\partial \xi} = 0. \end{gathered} \tag{70}$$

Легко видеть, что замена

$$\frac{\partial u_{10}}{\partial \xi} = c\varphi, \quad \eta = c_1 \xi, \quad t = c_2 \tau \tag{71}$$

позволяет записать уравнение (70) в виде

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + 6\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial \eta} + \frac{\partial^3 \varphi}{\partial \eta^3} - \sigma_2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \eta^2} + \sigma_1 \frac{\partial \varphi}{\partial \eta} - \sigma \varphi = 0. \tag{72}$$

Здесь $\sigma = +1$ (при $\mu_0 < 1/2$ – неорганические материалы), $\sigma = -1$ (при $\mu_0 > 1/2$ – органический материал). В случае $\sigma = 0$ ($\mu_0 = 1/2$ – несжимаемый материал, в частности резина), последнее слагаемое выпадает, так что жидкость не оказывает влияния на волну деформации.

При $\sigma = 0$ уравнение (20) (Гарднера-Бюргерса) имеет следующее точное решение

$$\varphi = -\frac{\sigma_2^2}{50}\left(th^2\left(\pm\frac{\sigma_2}{10}x - \omega t \right) \pm 2th\left(\pm\frac{\sigma_2}{10}x - \omega t \right) - 1 \right) - \frac{\sigma_1}{6} \pm \frac{5\omega}{3\sigma_2}.$$

Наличие жидкости в оболочке, окруженной упругой средой, приводит к росту амплитуды волны деформации или ее падению в зависимости от величины коэффицинта Пуассона. Упругая среда, окружающая оболочку, приводит к увеличению скорости нелинейной волны деформации.

Работа выполнена при поддержке Гранта РФФИ № 16-01-00175-а.

Список литературы

1. Чивилихин С. А., Попов В. С., Гусаров В. В. Динамика скручивающихся нанотрубок в вязкой жидкости // Доклады РАН. 2007. Т. 412. № 2. С. 201-203.

2. Солитон в стенке нанотрубки и стоксово течение в ней / В. С. Попов, О. А. Родыгина, С. А. Чивилихин, В. В. Гусаров // Письма в ЖТФ. 2010. Т. 36. № 18. С. 48-54.

3. Аршинов Г. А., Землянухин А. И., Могилевич Л. И. Двумерные уединенные волны в нелинейной вязкоупругой деформируемой среде // Акустический журнал РАН. 2000 .Т .46. № 1. С. 116-117.

4. Вольмир А. С. Оболочки в потоке жидкости и газа: задачи гидроупругости. М.: Наука, 1979. 320 с.

5. Власов В. З., Леонтьев Н. Н. Балки, плиты и оболочки на упругом основании. М.: Физматлит, 1960. 490 с.

УДК 533.6.01:534

ДИНАМИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СО СЛОЕМ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ

Д. Л. Гейзина*

** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов, geyzina@gmail.com*

Выполнен научный обзор, посвященный современным проблемам гидроупругости пластин и оболочек, взаимодействующих с тонким слоем вязкой несжимаемой жидкости. Основное внимание уделено рассмотрению осесимметричных задач для цилиндрических оболочек и плоских задач для пластин.

Ключевые слова: гидроупругость, вязкая несжимаемая жидкость, оболочка, пластина, вибрация, пульсация давления, колебания

DYNAMICS OF INTERACTION OF THIN-WALLED STRUCTURES WITH A LAYER OF VISCOUS LIQUID

D. L. Geyzina*

** Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov, geyzina@gmail.com*

Research review on contemporary problems of hydroelasticity plates and shells, interacting with a layer of fluid was carried out. Problems in a flat setting for plates and problems in an axisymmetric setting for shells are main goals of the review.
Keywords; hydroelasticity, viscous incompressible liquid, shell, plate, vibration, pulsation pressure fluctuations, oscillations

Одно из современных направлений развития механики составляют задачи гидроупругости, связанные с исследованиями взаимодействия тонкостенных конструкций с жидкостью. Из них можно выделить задачи по исследованию динамики вибрирующих упругих стенок плоского канала, заполненного жидкостью [1-23], и работы по исследованию колебаний упругих стенок, обусловленных пульсацией давления [23-30].

В [1] решена задача об изгибных колебаниях стенки канала как балки-полоски, взаимодействующей с идеальной жидкостью и рассмотрены причины возникновения вибрационной кавитации. В [2-6] рассмотрены колебания цилиндрической оболочки, взаимодействующей с вязкой несжимаемой жидкостью для гильзы ДВС с водяным охлаждением. В [7, 8] исследованы гармонические вибрации бесконечно длиной балки-полоски на слое вязкой сжимаемой и несжимаемой жидкости. Показано, что демпфирующие свойства слоя жидкости возрастают при уменьшении его толщины.

Вибрация круглой пластины на свободной поверхности идеальной несжимаемой жидкости рассмотрена в [9]. При этом рассматривается область в жидкости, ограниченная жестким дном и цилиндрической поверхностью. Колебания круглой пластины, погруженной в воду со свободной поверхностью, исследованы в [10]. В [11] выполнено исследование гидроупругих колебаний балки в потоке вязкой жидкости применительно к пьезопреобразователям, которые могут использоваться для получения энергии от потока.

В [12-21] рассмотрено взаимодействие вибрирующих пластин со слоем вязкой несжимаемой жидкости. Исследованы случаи гидроупругих колебаний однородных, трехслойных пластин и пластин переменной толщины в плоской постановке. Показано, что упругие колебания стенок канала на резонансных частотах являются основной причиной вибрационной кавитации. В [18-23] решены задачи о гидроупругих колебаниях цилиндрических оболочек, вызванных инерционным возбуждением, и рассмотрены приложения этих задач. Задачам динамики взаимодействия упругих стенок канала с пульсирующим слоем вязкой жидкости посвящены работы [27-30]. В [24-26] рассмотрены упругие колебания стенки канала с пульсирующим слоем вязкой несжимаемой жидкости. Построены амплитудные и фазовые частотные характеристики стенок канала, получены законы изменения гидродинамических параметров. В [27-30] решены задачи гидроупругости для кольцевых каналов с пульсирующим слоем вязкой жидкости, образованных соосными цилиндрическими оболочками, в том числе подкрепленными шпангоутами, а также для цилиндрической оболочки со шпангоутами, по которой движется ламинарный пульсирующий поток вязкой жидкости.

В указанных в обзоре работах исследования проводились на базе математических моделей, представляющих собой уравнения динамики упругих конструкций и динамики вязкой несжимаемой жидкости. В качестве граничных условий выбирались: условия прилипания жидкости к стенкам каналов, условия свободного торцевого истечения или условия его отсутствия, а также условия закрепления

упругих стенок канала на торцах. Решение задач проводилось метод возмущений для режима установившихся гармонических колебаний.

В заключение отметим, что проведенный обзор известных источников из базы РИНЦ и Scopus показал, что работ, посвященных взаимодействию трехслойных пластин с вязкой жидкостью, мало [13, 14, 21]. Для решения задач применен метод возмущений, а для определения упругих перемещений тонкостенных конструкций – метод Бубнова-Галеркина в первом приближении. Вопросы исследования гидроупругости трехслойных конструкций, вызванных инерционным возбуждением, а также влияния последующих приближений по методу Бубнова-Галеркина в этих работах не освещены. Это является основанием для проведения новых исследований в указанном направлении. Данные исследования, согласно проведенному в данной статье обзору, будут иметь актуальность и научную новизну. Приношу благодарность научному руководителю д.т.н., профессору Попову В. С. за помощь в подготовке данного обзора.

Список литературы

1. Индейцев Д. А., Полипанов И. С., Соколов С. К. Расчет кавитационного ресурса втулки судовых двигателей // Проблемы машиностроения и надежности машин. 1994. № 4. С. 59-64.

2. Математическое моделирование вынужденных колебаний гильзы цилиндра двигателя внутреннего сгорания / Епишкина И. Н., Могилевич Л. И., Попов В. С., Симдянкин А.А. // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2001. № 4. С. 19-26.

3. Могилевич Л. И., Попов В. С. Динамика взаимодействия упругого цилиндра со слоем вязкой несжимаемой жидкости // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. 2004. № 5. С. 179.

4. Могилевич Л. И., Попов В. С. Динамика взаимодействия цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания и слоя охлаждающей жидкости // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2003. № 1. С. 79-87.

5. Могилевич Л. И., Попов В. С. Прикладная гидроупругость в машино- и приборостроении. Саратов: Саратовский ГАУ, 2003. 156 с.

6. Могилевич Л. И., Попов В. С., Попова А. А. Колебания гильзы цилиндра двигателя внутреннего сгорания с водяным охлаждением под действием ударных нагрузок со стороны поршневой группы // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2008. № 3. С. 100-106.

7. Исследование влияния кавитационного износа гильз двигателя внутреннего сгорания с водяным охлаждением КамАЗ-740 на их деформацию в блоке / Могилевич Л. И., Попова А. А., Попов В. С., Симдянкин А. А. // Совершенствование методов гидравлических расчетов водопропускных и очистных сооружений. 2007. № 1 (33). С. 120-126.

8. Amabili M. Vibrations of Circular Plates Resting on a Sloshing Liquid: Solution of the Fully Coupled Problem // Journal of Sound and Vibration. 2001. Vol. 245. Iss. 2. P. 261-283

9. Askari E., Jeong K.-H., Amabili M. Hydroelastic Vibration of Circular Plates Immersed in a Liquid-filled Container with Free Surface // Journal of Sound and Vibration. 2013. Vol. 332, Iss. 12. P. 3064-3085

10. Akcabay D. T., Young Y. L., Hydroelastic Response and Energy Harvesting Potential of Flexible Piezoelectric Beams in Viscous Flow // Physics of Fluids. 2012, Vol. 24. Iss. 5.

11. Enelund M. Vibration and damping of a plate on a viscous fluid layer. Proceeding of the 13th International Modal Analysis Conference (IMAC). 1995. P. 261-267.

12. Önsay T. Effects of layer thickness on the vibration response of a plate-fluid layer system // Journal of Sound and Vibration. 1993. Vol. 163. P. 231-259/

13. Önsay T. Dynamic interactions between the bending vibration of a plate and a fluid layer attenuator // Journal of Sound and Vibration. 1994. Vol. 178. P. 289-313.

14. Попова А. А. Математическое моделирование динамических процессов в виброопоре с упругими элементами конструкции // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2007. Т. 1. № 4. С. 25-31.

15. Попов В. С. Динамическая задача гидроупругости виброопоры с пластиной, подкрепленной ребрами жесткости // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2008. Т. 3. № 1. С. 7-13.

16. Могилевич Л. И., Попов В. С., Попова А. А. Динамика взаимодействия упругих элементов вибромашины со сдавливаемым слоем жидкости, находящимся между ними // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2010. № 4. С. 23-32.

17. Могилевич Л. И., Попова А. А. Динамическая задача гидроупругости виброопоры с упругой ребристой пластиной // Наука и техника транспорта. 2007. № 4. С. 55-61.

18. Могилевич Л. И., Попов В. С., Старовойтов Э. И. Гидроупругость виброопоры с трехслойной круглой упругой пластиной с несжимаемым заполнителем // Наука и техника транспорта. 2006. № 2. С. 56-63.

19. Могилевич Л. И., Попов В. С., Христофорова А. В. Математические вопросы гидроупругости трехслойных элементов конструкций. Саратов: КУБиК, 2012. 123 с.

20. Динамика взаимодействия подвижных стенок плоского канала со сдавливаемым слоем жидкости, находящимся между ними / Агеев Р. В., Быкова Т. В., Могилевич Л. И., Попов В. С. // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2009. Т. 1. № 4. С. 7-13.

21. Ageev R. V., Mogilevich L. I., Popov V. S. Vibrations of the walls of a slot channel with a viscous fluid formed by three-layer and solid disks // Journal of Machinery Manufacture and Reliability, 2014, vol. 43, no. 1, pp. 1-8.

22. Могилевич Л. И., Попов В. С. Исследование взаимодействия слоя вязкой несжимаемой жидкости со стенками канала, образованного соосными вибрирующими дисками // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. 2011. № 3. С. 42-55.

23. Попов В. С., Попова А. А. Исследование гидроупругих колебаний стенок плоского канала при инерционном возбуждении // Сборник научных трудов Sworld. 2013. Т. 3. № 3. С. 77-79.

24. Кондратов Д. В., Могилевич Л. И. Математическое моделирование процессов взаимодействия двух цилиндрических оболочек со слоем жидкости между ними при отсутствии торцевого истечения в условия вибрации // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2007. Т. 3. № 2. С. 15.

25. Попов В. С. Колебания ребристой оболочки, окруженной слоем вязкой несжимаемой жидкости // Аграрный научный журнал. 2003. № 4. С. 47.

26. Могилевич Л. И., Попов В. С. Возмущающие моменты в поплавковом гироскопе с упругим корпусом поплавка, имеющим технологические ребра жесткости, на вибрирующем основании // Авиакосмическое приборостроение. 2006. № 5. С. 6-12.

27. Кондратов Д. В., Могилевич Л. И. Возмущающие моменты в поплавковом гироскопе с упругим корпусом прибора на вибрирующем основании // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. 2005. № 3. С. 11-21.

28. Кондратова Ю. Н., Кондратов Д. В., Могилевич Л. И. Гидроупругость трубопровода кольцевого профиля со свободным опиранием при воздействии вибрации// Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 4. № 4 (62). С. 9-14.

29. Кондратов Д. В., Могилевич Л. И. Упругогидродинамика машин и приборов на транспорте. М.: РГОТУПС, 2007. 169 с.

30. Попова А. А. Математическое моделирование процессов взаимодействия вязкой жидкости с тонкостенными ребристыми элементами гидродинамических демпферов и трубопроводов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Саратов, 2008. 32 с.

31. Математическая модель движения пульсирующего слоя вязкой жидкости в канале с упругой стенкой / Агеев Р. В., Кузнецова Е. Л., Куликов Н. И., Могилевич Л. И., Попов В. С. // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2014. № 3. С. 17-35.

32. Mathematical Model of Pulsating Viscous Liquid Layer Movement in a Flat Channel with Elastically Fixed Wall / Ageev R. V., Mogilevich L. I., Kondratov D. V., Popov V. S., and Popova A. A. // Applied Mathematical Sciences. Vol. 8. 2014. no. 159.

33. Агеев Р. В., Попов В. С., Попова А. А. Математическое моделирование взаимодействия подвижной стенки канала с пульсирующим слоем вязкой жидкости // Сборник научных трудов Sworld. 2014. Т. 29. № 2. С. 23-25.

34. Кондратов Д. В., Калинина А. В. Исследование процессов гидроупругости ребристой трубы кольцевого профиля при воздействии вибрации // Труды МАИ. 2014. № 78.

35. Могилевич Л. И., Попова А. А., Попов В. С. Динамика взаимодействия упругой цилиндрической оболочки с ламинарным потоком жидкости внутри нее применительно к трубопроводному транспорту // Наука и техника транспорта. 2007. № 2. С. 64-72.

36. Кондратов Д. В., Кондратова Ю. Н., Могилевич Л. И. Исследование амплитудных частотных характеристик колебаний упругих стенок трубы кольцевого профиля при пульсирующем движении вязкой жидкости в условиях жесткого защемления по торцам// Проблемы машиностроения и надежности машин. 2009. № 3. С. 15-21.

37. Кондратов Д. В., Кондратова Ю. Н., Могилевич Л. И. Математическое моделирование ламинарного движения жидкости в упругой цилиндрической трубе кольцевого профиля со свободным опиранием по торцам // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2009. Т. 1. № 1. С. 33-40.

38. Попов В. С., Попова А. А., Волов М. И. Математическое моделирование взаимодействия ламинарного пульсирующего потока с цилиндрической ребристой оболочкой, по которой он движется // Совершенствование методов гидравлических расчетов водопропускных и очистных сооружений. 2010. № 1 (36). С. 51-66.

УДК 517.958:621.225:621.454

ГИДРОУПРУГОСТЬ ТРЕХ СООСНЫХ ОБОЛОЧЕК, ЖЕСТКО ЗАЩЕМЛЕННЫХ НА КОНЦАХ В УСЛОВИЯХ ВИБРАЦИИ

К. А. Барулина*, А. Ю. Блинкова**, Д. В. Кондратов*

** Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Россия, Саратов, KondratovDV@yandex.ru*

*** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов, anblinkova@yandex.ru*

Рассмотрена математическая модель системы, представляющая собой цилиндрическую трубу, образованную тремя поверхностями соосных упругих цилиндрических оболочек, жестко защемленных по концам, взаимодействующих с вязкой несжимаемой жидкостью между ними, в условиях вибрации.

Ключевые слова: гидроупругость, вязкая несжимаемая жидкость, соосные оболочки, вибрация

HYDROELASTICITY OF THREE COAXIAL SHELLS RIGIDLY JAMMED ON THE BUTT ENDS IN CONDITIONS OF VIBRATION

K. A. Barulina*, A. Yu. Blinkova**, D. V. Kondratov*

** Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Russia, Saratov, KondratovDV@yandex.ru*

*** Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov, anblinkova@yandex.ru*

This article presents mathematical model of system which is a cylindrical tube formed by three surfaces coaxial elastic cylindrical shells with rigid jamming at the ends, interacting with a viscous incompressible fluid between them between them, in conditions of vibration.

Keywords: hydroelasticity, a viscous incompressible liquid, coaxial shells, vibration

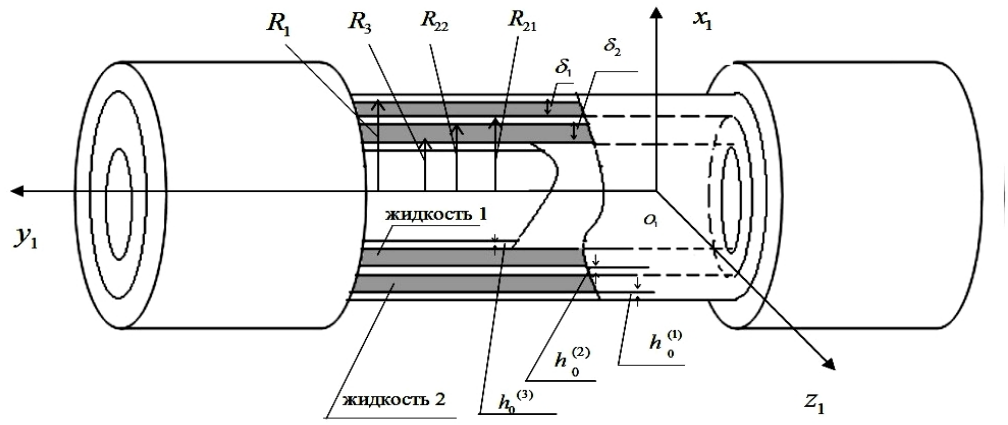
Тонкостенные конструкции, взаимодействующие с вязкой несжимаемой жидкостью, занимают значимые позиции в современной высокотехнологичной машинотехнической продукции. Так, с их помощью решается множество проблем: нужная прочность при уменьшении веса и габаритов деталей, снижение и

выравнивание динамических воздействий и уровня вибраций, уменьшение трения и изнашивания, охлаждения [1-11].

Таким образом, уже на начальном этапе необходимо проводить оценку поведения совместного взаимодействия упругости тонкостенных элементов конструкций и вязкой несжимаемой жидкостью. В нашем случае это система: «упругая оболочка – вязкая несжимаемая жидкость – упругая оболочка – вязкая несжимаемая жидкость – упругая оболочка». Упругая податливость оболочек, параметры жидкостей, воздействие различных источников вибрации – это все надо учесть. Процесс определения таких задач является трудоемким и достаточно сложным.

Следовательно, проблема создания математической модели, позволяющей исследовать динамические процессы в данной системе, является актуальной для разработок в различных инженерных областях.

Рассмотрим механическую систему, состоящую из трех соосных упругих цилиндрических оболочек, свободно опертых по концам, взаимодействующих с вязкими несжимаемыми жидкостями, протекающими между ними (рисунок).



Механическая система

Перемещение внутренней и средней оболочки относительно внешней на концах механической системы отсутствует. Также перемещение внутренней и средней оболочки относительно друг друга отсутствует. Вязкие несжимаемые жидкости протекают между внешней и средней оболочками, а также между средней и внутренней оболочками. Механическая система считается термостабилизированной. На систему воздействует внешний источник вибрации.

Таким образом, модель механической системы представляет собой три упругие цилиндрические оболочки, свободно опираемые по торцам, взаимодействующие между собой через 2 слоя жидкости наличии вибрации.

Рассмотрим движение жидкости 1 и жидкости 2, находящихся между упругими цилиндрическими оболочками. Уравнения Навье-Стокса и уравнение неразрывности для вязкой несжимаемой жидкости с учетом переносного движения основания в выбранной системе координат r, θ, y, жестко связанной с центром координат, примут вид

$$\overline{W_{11}} = -\frac{1}{\rho_1}\nabla p_1 + \nu_1 \Delta \overline{V_1}, \ \nabla \cdot \overline{V_1} = 0,$$

$$\overline{W}_{22} = -\frac{1}{\rho_2}\nabla p_2 + \nu_2 \Delta \overline{V}_2,\ \nabla \cdot \overline{V}_2 = 0.$$

Граничные условия для такой системы уравнений динамики жидкости на непроницаемой поверхности внутренней и внешней оболочек в цилиндрической щели, представляют собой условия прилипания жидкости 1 и жидкости 2 к стенкам и запишутся следующим образом:

$$V_{1r} = \frac{\partial u_3^{(i)}}{\partial t},\ V_{1\theta} = \frac{\partial u_2^{(i)}}{\partial t},\ V_{1y} = -\frac{\partial u_1^{(i)}}{\partial t} \text{ при } r = r_{1,2}$$

$$V_{2r} = \frac{\partial u_3^{(i)}}{\partial t},\ V_{2\theta} = \frac{\partial u_2^{(i)}}{\partial t},\ V_{2y} = -\frac{\partial u_1^{(i)}}{\partial t} \text{ при } r = r_{3,4},\ r_1 = R_3 + \delta_1 + h_0^{(2)} + \delta_2 + u_3^{(1)},$$

$$r_2 = R_3 + h_0^{(2)} + \delta_2 + u_3^{(2)},$$

$$r_3 = R_3 + u_3^{(3)},\ r_4 = R_3 + \delta_2 + u_3^{(2)}.$$

Здесь и далее верхний индекс $i = 1$ относится к внешней оболочке, $i = 2$ – к средней оболочке $i = 3$ – к внутренней оболочке.

Скалярные уравнения динамики внешней и внутренней упругих цилиндрических оболочек, основанные на гипотезах Кирхгофа-Лява, с учётом переносного движения относительно инерциального пространства запишутся в виде

$$\frac{\partial^2 u_1^{(i)}}{\partial y^2} + \frac{1-\mu_0^{(i)}}{2}\frac{1}{\left(R^{(i)}\right)^2}\frac{\partial^2 u_1^{(i)}}{\partial \theta^2} - \frac{1+\mu_0^{(i)}}{2}\frac{1}{R^{(i)}}\frac{\partial^2 u_2^{(i)}}{\partial y \partial \theta} - \frac{\mu_0^{(i)}}{R^{(i)}}\frac{\partial u_3^{(i)}}{\partial y} =$$

$$= \frac{1-\left(\mu_0^{(i)}\right)^2}{E^{(i)}h_0^{(i)}}\left[\rho_0^{(i)}h_0^{(i)}W_{Os}^{(i)} - G_1^{(i)}\right];$$

$$-\frac{1+\mu_0^{(i)}}{2}\frac{1}{R^{(i)}}\frac{\partial^2 u_1^{(i)}}{\partial y \partial \theta} + \frac{1-\mu_0^{(i)}}{2}\frac{\partial^2 u_2^{(i)}}{\partial y^2} + \frac{1}{\left(R^{(i)}\right)^2}\frac{\partial^2 u_2^{(i)}}{\partial \theta^2} +$$

$$+\left(a_0^{(i)}\right)^2\left[2\left(1-\mu_0^{(i)}\right)\frac{\partial^2 u_2^{(i)}}{\partial y^2} + \frac{1}{\left(R^{(i)}\right)^2}\frac{\partial^2 u_2^{(i)}}{\partial \theta^2}\right] +$$

$$+\frac{1}{\left(R^{(i)}\right)^2}\frac{\partial u_2^{(i)}}{\partial \theta} - \left(a_0^{(i)}\right)^2\left[\left(2-\mu_0^{(i)}\right)\frac{\partial^3 u_3^{(i)}}{\partial y^2 \partial \theta} + \frac{\partial^3 u_3^{(i)}}{\partial \theta^3}\right] = \frac{1-\left(\mu_0^{(i)}\right)^2}{E^{(i)}h_0^{(i)}}\left[\rho_0^{(i)}h_0^{(i)}W_{O\theta}^{(i)} - G_2^{(i)}\right],$$

$$-\frac{\mu_0^{(i)}}{R^{(i)}}\frac{\partial u_1^{(i)}}{\partial y} + \frac{1}{\left(R^{(i)}\right)^2}\frac{\partial u_2^{(i)}}{\partial \theta} - \left(a_0^{(i)}\right)^2\left[\left(2-\mu_0^{(i)}\right)\frac{\partial^3 u_2^{(i)}}{\partial y^2 \partial \theta} + \frac{1}{\left(R^{(i)}\right)^2}\frac{\partial^3 u_2^{(i)}}{\partial \theta^3}\right] +$$

$$+\frac{u_3^{(i)}}{R^{(i)}} + \left(a_0^{(i)}\right)^2\left[\left(R^{(i)}\right)^2\frac{\partial^4 u_3^{(i)}}{\partial y^4} + 2\frac{\partial^4 u_3^{(i)}}{\partial y^2 \partial \theta^2} + \frac{1}{\left(R^{(i)}\right)^2}\frac{\partial^4 u_3^{(i)}}{\partial \theta^4}\right] =$$

$$= \frac{1-\left(\mu_0^{(i)}\right)^2}{E^{(i)}h_0^{(i)}}\left[-\rho_0^{(i)}h_0^{(i)}W_{On}^{(i)} + G_3^{(i)}\right],\ i = 1,2,3.$$

Граничные условия для перемещений оболочек состоят в условиях жесткой заделки на торцах:

$$u_1^{(i)} = u_2^{(i)} = u_3^{(i)} = \frac{\partial^2 u_3^{(i)}}{\partial y^2} = 0 \text{ при } y = \pm\frac{l}{2}.$$

Кроме того, для обеих оболочек ставятся условия периодичности параметров по θ с периодом 2π.

Таким образом, получаем математическую модель механической системы, состоящей из трех соосных упругих цилиндрических оболочек, жестко защемленных по концам, взаимодействующих через слой вязкой несжимаемой жидкости при наличии внешней вибрации. Математическая модель рассматриваемой системы представляет собой связанную систему уравнений, включающую нелинейные уравнения в частных производных Навье-Стокса и уравнение неразрывности для описания динамики жидкостей, находящихся между упругими цилиндрическими оболочками, также уравнения в частных производных для описания динамики упругих цилиндрических оболочек, полученные исходя из гипотез Кирхгофа-Лява и соответствующие граничные условия.

Работа ыполнена при поддержке грантов РФФИ 16-01-00175-а, 15-01-01604-а.

Список литературы

1. Башта Т. М. Машиностроительная гидравлика. М.: Машгиз, 1963. 696 с.

2. Кондратов Д. В., Могилевич Л. И. Возмущающие моменты в поплавковом гироскопе с упругим корпусом прибора на вибрирующем основании // Известия РАН. Механика твердого тела. 2005. № 3. С. 11-21.

3. Могилевич Л. И., Попов В. С. Возмущающие моменты в поплавковом гироскопе с упругим корпусом поплавка, имеющим технологические ребра жесткости, на вибрирующем основании // Авиакосмическое приборостроение. 2006. № 5. С. 6-12.

4. Кондратов Д. В., Могилевич Л. И.. Упругогидродинамика машин и приборов на транспорте. М.: РГОТУПС, 2007. 169 с.

5. Могилевич Л. И., Попов В. С., Христофорова А. В. Математические вопросы гидроупругости трехслойных элементов конструкций. Саратов: КУБиК, 2012. 123 с.

6. Кондратов Д. В., Кондратова Ю. Н., Могилевич Л. И. Исследование амплитудных частотных характеристик колебаний упругих стенок трубы кольцевого профиля при пульсирующем движении вязкой жидкости в условиях жесткого защемления по торцам // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2009. № 3. С. 15-21.

6. Могилевич Л. И., Попов В. С. Динамика взаимодействия упругого цилиндра со слоем вязкой несжимаемой жидкости // Известия РАН. Механика твердого тела. 2004. № 5. С. 179-190.

7. Гидроупругость трубы кольцевого профиля при воздействии вибрации при различных ее закреплениях / Кондратов Д. В., Кондратова Ю. Н., Могилевич Л. И., Плаксина И. В. // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 4. № 1. С. 29-37.

8. Математическое моделирование вынужденных колебаний гильзы цилиндра двигателя внутреннего сгорания / Епишкина И. Н., Могилевич Л. И., Попов В. С., Симдянкин А. А. // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2001. № 4. С. 19-26.

9. Кондратова Ю. Н., Кондратов Д. В., Могилевич Л. И. Гидроупругость трубопровода кольцевого профиля со свободным опиранием при воздействии вибрации // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 4. № 4 (62). С. 9-14.

10. Кондратов Д. В. Гидроупругость силового цилиндра с полым плунжером при свободном истечении жидкости // Аграрный научный журнал. 2008. № 1. С. 38-43.

11. Кондратов Д. В. Гидроупругость силового цилиндра с полым плунжером при отсутствии истечения жидкости // Аграрный научный журнал. 2007. № 6. С. 46-51.

УДК 517.958: 531.383:532.516

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХ СООСНЫХ ОБОЛОЧЕК, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ СО СЛОЯМИ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ

О. В. Елистратова*, Д. В. Кондратов*, И. В. Плаксина*, Л. И. Могилевич**

** Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, Россия, Саратов, KondratovDV@yandex.ru*

*** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов, mogilevich@sgu.ru*

Представлена задача гидроупругости для трех соосных цилиндрических оболочек конечной длины, свободно опертых на концах, взаимодействующих со слоями вязкой несжимаемой жидкости при воздействии давления.

Ключевые слова: гидроупругость, вязкая несжимаемая жидкость, три соосные оболочки

MODELLING OF THREE COAXIAL COVERS INTERACTING WITH LAYERS OF VISCOUS LIQUID

O. V. Elistratova*, D. V. Kondratov*, I. V. Plaksina*, L. I. Mogilevich**

** Russian academy of national economy and public service at the Russian President, Russia, Saratov, KondratovDV@yandex.ru*

*** Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov, mogilevich@sgu.ru*

Statement of problems of hydroelasticity for three coaxial cylindrical covers final length, with the free attaching at butt ends , interacting with layers of viscous incompressible liquid at influence of pressure is presented.

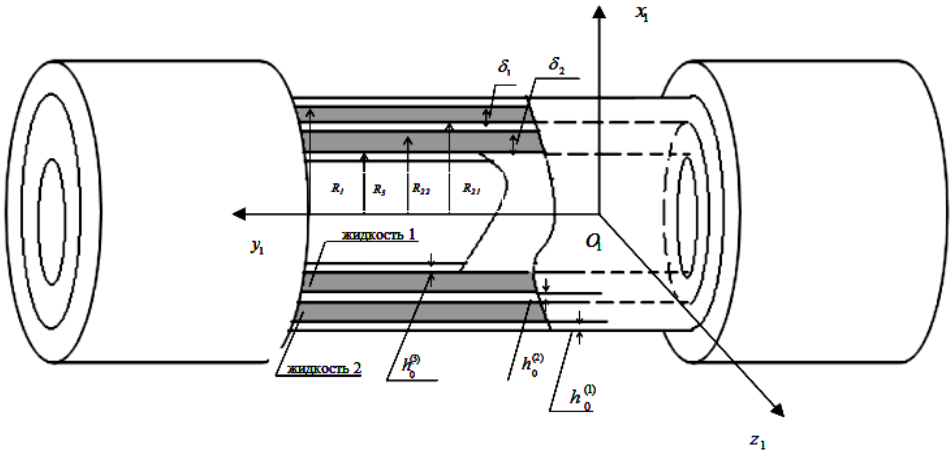
Keywords: hydroelasticity, viscous uncompressible liquid, three coaxial covers

Современный этап развития технических отраслей спровоцировал потребность в появлении и использовании конструкций с гораздо меньшим весом, но при этом достаточно прочных, способных выдерживать различные виды нагрузок. Ввиду этого в промышленности, автомобильном, авиационном и железнодорожном транспорте, ракетокосмических системах все чаще используются сложные механические системы, которые представлены оболочками цилиндрической формы, заключенными одна в другую, с находящийся между ними жидкостью.

В качестве примеров применения такой модели выступают плунжерная пара с полым плунжером, жидкостные ракетные двигатели (ЖРД), телескопические шасси [1-21]. В приведенных примерах необходимо заметить, что в такой модели ни одну из оболочек нельзя считать абсолютно жесткой, т.к. эти элементы должны быть достаточно тонкими по технологическим особенностям.

Обратимся к рассмотрению общей механической модели, представленной на рисунке.

Механическая система состоит из внешней оболочки 1, серединной оболочки 2 и внутренней оболочки 3. Данные оболочки являются упругими цилиндрическими оболочками. Между цилиндрическими оболочками располагается вязкая несжимаемая жидкость.



Механическая модель

Обозначим внутренний радиус внешней оболочки R_1, внешний радиус внутренней оболочки как R_3, а внешний и внутренний радиус серединной оболочки соответственно R_{21} и R_{22}. Крепление трех оболочек обеспечивает их свободное опирание. Поверхности соосных оболочек образуют цилиндр в цилиндре длиной l. Будем предполагать, что радиальные зазоры цилиндрических щелей δ_1 ,δ_2 значительно меньше внешнего радиуса внутренней оболочки, то есть $\delta_1 = R_1 - R_{21} << R_3$, $\delta_2 = R_{22} - R_3 << R_3$. К торцам механической системы приложено давление, гармонически изменяющееся по времени. Перемещение оболочек относительно друг друга отсутствует. Механическая система считается термостабилизированной.

Течение жидкостей между оболочками описывается уравнениями Навье-Стокса, которые в осесимметричном случае имеют вид [7, 12, 13]:

$$\frac{\partial V_k^{(i)}}{\partial t} + V_r^{(i)} \frac{\partial V_k^{(i)}}{\partial r} + V_y^{(i)} \frac{\partial V_k^{(i)}}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial k} + \nu \left(\frac{\partial^2 V_k^{(i)}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_k^{(i)}}{\partial r} + \frac{\partial^2 V_k^{(i)}}{\partial y^2} - \chi \frac{V_r^{(i)}}{r^2} \right),$$

$$\frac{\partial V_r^{(i)}}{\partial r} + \frac{V_r^{(i)}}{r} + \frac{\partial V_y^{(i)}}{\partial y} = 0. \qquad (1)$$

Здесь $k = r$ или y; $\chi = 1$ при $k = r$, $\chi = 0$ при $k = y$; $V_r^{(i)}$, $V_y^{(i)}$ – компоненты вектора скоростей жидкости; $\rho^{(i)}$ – плотность жидкости; $\nu^{(i)}$ – кинематический коэффициент вязкости; y – координата вдоль оси симметрии Oy; r – расстояние от оси Oy; t – время; $i = 1$ – слой жидкости между оболочкой 1 и оболочкой 2; $i = 2$ – слой жидкости между оболочкой 2 и оболочкой 3.

Граничные условия представляют собой условия прилипания жидкости к поверхностям оболочек и условия для давления на концах механической системы:

$$V_r = \partial u_3 / \partial t,\ V_y = -\partial u_1 / \partial t \ \text{ при } \ r = R_2 + \delta + u_3;$$

$$V_r = 0,\ V_y = 0 \ \text{ при } \ r = R_2;$$

$$p = p^+ \ \text{ при } \ y = l/2,\ p = p^- \ \text{ при } \ y = -l/2, \qquad (2)$$

где u_3 – прогиб внешней оболочки; u_1 – продольное перемещение оболочек.

Уравнение динамики оболочек, основанные на гипотезах Кирхгофа-Лява, запишутся в следующем виде:

$$\frac{\partial^2 u_1^{(i)}}{\partial y^2} + -\frac{\mu_0^{(i)}}{R^{(i)}}\frac{\partial u_3^{(i)}}{\partial y} = E^{(i)}\frac{1-\left(\mu_0^{(i)}\right)^2}{E^{(i)}h_0^{(i)}}\left[\rho_0^{(i)}h_0^{(i)}\frac{\partial^2 u_1^{(i)}}{\partial t^2} - G_1^{(i)}\right];$$

$$-\frac{\mu_0^{(i)}}{R^{(i)}}\frac{\partial u_1^{(i)}}{\partial y} + \frac{u_3^{(i)}}{R^{(i)}} + \left(a_0^{(i)}\right)^2\left[\left(R^{(i)}\right)^2\frac{\partial^4 u_3^{(i)}}{\partial y^4}\right] =$$

$$= \frac{1-\left(\mu_0^{(i)}\right)^2}{E^{(i)}h_0^{(i)}}\left[-\rho_0^{(i)}h_0^{(i)}\frac{\partial^2 u_3^{(i)}}{\partial t^2} + G_3^{(i)}\right], i = 1,2,3, \qquad (3)$$

где верхний индекс 1 относится к внешней оболочке, а индекс 2 – к средней оболочке и индекс 3 – к внутренней оболочке; – модуль Юнга, $\mu_0^{(i)}$ – коэффициент Пуассона, $\rho_0^{(i)}$ – плотность материала, $R^{(i)}$ – радиус срединной поверхности, $h_0^{(i)}$ – толщина оболочки.

Проекции абсолютного ускорения единицы площади срединной поверхности оболочек, имеют вид

$$G_1^{(1)} = q_s^{(1)},\ G_1^{(2)} = q_{s2}^{(2)} + q_{s1}^{(2)},\ G_1^{(3)} = q_3^{(3)},\ G_3^{(1)} = -q_n^{(1)},$$

$$G_3^{(2)} = q_{n2}^{(2)} - q_{n1}^{(2)},\ G_3^{(3)} = q_n^{(3)}, \qquad (4)$$

где q – напряжения на поверхностях оболочек со стороны слоя жидкости.

Граничные условия для перемещений оболочки состоят в условиях свободного опирания на торцах [7, 12, 13]:

$$\frac{\partial u_1^{(i)}}{\partial y} = 0,\ u_3^{(i)} = 0,\ \frac{\partial^2 u_3^{(i)}}{\partial y^2} = 0 \text{ при } y = \pm\frac{l}{2}. \qquad (5)$$

В итоге получаем математическую модель механической системы, состоящей из трех соосных упругих цилиндрических оболочек, взаимодействующих через слой вязкой несжимаемой жидкости при наличии перепада давления.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 16-01-00175-а, 15-01-01604-а.

Список литературы

1. Кондратов Д. В., Калинина А. В. Исследование процессов гидроупругости ребристой трубы кольцевого профиля при воздействии вибрации // Труды МАИ. 2014. № 78.

2. Могилевич Л. И., Попов В. С., Христофорова А. В. Математические вопросы гидроупругости трехслойных элементов конструкций. Саратов: КУБиК, 2012. 123 с.

3. Кондратова Ю. Н., Кондратов Д. В., Могилевич Л. И. Гидроупругость трубопровода кольцевого профиля со свободным опиранием при воздействии вибрации // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 4. № 4 (62). С. 9-14

4. Могилевич Л. И., Попов В. С. Динамика взаимодействия цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания и слоя охлаждающей жидкости // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2003. № 1. С. 79.

5. Кондратов Д. В., Кондратова Ю. Н., Могилевич Л. И. Исследование амплитудных частотных характеристик колебаний упругих стенок трубы кольцевого профиля при пульсирующем движении вязкой жидкости в условиях жесткого защемления по торцам // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2009. № 3. С. 15-21

6. Анциферов С. А., Кондратов Д. В., Могилевич Л. И. Возмущающие моменты в поплавковом гироскопе с упругим корпусом прибора на вибрирующем основании при несимметричном торцевом истечении // Известия РАН. Механика твердого тела. 2009. № 3. С. 25-35.

7. Кондратов Д. В., Могилевич Л. И. Упругогидродинамика машин и приборов на транспорте. М.: РГОТУПС, 2007, 169 с.

8. Башта Т. М. Машиностроительная гидравлика. М.:Машгиз, 1963. 696 с.

9. Кондратов Д. В. Гидродинамические силы, действующие на поплавок поплавкового гироскопа с упругим корпусом при несимметричном истечении жидкости в торцы // Авиакосмическое приборостроение. 2007. № 11. С. 4-11.

10. Задачи гидроупругости для трубы кольцевого сечения с упругой, геометрически нерегулярной внешней оболочкой при воздействии давления / Кондратов Д. В., Кондратова Ю. Н., Попов В. С., Плаксина И. В. // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2013. Т. 13. № 3. С. 70-76.

11. Математическое моделирование вынужденных колебаний гильзы цилиндра двигателя внутреннего сгорания / Епишкина И. Н., Могилевич Л. И., Попов В. С., Симдянкин А. А. // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2001. № 4. С. 19-26.

12. Кондратов Д. В. Гидроупругость силового цилиндра с полым плунжером при свободном истечении жидкости // Аграрный научный журнал. 2008. № 1. С. 38-43.

13. Кондратов Д. В., Кондратова Ю. Н., Могилевич Л. И Математическое моделирование ламинарного движения жидкости в упругой цилиндрической трубе кольцевого профиля со свободным опиранием по торцам // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2009. Т. 1. № 1. С. 33-40.

14. Динамика взаимодействия подвижных стенок плоского канала со сдавливаемым слоем жидкости, находящимся между ними / Агеев Р. В., Быкова Т. В., Могилевич Л. И., Попов В. С. // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2009. Т. 1. № 4. С. 7-13.

15. Кондратов Д. В., Могилевич Л. И. Возмущающие моменты в поплавковом гироскопе с упругим корпусом прибора на вибрирующем основании// Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. 2005. № 3. С. 11-21.

16. Кондратов Д. В. Гидроупругость силового цилиндра с полым плунжером при свободном истечении жидкости // Аграрный научный журнал. 2008. № 1. С. 38-43

17. Попова А. А. Математическое моделирование процессов взаимодействия вязкой жидкости с тонкостенными ребристыми элементами гидродинамических демпферов и трубопроводов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Саратов, 2008. 32 с.

18. Попова А. А. Математическое моделирование динамических процессов в виброопоре с упругими элементами конструкции // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2007. Т. 1. № 4. С. 25-31.

19. Кондратов Д. В., Могилевич Л. И. Математическое моделирование процессов взаимодействия двух цилиндрических оболочек со слоем жидкости между ними при отсутствии торцевого истечения в условия вибрации // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2007. Т. 3. № 2. С. 15-23.

21. Могилевич Л. И., Попова А. А. Динамическая задача гидроупругости виброопоры с упругой ребристой пластиной // Наука и техника транспорта. 2007. № 4. С. 55-61.

УДК 517.958:621.225:621.454

ГИДРОУПРУГОСТЬ РЕБРИСТОЙ ТРУБЫ С УПРУГОЙ ВНУТРЕННЕЙ ОБОЛОЧКОЙ ПРИ НАЛИЧИИ ВИБРАЦИИ

А. В. Калинина*, Д. В. Кондратов*, Ю. Н. Кондратова**, И. А. Ковалева***

** Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Россия, Саратов, KondratovDV@yandex.ru*

*** Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, Россия, Саратов, kondratovaun@mail.ru*

**** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов, irinakovaleva1406@gmail.com*

Рассмотрена механическая модель системы, представляющая собой трубу кольцевого профиля, образованную двумя поверхностями соосных цилиндрических оболочек, взаимодействующими с вязкой несжимаемой жидкостью, внешняя из которых является геометрически нерегулярной, а внутренняя – упругий гладкий цилиндр.

Ключевые слова: гидроупругость, геометрически нерегулярная оболочка, вязкая несжимаемая жидкость, соосные оболочки, вибрация

HYDROELASTICITY OF THE RIBBED PIPE WITH THE ELASTIC INTERNAL SHELL AT PRESENCE OF VIBRATION

A. V. Kalinina*, D. V. Kondratov*, J. N. Kondratova**, I. A. Kovaleva***
** Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Russia, Saratov, KondratovDV@yandex.ru*
*** Saratov State University, Russia, Saratov, kondratovaun@mail.ru*
**** Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov, irinakovaleva1406@gmail.com*

The mechanical model of system representing a pipe ring profile, organized is observed by two surfaces of coaxial elastic cylindrical shells interacting with viscous incompressible liquid, outer from which is geometrically irregular, inner shell- smooth elastic cylinder.

Keywords: hydroelasticity, geometrically irregular shell, viscous incompressible liquid, coaxial shell, vibration

В настоящее время для развития ресурсоэффективных технологий в строительном комплексе широко используются инженерные методы расчета строительных конструкций с целью минимизации веса несущих конструкций, а также обеспечения их надежности. Уменьшение веса строительных конструкций может быть достигнуто за счет применения нерегулярных внешних оболочек таких конструкций, а обеспечение надежности – за счет использования демпфирующей жидкости.

Одними из основных конструкций таких систем являются сложные механические системы, состоящие из двух цилиндрических оболочек, вложенных друг в друга, между которыми расположена жидкость. Примерами использования таких систем можно считать системы трубопроводов, где жидкость проходит по кольцевой трубе, а во внутренней трубе находится газ либо жидкость постоянного давления; также к ним можно отнести системы охлаждения и подогрева топлива жидкостных ракетных двигателей, системы смазки силовых гидроцилиндров, топливные системы летательных аппаратов [1-19].

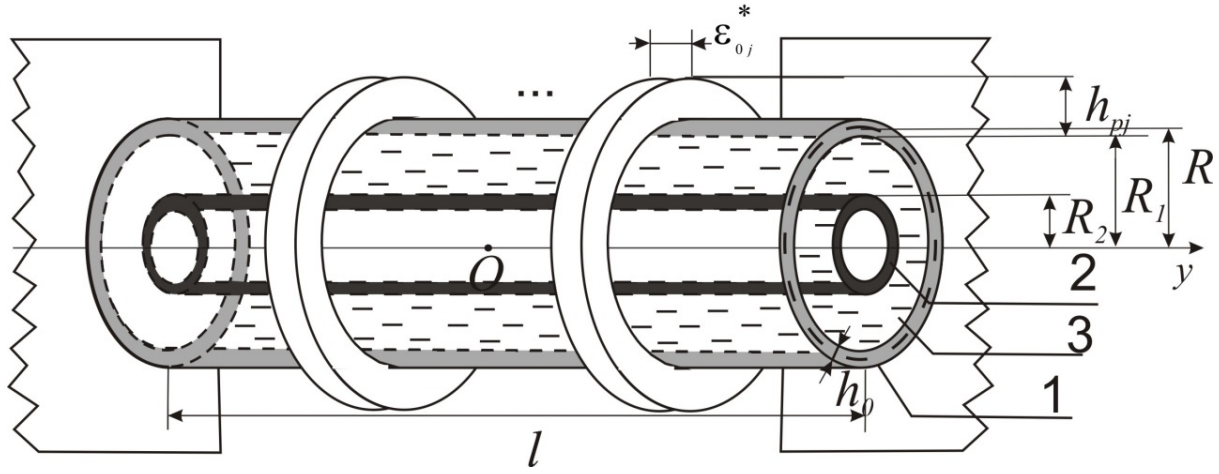
В процессе эксплуатации механическая система может подвергаться значительным вибрациям от различных источников. Наличие вибрации в общей системе может приводить к возникновению существенных колебаний трубопроводных систем. На резонансных частотах скорости упругих перемещений стенок трубопроводов будут максимальными, а это может приводить к появлению разрывов в жидкости и возникновению вибрационной кавитации в потоке жидкости и, как следствие, кавитационного износа стенок цилиндрических оболочек [2, 4, 8, 16, 19]. Вязкая несжимаемая жидкость, расположенная между элементами механической системы может использоваться как для их охлаждения, а также для демпфирования колебаний элементов конструкции.

Внешние тонкостенные оболочки, которые могут быть снабжены дополнительными ребрами жесткости в виде шпангоутов, что не только позволяет уменьшить вес конструкции, но и обеспечивает необходимую жесткость конструкции, устойчивость к различным вибрационным воздействиям, а также предоставляет возможность дополнительного крепления системы [1, 5-7, 12, 13, 18, 19].

На практике внутренняя оболочка не всегда может быть абсолютно жесткой, например, в двигателях внутреннего сгорания с водяным охлаждением или в

системах подогрева топлива авиационного и ракетного транспорта. Поэтому исследование динамики взаимодействия упругой геометрически нерегулярной цилиндрической внешней оболочки и упругой гладкой внутренней оболочки с вязкой несжимаемой жидкостью в условиях вибрации является важной задачей.

Рассмотрим модель механической системы, состоящую из двух упругих соосных цилиндрических оболочек, вложенных друг в друга, между которыми расположена вязкая несжимаемая жидкость ламинарного течения. Внешняя цилиндрическая оболочка является геометрически нерегулярной, внутренняя оболочка – геометрически регулярной (рисунок). Торцы внешней оболочки свободно опираются на опоры, перемещение внутренней оболочки относительно внешней на защемленных торцах отсутствует. Система является термостабилизированной. В системе присутствует внешний источник вибрации.



Модель механической системы

Математическая модель рассматриваемой механической системы представляет собой связанную систему уравнений, включающую нелинейные уравнения в частных производных Навье-Стокса и уравнение неразрывности, уравнений в частных производных для описания динамики внешней упругой ребристой цилиндрической оболочки, полученные исходя из гипотез Кирхгофа-Лява [6, 12] с использованием вариационного принципа Гамильтона, и соответствующие граничные условия. Для описания геометрически нерегулярных поверхностей оболочки использованы обобщённые функции Хевисайда, что позволило считать ребра жесткости конечной ширины, а не тонкими [6, 12, 13].

Решать задачу гидроупругости для ребристой трубы кольцевого профиля при наличии вибрации будем с учетом зависимости перемещений внешней оболочки от трех координат. Полученная связанная задача гидроупругости решается в безразмерных переменных методом возмущений в предположении гармонических закона перепада давления в системе. Для решения уравнений динамики внешней оболочки будем искать методом Бубнова-Галеркина, где форму перемещений упругой ребристой цилиндрической оболочки будем представлять в виде тригонометрического ряда по пространственной координате с коэффициентами, являющимися гармоническими функциями по времени. В результате получим итоговые выражения для прогибов внешней геометрически нерегулярной и внутренней геометрически регулярной оболочек и выражение для давления.

Предложенная математическая модель поможет исследовать динамику взаимодействия геометрически нерегулярной внешней и геометрически регулярной внутренней упругих соосных цилиндрических оболочек с жидкостью при наличии вибрации и определить причины изнашивания деталей строительных конструкций.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 16-01-00175-а, 15-01-01604-а.

Список литературы

1. Башта Т. М. Машиностроительная гидравлика. М.: Машгиз, 1963. 696 с.

2. Епишкина И. Н., Могилевич Л. И., Попов В. С., Симдянкин А. А. Математическое моделирование вынужденных колебаний гильзы цилиндра двигателя внутреннего сгорания // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2001. № 4. С. 19-26

3. Кондратов Д. В. Гидродинамические силы, действующие на поплавок поплавкового гироскопа с упругим корпусом при несимметричном истечении жидкости в торцы // Авиакосмическое приборостроение. 2007. № 11. С. 4-11.

4. Могилевич Л. И., Попов В. С. Динамика взаимодействия цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания и слоя охлаждающей жидкости // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2003. № 1. С. 79.

5. Могилевич Л. И., Попов В. С. Возмущающие моменты в поплавковом гироскопе с упругим корпусом поплавка, имеющим технологические ребра жесткости, на вибрирующем основании // Авиакосмическое приборостроение. 2006. № 5. С. 6-12.

6. Кондратов Д. В., Калинина А. В. Задачи гидроупругости для трубы кольцевого профиля с упругой, геометрически нерегулярной внешней оболочкой при наличии вибрации// Вестник Саратовского государственного технического университета. 2014. Т. 2. № 1. С. 117-122

7. Кондратов Д. В., Калинина А. В. Исследование процессов гидроупругости ребристой трубы кольцевого профиля при воздействии вибрации // Труды МАИ. 2014. № 78. С. 4.

8. Могилевич Л. И., Попов В. С. Динамика взаимодействия упругого цилиндра со слоем вязкой несжимаемой жидкости // Известия РАН. Механика твердого тела. 2004. № 5. С. 179.

9. Кондратов Д. В., Кондратова Ю. Н., Могилевич Л. И. Математическое моделирование ламинарного движения жидкости в упругой цилиндрической трубе кольцевого профиля со свободным опиранием по торцам // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2009. Т. 1. № 1. С. 33-40.

10. Кондратов Д. В., Кондратова Ю. Н., Могилевич Л. И. Исследование амплитудных частотных характеристик колебаний упругих стенок трубы кольцевого профиля при пульсирующем движении вязкой жидкости в условиях жесткого защемления по торцам// Проблемы машиностроения и надежности машин. 2009. № 3. С. 15-21

11. Динамика взаимодействия подвижных стенок плоского канала со сдавливаемым слоем жидкости, находящимся между ними / Агеев Р. В., Быкова Т. В., Могилевич Л. И., Попов В. С. // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2009. Т. 1. № 4. С. 7-13.

12. Задачи гидроупругости для трубы кольцевого сечения с упругой, геометрически нерегулярной внешней оболочкой при воздействии давления / Кондратов Д. В., Кондратова Ю. Н., Попов В. С., Плаксина И. В. // Известия Саратовского университета. Новая серия. Сер. Математика. Механика. Информатика. 2013. Т. 13. № 3. С. 70-76.

13. Попов В. С. Колебания ребристой оболочки, окруженной слоем вязкой несжимаемой жидкости // Аграрный научный журнал. 2003. № 4. С. 47.

14. Кондратов Д. В., Могилевич Л. И. Математическое моделирование процессов взаимодействия двух цилиндрических оболочек со слоем жидкости между ними при отсутствии торцевого истечения в условия вибрации // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2007. Т. 3. № 2. С. 15-23.

15. Кондратов Д. В., Могилевич Л. И. Возмущающие моменты в поплавковом гироскопе с упругим корпусом прибора на вибрирующем основании// Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. 2005. № 3. С. 11-21.

16. Кондратов Д. В., Могилевич Л. И. Упругогидродинамика машин и приборов на транспорте. М.: РГОТУПС, 2007, 169 с.

17. Плаксина И. В., Кондратов Д. В., Кузнецова Е. Л. Гидроупругость геометрически нерегулярной оболочки, содержащей слой вязкой жидкости и упругий цилиндр, в условиях гармонического давления // Сборник научных трудов Sworld. 2013. Т. 6. № 4. С. 17-20.

18. Кондратов Д. В., Плаксина И. В. Гидроупругость геометрически нерегулярной трубы кольцевого профиля при воздействии гармонического перепада давления // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 4. № 1. С. 25-28.

19. Кондратова Ю. Н., Кондратов Д. В., Могилевич Л. И. Гидроупругость трубопровода кольцевого профиля со свободным опиранием при воздействии вибрации // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 4. № 4 (62). С. 9-14.

УДК 517.958:621.225:621.454

ДИНАМИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ ОБОЛОЧКИ С ПУЛЬСИРУЮЩИМ ТОНКИМ СЛОЕМ ВЯЗКОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ

Д. В. Кондратов*, С. А. Куликова*, В. С. Попов **, Д. Д. Старостин*

** Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Россия, Саратов, KondratovDV@yandex.ru*

*** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов, vic_p@bk.ru*

Рассмотрена механическая модель системы, представляющая собой трубу кольцевого профиля, образованную двумя поверхностями соосных цилиндрических оболочек, взаимодействующими с вязкой несжимаемой жидкостью, внешняя из которых является геометрически нелинейной, а внутренняя – абсолютно жесткий цилиндр.

Ключевые слова: гидроупругость, геометрически нелинейная оболочка, вязкая несжимаемая жидкость, соосные оболочки, пульсация давления

DYNAMICS OF INTERACTING OF GEOMETRICALLY NONLINEAR SHELL WITH THE PULSING THIN LAYER OF VISCOUS INCOMPRESSIBLE LIQUID

D. V. Kondratov*, S. A. Kulikova*, V. S. Popov**, D. D. Starostin*

** Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Russia, Saratov, KondratovDV@yandex.ru*

*** Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov, vic_p@bk.ru*

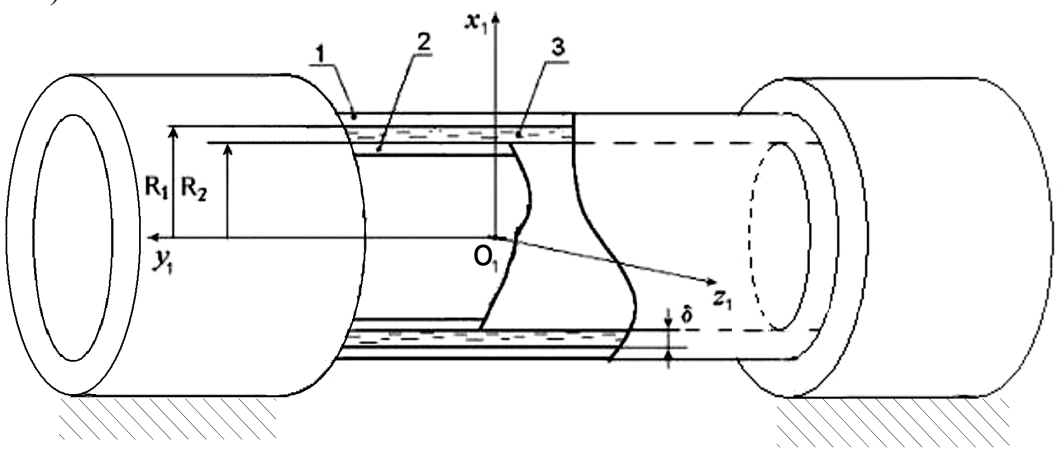
The mechanical model of system representing a pipe ring profile, organized is observed by two surfaces of coaxial elastic cylindrical shells interreacting with viscous incompressible liquid, exterior from which is geometrically irregular, inner shell- absolutly rigid cylinder.

Keywords: hydroelasticity, geometrically nonlinear shell, viscous incompressible liquid, coaxial shell, pulsating pressure

В промышленности, автомобильном, авиационном и железнодорожном транспорте, ракетокосмических системах используются сложные механические системы, которые могут быть описаны как соосные цилиндрические оболочки, взаимодействующие с вязкой несжимаемой жидкостью. В качестве примеров применения такой модели выступают плунжерная пара с полым плунжером, жидкостные ракетные двигатели (ЖРД), телескопические шасси и многие другие [1-21].

Рассмотрим модель механической системы, состоящую из двух соосных цилиндрических оболочек, вложенных друг в друга, между которыми расположе-

на вязкая несжимаемая жидкость. Внешняя цилиндрическая оболочка является геометрически нелинейной, внутренняя оболочка – абсолютно жесткий цилиндр (рисунок).



Модель механической системы

Предполагается, что внешняя оболочка 1 – упругая геометрически нелинейная цилиндрическая оболочка с внутренним радиусом R_1 и свободным опиранием по торцам. Внутренняя оболочка 2, с внешним радиусом R_2 – абсолютно жесткий цилиндр. Зазор между стенками оболочек 2 и 1 полностью заполнен жидкостью 3. Наружная поверхность внешней оболочки и поверхность внутренней оболочки образуют цилиндр в цилиндре длиной l_2. Радиальный зазор цилиндрической щели $\delta = R_1 - R_2 << R_2$. На систему действуют гармонически меняющееся по времени на торцах давление жидкости. Перемещение внутренней оболочки относительно внешней на торцах отсутствует. Механическая система считается термостабилизированной.

Течение жидкости между оболочками осесимметричное и описывается уравнениями механики жидкости в цилиндрической системе координат [16]:

$$\frac{\partial V_r}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} + V_y \frac{\partial V_r}{\partial y} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial r} + \nu\left(\frac{\partial^2 V_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial V_r}{\partial r} - \frac{V_r}{r^2} + \frac{\partial^2 V_r}{\partial y^2}\right),$$

$$\frac{\partial V_y}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_y}{\partial r} + V_y \frac{\partial V_y}{\partial y} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y} + \nu\left(\frac{\partial^2 V_y}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial V_y}{\partial r} + \frac{\partial^2 V_y}{\partial y^2}\right), \qquad (1)$$

$$\frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{V_r}{r} + \frac{\partial V_y}{\partial y} = 0.$$

Здесь V_y, V_r – компоненты вектора скорости жидкости; ρ – плотность жидкости; ν – кинематический коэффициент вязкости; y – координата вдоль оси симметрии Oy; r – расстояние от оси Oy; t – время.

Граничные условия представляют собой условия прилипания жидкости к поверхностям оболочек и условия для давления на концах механической системы [14, 16]:

$$V_r = \frac{\partial u_3}{\partial t},\ V_y = -\frac{\partial u_1}{\partial t} \text{ при } r = R_2 + \delta + u_3;\ V_r = 0,\ V_y = 0 \text{ при } r = R_2,$$

$$p = p^+ \text{ при } y = l/2,\ p = p^- \text{ при } y = -l/2, \qquad (2)$$

где u_3 – прогиб оболочки; u_1 – продольное перемещение оболочки.

Уравнения динамики геометрически нелинейной оболочки для осесимметричной задачи записываются в виде [22]:

$$\frac{Eh_0}{1-\mu_0^2}\frac{\partial}{\partial y}\left\{\frac{\partial u_1}{\partial y}+\frac{1}{2}\left[\left(\frac{\partial u_1}{\partial y}\right)^2+\left(\frac{\partial u_3}{\partial y}\right)^2\right]+\frac{h_0^2}{24}\left(\frac{\partial^2 u_3}{\partial y^2}\right)^2-\mu_0\frac{u_3}{R}\right\}-\rho_0 h_0\frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2}=-q_s$$

$$\frac{Eh_0}{1-\mu_0^2}\left\langle\frac{h_0^2}{12}\frac{\partial^2}{\partial y^2}\left[\frac{\partial^2 u_1}{\partial y^2}\left(1+\frac{\partial u_1}{\partial y}\right)\right]-\right.$$

$$-\frac{\mu_0}{R}\left\{\frac{\partial u_1}{\partial y}+\frac{1}{2}\left[\left(\frac{\partial u_1}{\partial y}\right)^2+\left(\frac{\partial u_3}{\partial y}\right)^2\right]+\frac{h_0^2}{24}\left(\frac{\partial^2 u_3}{\partial y^2}\right)^2\right\}+\frac{u_3}{R}- \qquad (4)$$

$$\left.-\frac{\partial u_3}{\partial y}\left\{\frac{\partial u_1}{\partial y}+\frac{1}{2}\left[\left(\frac{\partial u_1}{\partial y}\right)^2+\left(\frac{\partial u_3}{\partial y}\right)^2\right]+\frac{h_0^2}{24}\left(\frac{\partial^2 u_3}{\partial y^2}\right)^2-\mu_0\frac{u_3}{R}\right\}\right\rangle+\rho_0 h_0\frac{\partial^2 u_3}{\partial t^2}=-q_n.$$

где q_s, q_n – напряжения со стороны жидкости, находящейся внутри кольцевого сечения.

Граничные условия для перемещений оболочки состоят в условиях свободного опирания на торцах:

$$\frac{\partial u_1^{(i)}}{\partial y}=0,\ u_3^{(i)}=0,\ \frac{\partial^2 u_3^{(i)}}{\partial y^2}=0 \text{ при } y=\pm l/2. \qquad (5)$$

Таким образом, получим математическую модель механической системы, состоящей из соосных цилиндрических оболочек, внешняя из которых является геометрически нелинейной, а внутренняя – абсолютно жесткий цилиндр, взаимодействующих с тонким слоем вязкой несжимаемой жидкости, находящейся между ними.

Работа выполнено при поддержке грантов РФФИ 16-01-00175-а, 15-01-01604-а.

Список литературы

1. Башта Т.М. Машиностроительная гидравлика. М.: Машгиз, 1963. 696 с.

2. Епишкина И.Н., Могилевич Л.И., Попов В.С., Симдянкин А.А. Математическое моделирование вынужденных колебаний гильзы цилиндра двигателя внутреннего сгорания // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2001. № 4. С. 19-26

3. Кондратов Д.В. Гидродинамические силы, действующие на поплавок поплавкового гироскопа с упругим корпусом при несимметричном истечении жидкости в торцы // Авиакосмическое приборостроение. 2007. № 11. С. 4-11.

4. Могилевич Л.И., Попов В.С. Динамика взаимодействия цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания и слоя охлаждающей жидкости // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2003. № 1. С. 79-87

5. Кондратова Ю. Н., Кондратов Д. В., Могилевич Л. И. Гидроупругость трубопровода кольцевого профиля со свободным опиранием при воздействии вибрации// Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 4. № 4 (62). С. 9-14

6. Кондратов Д. В. Гидроупругость силового цилиндра с полым плунжером при отсутствии истечения жидкости // Аграрный научный журнал. 2007. № 6. С. 46-51.

7. Кондратов Д. В., Калинина А. В. Исследование процессов гидроупругости ребристой трубы кольцевого профиля при воздействии вибрации // Труды МАИ. 2014. № 78. С. 4.

8. Могилевич Л. И., Попов В. С. Динамика взаимодействия упругого цилиндра со слоем вязкой несжимаемой жидкости // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. 2004. № 5. С. 179.

9. Кондратов Д. В., Кондратова Ю. Н., Могилевич Л. И. Математическое моделирование ламинарного движения жидкости в упругой цилиндрической трубе кольцевого профиля со свободным опиранием по торцам // Вестник СГТУ. 2009. Т. 1. № 1. С. 33-40.

10. Кондратов Д. В., Кондратова Ю. Н., Могилевич Л. И. Исследование амплитудных частотных характеристик колебаний упругих стенок трубы кольцевого профиля при пульсирующем движении вязкой жидкости в условиях жесткого защемления по торцам// Проблемы машиностроения и надежности машин. 2009. № 3. С. 15-21

11. Агеев Р. В., Быкова Т. В., Могилевич Л. И., Попов В. С. Динамика взаимодействия подвижных стенок плоского канала со сдавливаемым слоем жидкости, находящимся между ними // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2009. Т. 1. № 4. С. 7-13.

12. Кондратов Д. В., Кондратова Ю. Н., Попов В. С., Плаксина И. В. Задачи гидроупругости для трубы кольцевого сечения с упругой, геометрически нерегулярной внешней оболочкой при воздействии давления // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2013. Т. 13. № 3. С. 70-76.

13. Кондратов Д. В. Гидроупругость силового цилиндра с полым плунжером при свободном истечении жидкости // Аграрный научный журнал. 2008. № 1. С. 38-43

14. Распространение волн деформации в двух упругих цилиндрических оболочках, между которыми находится вязкая жидкость / Блинкова А. Ю., Ковалева И. А., Могилевич Л. И., Попов В. С. // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 4. № 1. С. 7-12.

15. Кондратов Д. В., Могилевич Л. И. Возмущающие моменты в поплавковом гироскопе с упругим корпусом прибора на вибрирующем основании // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. 2005. № 3. С. 11-21.

16. Кондратов Д. В., Могилевич Л. И. Упругогидродинамика машин и приборов на транспорте. М.: РГОТУПС, 2007, 169 с

17. Плаксина И. В., Кондратов Д. В., Кузнецова Е. Л. Гидроупругость геометрически нерегулярной оболочки, содержащей слой вязкой жидкости и упругий цилиндр, в условиях гармонического давления // Сборник научных трудов Sworld. 2013. Т. 6. № 4. С. 17-20.

18. Кондратов Д. В., Плаксина И. В. Гидроупругость геометрически нерегулярной трубы кольцевого профиля при воздействии гармонического перепада давления// Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 4. № 1. С. 25-28.

19. Могилевич Л. И., Попов В. С. Возмущающие моменты в поплавковом гироскопе с упругим корпусом поплавка, имеющим технологические ребра жесткости, на вибрирующем основании // Авиакосмическое приборостроение. 2006. № 5. С. 6-12.

20. Попова А. А. Математическое моделирование процессов взаимодействия вязкой жидкости с тонкостенными ребристыми элементами гидродинамических демпферов и трубопроводов: автореф. дис. … канд. техн. наук. Саратов, 2008. 32 с.

21. Попова А. А. Математическое моделирование динамических процессов в виброопоре с упругими элементами конструкции // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2007. Т. 1. № 4. С. 25-31.

22. Кондратов Д. В., Могилевич Л. И. Математическое моделирование процессов взаимодействия двух цилиндрических оболочек со слоем жидкости между ними при отсутствии торцевого истечения в условия вибрации // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2007. Т. 3. № 2. С. 15-23.

УДК 533.6.01:534

ГИДРОУПРУГОСТЬ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЫ, УСТАНОВЛЕННОЙ НА ВИБРИРУЮЩЕМ ОСНОВАНИИ

Р. В. Агеев*, Л. И. Могилевич*, В. С. Попов**, А. А. Попова**

** Поволжский филиал московского государственного университета путей сообщения, Россия, Саратов, r255@mail.ru, mogilevich@sgu.ru*

*** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов, vic_p@bk.ru, anay_p@bk.ru*

Рассмотрена динамика взаимодействия трехслойной пластины с тонким слоем вязкой несжимаемой жидкости. Пластина является стенкой канала, заполненного вязкой жидкостью и установленного на вибрирующем основании. Задача рассмотрена в плоской постановке для режима установившихся гармонических колебаний.

Ключевые слова: гидроупругость, вибрация, трехслойная пластина, вязкая жидкость

HYDROELASTICITY OF SANDWICH PLATE INSTALLED ON OSCILLATING FOUNDATION

R. V. Ageev*, L. I. Mogilevich**, V. S. Popov**, A. A. Popova**

** Volga region branch of Moscow state university of communication means Russia, Saratov, r255@mail.ru, mogilevich@sgu.ru*

*** Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov, vic_p@bk.ru, anay_p@bk.ru*

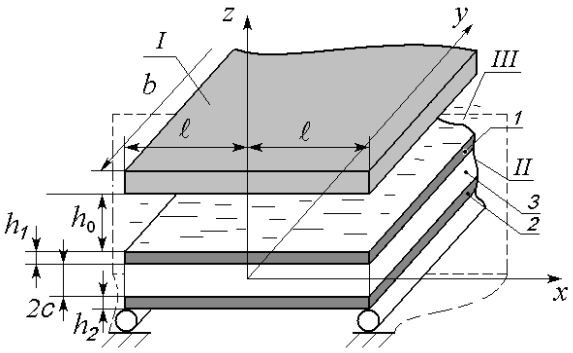
The interaction dynamics of sandwich plate with a thin layer of viscous incompressible fluid was investigated. The plate forms the wall of channel that filled with a viscous liquid. The channel is installed on oscillating foundation. The problem is set up in a flat stating for the steady-state harmonic oscillations regime.

Keywords: hydroelasticity, vibrations, sandwich plate, viscous liquid

На сегодняшний день проблемы гидроупругости однородных пластин и оболочек, взаимодействующих со слоем вязкой жидкости, достаточно хорошо изучены в работах [1-15]. Исследование динамики взаимодействия трехслойных пластин со слоем вязкой жидкости представляет теоретический интерес, а его результаты имеют важное практическое значение в связи с широким внедрением многослойных элементов конструкций в различные изделия. Задачи статики и динамики трехслойных пластин достаточно хорошо изучены, сошлемся здесь на обзоры, приведенные в [16]. Работ по гидроупругости трехслойных пластин при их взаимодействии с вязкой жидкостью крайне мало. Например, к данным работам можно отнести [17, 18].

Рассмотрим плоский канал (см. рисунок), состоящий из: абсолютно жесткой стенки I и упругой трехслойной пластины II, между которыми находится слой вязкой несжимаемой жидкости III. На торцах канала справа и слева имеются торцевые полости (показаны пунктиром), заполненные той же жидкостью. Давление жидкости в торцевых полостях постоянное p_0, а истечение жидкости в эти полости свободное. Толщина жидкости в канале h_0. Основание канала совершает гармонические колебания в вертикальной плоскости. Длина пластины b значительно больше ее ширины 2ℓ. Трехслойная пластина II – пакет, набранный из несущих слоев 1, 2 толщиной h_1 и h_2 и легкого несжимаемого заполнителя 3 толщиной $2c$.

Для несущих слоев справедливы гипотезы Кирхгофа, а в несжимаемом легком заполнителе нормаль остается прямолинейной, однако поворачивается на угол φ. На торцах пакета имеются жесткие диафрагмы, препятствующие относительному сдвигу слоев, но не мешающие деформированию из своей плоскости [16-18]. На торцах пластина соединена с вибрирующим основанием жесткой заделкой, а ее прогибы считаются малыми.



Канал с упругой трехслойной стенкой, установленный на вибрирующем основании

Математическая модель рассматриваемого канала представляет собой систему, включающую: уравнения Навье-Стокса, уравнение неразрывности для вязкой несжимаемой жидкости [2, 15, 17], уравнения динамики трехслойной пластины с несжимаемым заполнителем [16, 17] и соответствующие им граничные условия. В качестве граничных условий выступают условия прилипания жидкости к стенкам канала, условия свободного торцевого истечения жидкости, а также условия жесткого защемления трехслойной пластины на торцах.

Введем в рассмотрение безразмерные переменные и малые параметры:

$$\zeta = (z - c - h_1)/h_0,\ \xi = x/\ell,\ \tau = \omega t,\ w = w_m W,\ u = u_m U,\ \varphi = \varphi_m \Phi,\ V_z = w_m \omega U_\zeta,$$
$$V_x = w_m \omega \psi^{-1} U_\xi,\ p = p_0 + \rho w_m \omega (h_0 \psi^2)^{-1} P - \rho \ddot{z}_0 (z - h_0 - h_1 - c), \qquad (1)$$
$$\Delta P = \Delta p \delta_0 \psi^2 (z_{1m} \rho \nu \omega)^{-1},\ \lambda = w_m / h_0 << 1,\ \psi = h_0/\ell << 1,$$

где p – давление; ρ, ν – плотность и кинематический коэффициент вязкости жидкости; V_x, V_z – проекции скорости движения жидкости; ψ – относительная толщина слоя жидкости; λ – относительная амплитуда прогиба пластины; ω – частота колебаний; t – время, w_m, u_m, φ_m – амплитуды упругих перемещений и угла поворота заполнителя в трехслойной пластине, $\ddot{z}_0$ – ускорение основания.

Подставляя (1) в уравнения движения жидкости, трехслойной пластины и соответствующие им граничные условия, записали их в безразмерном виде с точностью до ψ. Решение полученной задачи гидроупругости проводим методом возмущений по малому параметру λ: $U_\xi = U_{\xi 0} + \lambda U_{\xi 1} + \cdots$, $U_\zeta = U_{\zeta 0} + \lambda U_{\zeta 1} + \cdots$, $P_\zeta = P_{\zeta 0} + \lambda P_{\zeta 1} + \cdots$. В нулевом приближении по λ получили уравнения динамики тонкого слоя жидкости и прогиба пластины [7, 18, 20]

$$\frac{\omega h_0^2}{\nu}\frac{\partial U_{\xi 0}}{\partial \tau} = -\frac{\partial P_0}{\partial \xi} + \frac{\partial^2 U_{\xi 0}}{\partial \zeta^2},\ \frac{\partial P_0}{\partial \zeta} = 0,\ \frac{\partial U_{\xi 0}}{\partial \xi} + \frac{\partial U_{\zeta 0}}{\partial \zeta} = 0, \qquad (2)$$

$$w_m \frac{1}{\ell^4}(a_4 - a_7 b_1 - a_3 b_2)\frac{\partial^4 W}{\partial \xi^4} + m_0\left[\omega^2 w_m \frac{\partial^2 W}{\partial \tau^2} + \ddot{z}_0\left(1 + \frac{\rho h_0}{m_0}\right)\right] = -p_0 - \frac{\rho \nu\, w_m\, \omega}{h_0 \psi^2} P_0 \qquad (3)$$

и соответствующие им граничные условия задачи [2, 15, 17, 18]

$U_{\xi 0}=0,\ U_{\zeta 0}=0$ при $\zeta=1;\ U_{\xi 0}=0,\ U_{\zeta 0}=\partial W/\partial\tau$ при $\zeta=0;$

$P=0$ при $\xi=-1,\ P=0$ при $\xi=1;\ W=0, \partial W/\partial\xi=0$ при $\xi=\pm 1.$ (4)

Здесь $m_0,\ a_1,...,a_7,\ b_1=\dfrac{a_2 a_7-a_3 a_6}{a_1 a_2-a_6^2},\ b_2=\dfrac{a_1 a_3-a_7 a_6}{a_1 a_2-a_6^2},$ – коэффициенты, определенные в [17]. Решая уравнения динамики жидкости, определили давление в виде

$$P_0=\int_{\xi}^{1}\iint\left(2\varepsilon^2\alpha(\omega)\frac{\partial^2 W}{\partial\tau^2}+12\gamma(\omega)\frac{\partial W}{\partial\tau}\right)d\xi d\xi+\frac{1}{2}(\xi-1)\int_{-1}^{1}\iint\left(2\varepsilon^2\alpha(\omega)\frac{\partial^2 W}{\partial\tau^2}+12\gamma(\omega)\frac{\partial W}{\partial\tau}\right)d\xi d\xi \quad (5)$$

где $\varepsilon^2\alpha,\gamma$ – коэффициенты, определенные в [2, 15, 17, 18].

Решение уравнения (3) с учетом краевых условий (4) ищем в виде

$$W=1/\sqrt{2}\sum_{k=1}^{\infty}(R_k(\tau)+R_k^0)\left(\cos(\alpha_k\xi)/\cos(\alpha_k)-\mathrm{ch}(\alpha_k\xi)/\mathrm{ch}(\alpha_k)\right), \quad (6)$$

где R_k^0 – постоянные коэффициенты; $R_k(\tau)$ – гармоническая функция времени τ; α_k – корни трансцендентного уравнения $\mathrm{tg}\alpha_k+\mathrm{th}\alpha_k=0$.

Учитывая (5), (6) в (3), затем вычисляя интегралы и раскладывая функции продольной координаты в ряды по выбранной системе ортонормированных функций получим обыкновенное дифференциальное уравнение. Приравнивая в левой и правой частях данного уравнения коэффициенты при одинаковых ортонормированных функциях продольной координаты и ограничиваясь в разложениях n членами ряда, получаем выражение для определения R_n^0 и систему линейных обыкновенных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами для определения $R_n(\tau)$. Из данной системы находим функции времени $R_n(\tau)$ и определяем закон изменения прогиба пластины в зависимости от закона движения основания. Используя найденные коэффициенты R_n^0 и функции времени $R_n(\tau)$, а также выражения (5), (6), можно получить и размерные выражения для давления и прогибов трехслойной пластины.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 14-01-31064-мол-а, 15-01-01604-а.

Список литературы

1. Математическое моделирование механической системы «трубопровод – датчик давления» / А. В. Анкилов, П. А. Вельмисов, Ю. В. Покладова, В. Д. Горбоконенко. Ульяновск, 2008.

2. Могилевич Л. И., Попов В. С. Прикладная гидроупругость в машино- и приборостроении. Саратов: Саратовский ГАУ, 2003. 156 с.

3. Математическое моделирование вынужденных колебаний гильзы цилиндра двигателя внутреннего сгорания / И. Н. Епишкина, Л. И. Могилевич, В. С. Попов, А. А. Симдянкин // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2001. № 4. С. 19-26.

4. Анкилов А. В., Вельмисов П. А. Исследование устойчивости решений некоторых классов начально-краевых задач аэрогидроупругости // Вестник Национального исследовательского ядерного университета МИФИ. 2014. Т. 3. № 6. С. 661.

5. Могилевич Л. И., Попов В. С., Попова А. А. Динамика взаимодействия упругих элементов вибромашины со сдавливаемым слоем жидкости, находящимся между ними // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2010. № 4. С. 23-32.

6. Могилевич Л. И., Попова А. А., Попов В. С. Динамика взаимодействия упругой цилиндрической оболочки с ламинарным потоком жидкости внутри нее применительно к трубопроводному транспорту // Наука и техника транспорта. 2007. № 2. С. 64-72.

7. Могилевич Л. И., Попов В. С., Попова А. А. Колебания гильзы цилиндра двигателя внутреннего сгорания с водяным охлаждением под действием ударных нагрузок со стороны поршневой группы // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2008. № 3. С. 100-106.

8. Попова А. А. Математическое моделирование динамических процессов в виброопоре с упругими элементами конструкции // Вестник СГТУ. 2007. Т. 1. № 4. С. 25-31.

9. Попов В. С., Попова А. А. Исследование гидроупругих колебаний стенок плоского канала при инерционном возбуждении // Сборник научных трудов Sworld. 2013. Т. 3. № 3. С. 77-79.

10. Агеев Р. В., Попов В. С., Попова А. А. Математическое моделирование взаимодействия подвижной стенки канала с пульсирующим слоем вязкой жидкости // Сборник научных трудов Sworld. 2014. Т. 29. № 2. С. 23-25.

11. Могилевич Л. И., Попова А. А. Динамическая задача гидроупругости виброопоры с упругой ребристой пластиной // Наука и техника транспорта. 2007. № 4. С. 55-61.

12. Попов В. С., Попова А. А., Волов М. И. Математическое моделирование взаимодействия ламинарного пульсирующего потока с цилиндрической ребристой оболочкой, по которой он движется // Совершенствование методов гидравлических расчетов водопропускных и очистных сооружений. 2010. № 1 (36). С. 51-66.

13. Попова А. А. Математическое моделирование процессов взаимодействия вязкой жидкости с тонкостенными ребристыми элементами гидродинамических демпферов и трубопроводов: автореф. дис. … канд. техн. наук. Саратов, 2008. 32 с.

14. Кондратов Д. В., Могилевич Л. И. Возмущающие моменты в поплавковом гироскопе с упругим корпусом прибора на вибрирующем основании // Известия РАН. Механика твердого тела. 2005. №3. С. 11-21.

15. Кондратов Д. В., Могилевич Л. И. Упругогидродинамика машин и приборов на транспорте. М.: РГОТУПС, 2007. 168 с

16. Горшков А. Г., Старовойтов Э. И., Яровая А. В. Механика слоистых вязкоупругопластических элементов конструкций. М.: Физматлит, 2005. 576 с.

17. Могилевич Л. И., Попов В. С., Христофорова А. В. Математические вопросы гидроупругости трехслойных элементов конструкций. Саратов: КУБиК, 2012. 123 с.

18. Агеев Р. В., Могилевич Л. И., Попов В. С. Колебания стенок щелевого канала с вязкой жидкостью, образованного трехслойным и твердым дисками // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2014. № 1. С. 3-11.

УДК 681.03.06:531.383:532.516

ДИНАМИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УПРУГОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕРЕГУЛЯРНОЙ ПЛАСТИНЫ СО СЛОЕМ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ И АБСОЛЮТНО ТВЕРДЫМ ПОДВИЖНЫМ ВИБРАТОРОМ ОПОРЫ

Т. В. Быкова*, Е. Д. Быкова**, Л. И. Могилевич*

** Поволжский филиал московского государственного университета путей сообщения, Россия, Саратов, tbykova69@mail.ru, mogilevich@sgu.ru*

*** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов, katenok.09041992@gmail.com*

Исследование посвящено разработке математических моделей гидроупругости ребристых тонкостенных конструкций, взаимодействующих с пульсирующим слоем вязкой несжимаемой жидкости, и исследованию на их основе динамики демпферов (виброопор).

Ключевые слова: виброускорение, вязкая несжимаемая жидкость, упругие геометрически нерегулярные конструкции, закон пульсации давления

THE INTERACTION DYNAMICS OF ELASTIC GEOMETRICALLY IRREGULAR PLATE WITH A LAYER OF VISCOUS FLUID AND AN MOVABLE ABSOLUTELY RIGID VIBRATOR OF SUPPORT

T. V. Bykova*, E. D. Bykova **, L. I. Mogilevich*

** Volga region branch of Moscow state university of communication means, Russia, Saratov, tbykova69@mail.ru, mogilevich@sgu.ru*

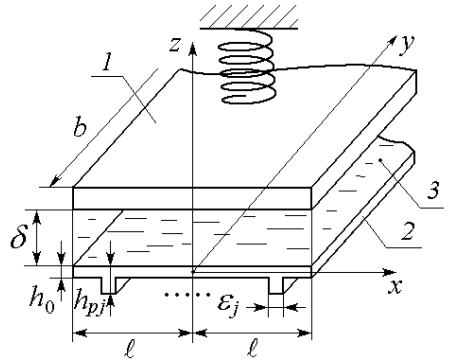
*** Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov, katenok.09041992@gmail.com*

The study focused on hydroelastic mathematical models of finned thin-walled structures, interacting with pulsating layer of a viscous incompressible fluid, and the study on the basis of their dynamics dampers (shock mounts).

Keywords: vibration acceleration, viscous incompressible fluid, elastic geometrically irregular structure, the law of pressure pulsation

Исследование динамики взаимодействия пульсирующего потока жидкости с упругими элементами конструкции является актуальным для современного машино- и приборостроения, а его результаты имеют важное практическое значение для расчета и анализа работы ряда систем и объектов новой техники [1-18]. В предлагаемой работе исследуется динамика упругой геометрически нерегулярной конструкции, взаимодействующей с жидкостью, в составе опоры.

Гидродинамическая опора (демпфер), условно представленная на рисунке, состоит из абсолютно жесткого тела 1 – вибратора опоры, который имеет ширину 2ℓ и длину $b >> 2\ell$ и упругой ребристой, прямоугольной в плане, пластины – статора 2 опоры. Вибратор совершает колебания по гармоническому закону в вертикальной плоскости. При этом частота его колебаний ω, а амплитуда колебаний вибратора z_m.



Внутренняя поверхность пластины, находящаяся в контакте с жидкостью, является плоской, а внешняя поверхность имеет n ребер жесткости. Ребра расположены параллельно стороны b пластины. Толщина статора на участках, где отсутствуют ребра жесткости, равна h_o. Высота j-го ребра равна h_{pj}, а его ширина ε_j;. Статор на торцах имеет шарнирное опирание. Вязкая несжимаемая жидкость 3 полностью заполняет щелевой зазор между абсолютно твердым вибратором и упругим геометрически нерегулярным статором. При этом в жидкости, находящейся в щелевом зазоре, и вне его поддерживается постоянный уровень давления p_0. Средняя величина щелевого зазора (средняя толщина слоя жидкости в опоре) равна δ_0. На торцах сторон b имеются торцевые уплотнители, и истечение жидкости через эти торцы отсутствует. При этом предполагается, что на торцах 2ℓ сторон торцевые уплотнители отсутствуют, и жидкость из щелевых зазоров вдоль сторон 2ℓ (вдоль оси x) может свободно истекать в окружающую жидкость, постоянный уровень давления в которой равен p_0. Кроме того, на левом и правом торце считаются заданными законы пульсации давления над постоянным уровнем p_0.

Вибратор имеет подвес (например, магнитный или на пружине), который обладает упругой жесткостью. Опора находится под воздействием виброускорения (т.е. считается установленной на вибрирующем основании). Вследствие этого возбуждение колебаний вибратора происходит за счет воздействия пульсации давления и переносного виброускорения.

Учитывая, что $b>>2l$ и рассматривая плоскую задачу, вводили декартову систему координат $Oxyz$, связанную с координатной поверхностью статора, и следующие безразмерные переменные и малые параметры:

$$\zeta = \frac{z - h_0/2}{\delta_0}, \xi = \frac{x}{\ell}, \tau = \omega t, V_z = z_m \omega U_\zeta, V_x = \frac{z_m \omega}{\psi} U_\xi, V_y = 0, \quad W = w_m U_3, U = u_m U_1,$$
$$p = p_0 + p_1(\tau) - \rho \ddot{z}_0 (z - \delta_0 - \frac{h_0}{2} - z_m f_z(\omega t)) + P \frac{\rho \nu z_m \omega}{\delta_0 \psi^2} \quad (1)$$

где $\psi = \frac{\delta_0}{\ell} << 1$ – относительная толщина слоя жидкости; $\lambda = \frac{z_m}{\delta_0} << 1$ – относительная амплитуда колебаний вибратора; δ_0 – средняя толщина слоя жидкости в зазоре; V_x, V_z – компоненты скорости жидкости; w_m, u_m – амплитуды упругих перемещений пластины; ρ, ν – плотность и коэффициент кинематической вязкости жидкости.

Поставленная задача гидроупругости ребристой пластины включает:

– уравнения динамики слоя жидкости

$$\frac{\omega \delta_0^2}{\nu}\left[\frac{\partial U_\xi}{\partial \tau} + \lambda\left(U_\xi \frac{\partial U_\xi}{\partial \xi} + U_\zeta \frac{\partial U_\xi}{\partial \zeta}\right)\right] = -\frac{\partial P}{\partial \xi} + \psi^2 \frac{\partial^2 U_\xi}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 U_\xi}{\partial \zeta^2},$$
$$\psi^2 \frac{\omega \delta_0^2}{\nu}\left[\frac{\partial U_\zeta}{\partial \tau} + \lambda\left(U_\xi \frac{\partial U_\zeta}{\partial \xi} + U_\zeta \frac{\partial U_\zeta}{\partial \zeta}\right)\right] = -\frac{\partial P}{\partial \zeta} + \psi^2\left[\psi^2 \frac{\partial^2 U_\zeta}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 U_\zeta}{\partial \zeta^2}\right], \frac{\partial U_\xi}{\partial \xi} + \frac{\partial U_\zeta}{\partial \zeta} = 0, \quad (2)$$

– уравнение динамики упругого геометрически нерегулярного статора

$$\frac{E h_0^3 w_m}{12(1-\mu_0^2)\ell^4}\left\{\frac{\partial^4 U_3}{\partial \xi^4} + \frac{\partial^2 U_3}{\partial \xi^2}\sum_{j=1}^{n} k_{3j} \frac{\varepsilon_j}{\ell} \delta_j''(\xi - \xi_j)\right\} =$$
$$- \rho_0 h_0 \omega^2 w_m \left(\frac{\partial^2 U_3}{\partial \tau^2} + \frac{\ddot{z}_0}{w_m \omega^2}\right)\left[1 + \sum_{j=1}^{n} k_{1j} \frac{\varepsilon_j}{\ell} \delta_j(\xi - \xi_j)\right] + \quad (3)$$
$$+ \left(\rho \delta_0 \ddot{z}_0 (\lambda \frac{w_m}{z_m} U_3 - 1 - \lambda f_z(\tau)) - p_0 - \frac{\rho \nu z_m \omega}{\delta_0 \psi^2} P\right),$$

– уравнение движения вибратора:

$$m_1(\ddot{z}_0 + \ddot{z}) + n_1 z = 2\ell b[p_0 + p_1] + \frac{\ell b \rho \nu z_m \omega}{\delta_0 \psi^2} \int_{-1}^{1} P d\xi \quad (4)$$

– выражение для силы, действующей на вибратор со стороны жидкости

$$N_3 = 2\ell b[p_0 + p_1] + \frac{\rho \nu z_m \omega}{\delta_0 \psi^2} \int_0^b \int_{-1}^{1} P \ell d\xi dy, \quad (5)$$

где m_1 – масса вибратора; n_1 – коэффициент жесткости подвеса вибратора; N_3 – сила, действующая на вибратор со стороны слоя жидкости при $\zeta = 1 + \lambda f_z(\tau)$.

В качестве граничных условий задачи выступают:

– условия прилипания жидкости к вибратору и пластине

$$U_\xi = 0, U_\zeta = \frac{df_z(\tau)}{d\tau} \text{ при } \zeta = 1 + \lambda f_z(\tau), U_\xi = \psi \frac{u_m}{z_m} \frac{\partial U_1}{\partial \tau}, U_\zeta = \frac{w_m}{z_m} \frac{\partial U_3}{\partial \tau} \text{ при } \zeta = \lambda \frac{w_m}{z_m} U_3, \quad (6)$$

– условия свободного торцевого истечения жидкости на торцах:

$$P = 0 \text{ при } \xi = \pm 1; \quad (7)$$

– условия шарнирного опирания плоской ребристой пластины на торцах :

$$U_3 = 0, \quad \frac{\partial^2 U_3}{\partial \xi^2} = 0 \quad \text{при } \xi = 1; \; U_3 = 0, \quad \frac{\partial^2 U_3}{\partial \xi^2} = 0 \quad \text{при } \xi = -1. \quad (8)$$

Выражение для напряжения в пластине:

$$\sigma_x = \frac{E \cdot z}{1-\nu^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}, \tag{9}$$

В ходе решения поставленной задачи гидроупругости (1)-(9) исследовались вынужденные установившиеся колебания стенок канала. Решение динамических задач гидроупругости геометрически нерегулярной пластины-статора гидродинамической опоры при заданных гармонических законах движения основания канала и пульсации давления жидкости на торцах проводится методом возмущений по малому параметру λ, т.е. представляется в виде асимптотического разложения

$$P = P_0 + \lambda P_1 + \cdots,\ U_\xi = U_{\xi 0} + \lambda U_{\xi 1} + \cdots,\ U_\zeta = U_{\zeta 0} + \lambda U_{\zeta 1} + \cdots,\ U_3 = U_{30} + \lambda U_{31} + \cdots. \tag{10}$$

Подставим разложения (10) в уравнения динамики сдавливаемого слоя жидкости, уравнения динамики упругого геометрически нерегулярного статора, в граничные условия для скоростей на непроницаемых поверхностях вибратора и статора со снесением их на невозмущенную поверхность, в граничные условия для давления на торцах, в выражения для нормального напряжения, действующего на статор, и в граничные условия шарнирного опирания статора на торцах. Для рассматриваемой задачи искомые функции давления и проекций скорости движения жидкости могут быть представлены в виде гармонических функций по времени с коэффициентами, зависящими от соответствующих координат $T_0 = A_T \cos\tau + B_T \sin\tau$. Здесь под T_0 понимаются P_0, $U_{\xi 0}$, $U_{\zeta 0}$, U_{30} коэффициенты A_T, B_T для P_0 и U_{30} зависят только от ξ, для $U_{\xi 0}$, $U_{\zeta 0}$ они зависят от ξ и ζ. Проводя решение уравнений с учетом граничных условий, получено выражение для гидродинамического давления в слое вязкой несжимаемой жидкости

$$P_0 = \frac{1}{2}\left(\xi^2 - 1\right)\left[2\varepsilon^2\alpha\frac{d^2 f_z}{d\tau^2} + 12\gamma\frac{df_z}{d\tau}\right] + + \frac{w_m}{z_m}\int_{\xi}^{1}\int_{0}^{\xi}\left(2\varepsilon^2\alpha\frac{\partial^2 U_{30}}{\partial\tau^2} + 12\gamma\frac{\partial U_{30}}{\partial\tau}\right)d\xi d\xi + \tag{11}$$

$$+ \frac{1}{2}(\xi - 1)\frac{w_m}{z_m}\int_{-1}^{1}\int_{0}^{\xi}\left(2\varepsilon^2\alpha\frac{\partial^2 U_{30}}{\partial\tau^2} + 12\gamma\frac{\partial U_{30}}{\partial\tau}\right)d\xi d\xi$$

где $\alpha(\omega)$, $\gamma(\omega)$ – частотозависимые коэффициенты.

Форму прогиба ребристого статора представим в виде ряда по нормальным формам колебаний

$$W = w_m U_{30} = w_m \sum_{k=1}^{\infty}\left(\left(R_k^0 + R_k(\tau)\right)\cos\frac{2k-1}{2}\pi\xi\right). \tag{12}$$

После подстановки (11), (12) в уравнения движения ребристой пластины (3) и вибратора (4) с учетом заданных законов вибрации основания и пульсаций давления на торцах $z_0 = E_z f_0(\tau) = E_z \sin(\tau + \varphi_0)$, $p_1 = p_m f_p(\tau) = p_m \sin(\tau + \varphi_p)$, были найдены законы движения вибратора и ребристой пластины

$$z = z^{(0)} + z^{(1)} = \frac{2lb}{n_1}\left[p_0 + p_m\left[Q_{pc}\frac{df_p}{d\tau} + Q_{ps}f_p\right]\right] + E_z\left(Q_{0c}\frac{df_0}{d\tau} + Q_{0s}\frac{d^2 f_0}{d\tau^2}\right), \tag{13}$$

$$w = w_m \sum_{k=1}^{n}\cos\frac{2k-1}{2}\pi\xi\left\{\frac{\ell^4 p_0}{Dw_m}\frac{Det_k}{DetA_n} + \frac{z_m}{w_m}\left[A_k^{(n)}\frac{df_z}{d\tau} + B_k^{(n)}\frac{d^2 f_z}{d\tau^2}\right] + \right.$$

$$\left. + \frac{l^4 p_m}{Dw_m}\left[A_{pk}^{(n)}\frac{df_p}{d\tau} + B_{pk}^{(n)} f_p\right] + \frac{E_z}{w_m}\left[A_{0k}^{(n)}\frac{df_0}{d\tau} + B_{0k}^{(n)}\frac{d^2 f_0}{d\tau^2}\right]\right\} \tag{14}$$

где D – коэффициент, характеризующий жесткость ребристой пластины.

Выражения для Det_k, $DetA_n$, $A_{0k}^{(n)}$, $B_{0k}^{(n)}$, $A_k^{(n)}$, $B_k^{(n)}$, $A_{pk}^{(n)}$, $B_{pk}^{(n)}$, Q_{0c}, Q_{0s}, Q_{pc}, Q_{ps} не приведены ввиду их громоздкости.

Найденные законы движения вибратора и прогиба ребристой пластины позволяют исследовать напряженно-деформированное состояние пластины, давление в жидкости, перемещения вибратора и определить резонансные частоты колебаний в рассматриваемой механической системе применительно к гидроопорам, гидродемпферам, системам смазки и охлаждения.

Список литературы

1. Могилевич Л. И., Попов В. С. Прикладная гидроупругость в машино- и приборостроении. Саратов: Изд-во Сарат. гос. агр. ун-та им. Н. И. Вавилова, 2003. 156 с.
2. Аэрогидроупругость конструкций / Горшков А. Г., Морозов В. И., Пономарев А. Т., Шклярчук Ф .Н. М.: Физматлит, 2000. 591 с.
3. Кондратов Д. В., Могилевич Л. И. Упругогидродинамика машин и приборов на транспорте. М.: РГОТУПС, 2007. 169 с.
4. Akcabay D. T., Young Y. L., Hydroelastic Response and Energy Harvesting Potential of Flexible Piezoelectric Beams in Viscous Flow // Physics of Fluids. 2012, Vol.24. Iss. 5.
5. Могилевич Л. И., Попов В. С., Христофорова А. В. Математические вопросы гидроупругости трехслойных элементов конструкций. Саратов: КУБиК, 2012. 123 с.
6. Попов В. С. Динамическая задача гидроупругости виброопоры с пластиной, подкрепленной ребрами жесткости // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2008. Т. 3. № 1. С. 7-13.
7. Попов В. С. Колебания ребристой оболочки, окруженной слоем вязкой несжимаемой жидкости // Аграрный научный журнал. 2003. № 4. С. 47.
8. Кондратов Д. В., Калинина А. В. Исследование процессов гидроупругости ребристой трубы кольцевого профиля при воздействии вибрации// Труды МАИ. 2014. № 78.
9. Попова А. А. Математическое моделирование процессов взаимодействия вязкой жидкости с тонкостенными ребристыми элементами гидродинамических демпферов и трубопроводов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Саратов, 2008. 32 с.
10. Попова А. А. Математическое моделирование динамических процессов в виброопоре с упругими элементами конструкции // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2007. Т. 1. № 4. С. 25-31.
11. Могилевич Л. И., Попова А. А. Динамическая задача гидроупругости виброопоры с упругой ребристой пластиной // Наука и техника транспорта. 2007. № 4. С. 55-61.
12. Могилевич Л. И., Попова А. А., Попов В. С. Динамика взаимодействия упругой цилиндрической оболочки с ламинарным потоком жидкости внутри нее применительно к трубопроводному транспорту // Наука и техника транспорта. 2007. № 2. С. 64-72.
13. Могилевич Л. И., Попов В. С., Попова А. А. Колебания гильзы цилиндра двигателя внутреннего сгорания с водяным охлаждением под действием ударных нагрузок со стороны поршневой группы // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2008. № 3. С. 100-106.
14. Могилевич Л. И., Попов В. С., Попова А.А. Динамика взаимодействия упругих элементов вибромашины со сдавливаемым слоем жидкости, находящимся между ними // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2010. № 4. С. 23-32.
15. Движение вязкой жидкости в плоском канале, образованном вибрирующим штампом и шарнирно опертой пластиной / Агеев Р. В., Могилевич Л. И., Попов В. С., Попова А. А. // Труды МАИ. 2014. Вып. 78. С. 6.
16. Попов В. С., Попова А. А., Волов М. И. Математическое моделирование взаимодействия ламинарного пульсирующего потока с цилиндрической ребристой оболочкой, по которой он движется // Совершенствование методов гидравлических расчетов водопропускных и очистных сооружений. 2010. № 1 (36). С. 51-66.
17. Агеев Р. В., Попов В. С., Попова А. А. Математическое моделирование взаимодействия подвижной стенки канала с пульсирующим слоем вязкой жидкости // Сборник научных трудов Sworld. 2014. Т. 29. № 2. С. 23-25.
18. Попов В. С., Попова А. А. Исследование гидроупругих колебаний стенок плоского канала при инерционном возбуждении // Сборник научных трудов Sworld. 2013. Т. 3. № 3. С. 77-79.

УДК 533.6.01:534

КОЛЕБАНИЯ ДВУХ ПЛАСТИН, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ С ЛАМИНАРНЫМ ПУЛЬСИРУЮЩИМ СЛОЕМ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ

Р. В. Агеев*, Л. И. Могилевич*, В. С. Попов**

** Поволжский филиал московского государственного университета путей сообщения, Россия, Саратов, r255@mail.ru, mogilevich@sgu.ru*

*** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов, vic_p@bk.ru*

Рассмотрена динамика взаимодействия двух пластин с тонким слоем вязкой несжимаемой жидкости. Пластины являются стенками щелевого канала, в котором движется ламинарным пульсирующим потоком жидкость. Задача рассмотрена в плоской постановке для режима установившихся гармонических колебаний.

Ключевые слова: гидроупругость, вязкая несжимаемая жидкость, пластина, пульсация давления, колебания

TWO PLATES OSCILLATIONS INTERACTING WITH LAMINAR PULSATING LAYER OF VISCOUS LIQUID

R. V. Ageev*, L. I. Mogilevich*, V. S. Popov**

** Volga region branch of Moscow state university of communication means Russia, Saratov, r255@mail.ru, mogilevich@sgu.ru*

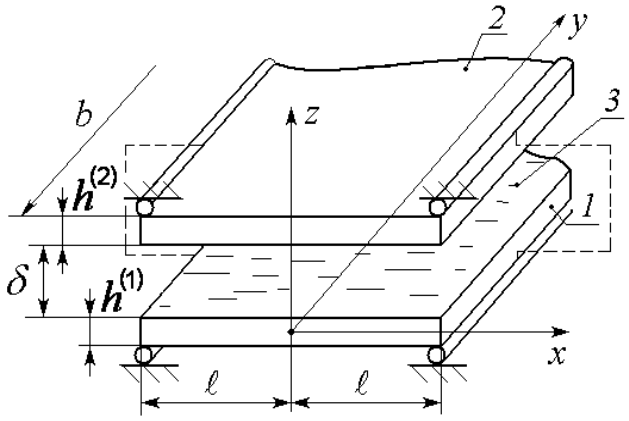
*** Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov, vic_p@bk.ru*

The interaction dynamics of two plates with a thin layer of viscous incompressible fluid was investigated. Plates form walls of channel, in which laminar pulsating fluid flow is moved. The problem is set up in a flat stating for the steady-state harmonic oscillations regime.

Keywords: hydroelasticity, viscous incompressible liquid, plate, pulsation pressure fluctuations, oscillations

Исследование взаимодействия стенок канала со слоем вязкой несжимаемой жидкости первоначально рассматривалось в предположении твердых стенок в рамках гидродинамической теории смазки [1]. В [2] осуществлен учет конвективных членов инерции, а в [3] – локального члена инерции методом осреднения. В [4-11] рассмотрены плоские задачи с учетом инерции движения тонкого слоя жидкости и упругой податливости одной из стенок канала как однородной пластины, в том числе подкрепленной ребрами жесткости, или как трехслойной пластины. В [12-17] рассмотрены задачи взаимодействия жидкости с упругими цилиндрическими оболочками, в том числе применительно к двигателям внутреннего сгорания и приборам навигации.

Рассмотрим щелевой канал, образованный двумя параллельными упругими пластинами *1* и *2*, между которыми движется тонкий ламинарный пульсирующий слой вязкой несжимаемой жидкости *3* (см. рисунок). Пластины *1* и *2* шарнирно оперты на торцах. Толщина нижней пластины $h^{(1)}$, а толщина верхней пластины $h^{(2)}$. Принимая, что $b >> 2\ell$, считаем пластины бесконечно большими и переходим к рассмотрению плоской задачи. Прогибы пластин значительно меньше, чем зазор между ними. Величина зазора между пластинами δ, а на торцах жидкость свободно истекает в ту же жидкость, находящуюся в торцевых полостях, где поддерживаются постоянные уровни давления $p_0 + \Delta p$ и p_0, а кроме того, гармонически пульсирующее давление $p_1 = p_m \sin(\omega t)$.



Плоский канал, образованный двумя параллельными пластинами

Свяжем декартову систему координат *Oxyz* с невозмущенной срединной поверхностью пластины *1* и введем следующие безразмерные переменные и малые параметры задачи:

$$\psi=\frac{\delta_0}{\ell}<<1,\ \lambda^{(i)}=\frac{w_m^{(i)}}{\delta_0}<<1,\ \zeta=\frac{z-0{,}5h^{(1)}}{\delta_0},\ \xi=\frac{x}{\ell},\ \tau=\omega t,\ w^{(i)}=w_m^{(i)}W^{(i)},$$
$$V_z=w_m^{(2)}\omega U_\zeta,\ V_x=U_\xi\, w_m^{(2)}\omega/\psi,\ \delta=\delta_0+w_m^{(2)}W^{(2)},\ \Delta P=\Delta p\,\delta_0\psi^2(w_m^{(2)}\rho\nu\omega)^{-1}, \quad (1)$$
$$p=p_0+p_1(\tau)+P\nu\rho w_m^{(2)}\omega\psi^{-2}/\delta_0,$$

где $i=1,2$ для пластин *1* и *2*; $w_m^{(i)}$ – амплитуды прогибов пластин; δ_0 – средняя толщина слоя жидкости; ω – частота колебаний; V_x, V_z – компоненты скорости жидкости; ν – кинематический коэффициент вязкости жидкости; ρ – плотность жидкости.

С учётом (1) поставлена следующая задача, включающая:

– уравнения движения тонкого слоя жидкости (с точностью до ψ)

$$\frac{\omega\delta_0^2}{\nu}\left[\frac{\partial U_\xi}{\partial\tau}+\lambda\left(U_\xi\frac{\partial U_\xi}{\partial\xi}+U_\zeta\frac{\partial U_\xi}{\partial\zeta}\right)\right]=-\frac{\partial P}{\partial\xi}+\frac{\partial^2U_\xi}{\partial\zeta^2},\ \frac{\partial P}{\partial\zeta}=0,\ \frac{\partial U_\xi}{\partial\xi}+\frac{\partial U_\zeta}{\partial\zeta}=0, \quad (2)$$

– уравнения колебаний упругих пластин (балок-полосок)

$$D^{(i)}\ell^{-4}w_m^{(i)}\frac{\partial^4W^{(i)}}{\partial\xi^4}+\rho_0^{(i)}h^{(i)}\omega^2w_m^{(i)}\frac{\partial^2W^{(i)}}{\partial\tau^2}=q_{zz}^{(i)}, \quad (3)$$

где $i=1,2$ для пластин-стенок канала *1* и *2*; $E^{(i)}$ – модуль Юнга, $\mu_0^{(i)}$ – коэффициент Пуассона, $\rho_0^{(i)}$ – плотность материала пластин; $D^{(i)}=E^{(i)}(h^{(i)})^3(12(1-(\mu_0^{(i)})^2))^{-1}$;

$q_{zz}^{(2)}=p_0+p_1(\tau)+\rho\nu\, w_m^{(2)}\,\omega\delta_0^{-1}\psi^{-2}P$ при $\zeta=1+\lambda^{(2)}W^{(2)}$;

$q_{zz}^{(1)}=-p_0-p_1(\tau)-\rho\nu\, w_m^{(2)}\,\omega\delta_0^{-1}\psi^{-2}P$ при $\zeta=\lambda^{(1)}W^{(1)}$.

Граничные условия уравнений (2)-(3) имеют вид [4-11, 17]

$$U_\xi=0, U_\zeta=\frac{\partial W^{(2)}}{\partial\tau}\ \text{при}\ \zeta=1+\lambda^{(2)}W^{(2)},\ U_\xi=0, U_\zeta=\frac{w_m^{(1)}}{w_m^{(2)}}\frac{\partial W^{(1)}}{\partial\tau}\ \text{при}\ \zeta=\lambda^{(1)}W^{(1)},$$
$$P=\Delta P\ \text{при}\ \xi=-1,\ P=0\ \text{при}\ \xi=1;\ W^{(i)}=\frac{\partial^2W^{(i)}}{\partial\xi^2}=0\ \text{при}\ \xi=\pm1. \quad (4)$$

Учитывая, что $\lambda^{(i)}=o(1)$, $w_m^{(1)}/w_m^{(2)}=O(1)$, т.к. $w_m^{(i)}<<\delta_0$, решение задачи представим в виде асимптотического разложения по малым параметрам $\lambda^{(2)}$ и

$\lambda^{(1)} = \lambda^{(2)} w_m^{(1)} / w_m^{(2)}$: $P = P_0 + \lambda^{(2)} P_1 + O((\lambda^{(2)})^2)$, $U_\xi = U_{\xi 0} + \lambda^{(2)} U_{\xi 1} + O((\lambda^{(2)})^2)$, $U_\zeta = U_{\zeta 0} + \lambda^{(2)} U_{\zeta 1} + O((\lambda^{(2)})^2)$. В [3, 5, 9, 18] показано, что при рассмотрении динамики взаимодействия тонких слоев вязкой жидкости с твердыми и упругими телами имеют место задачи о регулярных возмущениях, поэтому далее ограничимся первым членом разложения.

В нулевом приближении по $\lambda^{(2)}$ произведена линеаризация задачи гидроупругости и ее решение определяем в виде гармонических функций по времени с коэффициентами, зависящими от координат $T_0 = A_T \cos\tau + B_T \sin\tau$. Под T_0 понимаются P_0, $U_{\xi 0}$, $U_{\zeta 0}$, коэффициенты A_T, B_T для P_0 зависят только от ξ, для $U_{\xi 0}$, $U_{\zeta 0}$ они зависят от ξ и ζ. В результате найдено давление в ламинарном движущемся тонком слое жидкости

$$P_0 = \int_1^\xi \iint \left(\left(\omega \delta_0^2 \nu^{-1} \alpha \frac{\partial^2}{\partial \tau^2} \left[W^{(2)} - \frac{w_m^{(1)}}{w_m^{(2)}} W^{(1)} \right] + 12\gamma \frac{\partial}{\partial \tau} \left[W^{(2)} - \frac{w_m^{(1)}}{w_m^{(2)}} W^{(1)} \right] \right) \right) d\xi d\xi - \tag{5}$$

$$- ((\xi - 1)/2) \int_{-1}^{1} \iint \left(\omega \delta_0^2 \nu^{-1} \alpha \frac{\partial^2}{\partial \tau^2} \left[W^{(2)} - \frac{w_m^{(1)}}{w_m^{(2)}} W^{(1)} \right] + 12\gamma \frac{\partial}{\partial \tau} \left[W^{(2)} - \frac{w_m^{(1)}}{w_m^{(2)}} W^{(1)} \right] \right) d\xi d\xi + \frac{\Delta P}{2} (1 - \xi),$$

где α, γ – частотозависимые коэффициенты, совпадающие с найденными в [4, 5, 9].

Учитывая граничные условия, форму прогибов пластин принимаем в виде рядов по тригонометрическим функциям продольной координаты

$$w^{(i)} = w_m^{(i)} W^{(i)} = w_m^{(i)} \sum_{k=1}^{\infty} \left(R_k^{(i)0} + R_k^{(i)}(\tau) \right) \cos \frac{(2k-1)\pi\xi}{2} + Q_k^{(i)0} \sin k\pi\xi, \tag{6}$$

где верхний индекс 0 означает решение, соответствующее постоянному уровню перепада давления Δp.

Учитывая (5), (6) в (3) и вычисляя интегралы, а также раскладывая оставшиеся члены уравнений в ряды по выбранной системе тригонометрических функций, получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений. Приравнивая в левой и правой частях данных уравнений коэффициенты при одинаковых тригонометрических функциях продольной координаты, получаем систему алгебраических уравнений для определения $R_k^{(i)0}, Q_k^{(i)0}$ и систему линейных обыкновенных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами для определения $R_k^{(i)}(\tau)$. Из данных систем, ограничиваясь конечным числом членов разложения n, можно найти искомые коэффициенты $R_k^{(i)0}, Q_k^{(i)0}$ и функции $R_k^{(i)}(\tau)$, а затем определить законы изменения прогибов пластин в зависимости от заданного закона пульсации давления жидкости в торцевых полостях.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 14-01-31064-мол-а и № 15-01-01604а.

Список литературы

1. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. М.: Дрофа, 2003. 840 с.

2. Слезкин Н. А. Динамика вязкой несжимаемой жидкости. М.: Гостехиздат, 1955. 520 с.

3. Андрейченко К. П. Динамика поплавковых гироскопов и акселерометров. М.: Машиностроение, 1987. 126 с.

4. Могилевич Л. И. Динамика взаимодействия сдавливаемого слоя вязкой несжимаемой жидкости с упругой трехслойной пластиной // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. 2008. №5. С. 114-123.

5. Могилевич Л. И., Попов В. С., Христофорова А. В. Математические вопросы гидроупругости трехслойных элементов конструкций. Саратов: КУБиК, 2012. 123 с.

6. Динамика взаимодействия подвижных стенок плоского канала со сдавливаемым слоем жидкости, находящимся между ними / Агеев Р. В., Быкова Т. В., Могилевич Л. И., Попов В. С. // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2009. Т. 1. № 4. С. 7-13.

7. Динамическая задача гидроупругости виброопоры с пластиной, подкрепленной ребрами жесткости // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2008. Т. 3. № 1. С. 7-13.

8. Могилевич Л. И., Попов В. С., Попова А. А. Динамика взаимодействия упругих элементов вибромашины со сдавливаемым слоем жидкости, находящимся между ними // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2010. №4. С. 23-32.

9. Могилевич Л. И., Попов В. С. Исследование взаимодействия слоя вязкой несжимаемой жидкости со стенками канала, образованного соосными вибрирующими дисками // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. 2011. №3. С. 55–68.

10. Математическая модель движения пульсирующего слоя вязкой жидкости в канале с упругой стенкой / Агеев Р. В., Кузнецова Е. Л., Куликов Н .И., Могилевич Л. И., Попов В. С. // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2014. № 3. С. 17-35.

11. Агеев Р. В., Могилевич Л. И., Попов В. С. Колебания стенок щелевого канала с вязкой жидкостью, образованного трехслойным и твердым дисками // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2014. № 1. С. 3-11.

12. Математическое моделирование вынужденных колебаний гильзы цилиндра двигателя внутреннего сгорания / Епишкина И. Н., Могилевич Л. И., Попов В. С., Симдянкин А. А. // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2001. № 4. С. 19-26.

13. Могилевич Л. И., Попов В. С. Динамика взаимодействия цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания и слоя охлаждающей жидкости // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2003. № 1. С. 79.

14. Могилевич Л. И., Попов В. С. Динамика взаимодействия упругого цилиндра со слоем вязкой несжимаемой жидкости // Известия РАН. Механика твердого тела. 2004. № 5. С. 179-190.

15. Попов В. С. Колебания ребристой оболочки, окруженной слоем вязкой несжимаемой жидкости // Аграрный научный журнал. 2003. № 4. С. 47.

16. Могилевич Л. И., Попов В. С. Возмущающие моменты в поплавковом гироскопе с упругим корпусом поплавка, имеющим технологические ребра жесткости, на вибрирующем основании // Авиакосмическое приборостроение. 2006. № 5. С. 6-12.

17. Аэрогидроупругость конструкций / Горшков А. Г., Морозов В. И., Пономарев А. Т., Шклярчук Ф. Н.. М.: Физматлит, 2000. 591 с.

18. Коновалов С. Ф. Теория виброустойчивости акселерометров. М.: Машиностроение, 1991. 272 с.

УДК 533.6.01:534

КОЛЕБАНИЯ КРУГЛЫХ ПЛАСТИН, МЕЖДУ КОТОРЫМИ НАХОДИТСЯ ПУЛЬСИРУЮЩИЙ СЛОЙ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ

Л. И. Могилевич*, В. С. Попов**, А. А. Попова**

** Поволжский филиал московского государственного университета путей сообщения, Россия, Саратов, r255@mail.ru*

*** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов, vic_p@bk.ru*

Рассмотрена динамика взаимодействия двух круглых пластин с тонким слоем вязкой несжимаемой жидкости. Пластины являются стенками щелевого канала, заполненного вязкой жидкостью. Колебания пластин вызваны пульсацией давления на контуре канала. Задача рассмотрена в осесимметричной постановке для режима установившихся гармонических колебаний.

Ключевые слова: гидроупругость, вязкая несжимаемая жидкость, пластина, пульсация давления, колебания

TWO PLATES OSCILLATIONS INTERACTING WITH LAMINAR PULSATING LAYER OF VISCOUS LIQUID

L. I. Mogilevich*, V. S. Popov**, A. A. Popova**

** Volga region branch of Moscow state university of communication means Russia, Saratov, mogilevich@sgu.ru*

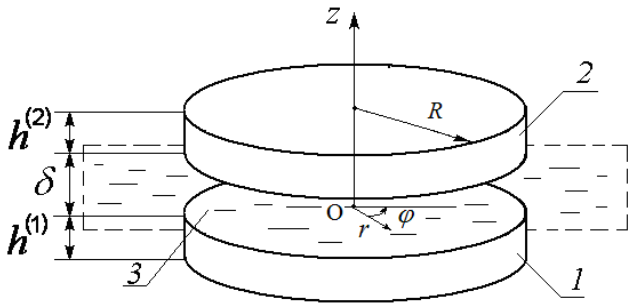
*** Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov, vic_p@bk.ru*

The interaction dynamics of two circular plates with a thin layer of viscous incompressible fluid was investigated. Circular plates form walls of parallel-plate duct that filled viscous liquid. Plates oscillations caused by pulsating pressure on boundary of the channel. The problem is set up in an axisymmetric stating for the steady-state harmonic oscillations regime.

Keywords: hydroelasticity, viscous incompressible liquid, plate, pulsation pressure fluctuations, oscillations

Рассматривая динамику вязкой жидкости в щелевом канале, традиционно стенки канала считают абсолютно жесткими [1]. Исследования взаимодействия жестких стенок канала с тонким слоем вязкой несжимаемой жидкости проводились в рамках гидродинамической теории смазки [1-3]. Для учета конвективных членов инерции [2] и локального члена инерции [3] методом осреднения. В [4-11] рассмотрены плоские задачи с учетом инерции движения тонкого слоя жидкости и упругой податливости одной из стенок канала как однородной пластины, в том числе подкрепленной ребрами жесткости, или как трехслойной пластины. В [12-17] рассмотрены задача взаимодействия жидкости с упругими цилиндрическими оболочками, в том числе применительно к двигателям внутреннего сгорания и приборам навигации.

Рассмотрим щелевой канал, образованный двумя параллельными упругими круглыми пластинами *1* и *2*, пространство между которыми полностью заполнено тонким слоем вязкой несжимаемой жидкости *3* (см. рисунок). Пластины *1* и *2* имеют одинаковый радиальный размер их радиус R. Толщина нижней пластины $h^{(1)}$, а толщина верхней пластины $h^{(2)}$. Принимая во внимание осевую симметрию рассматриваемого канала, переходим к исследованию осесимметричной задачи. Прогибы пластин значительно меньше, чем зазор δ между ними. Жидкость по контуру канала свободно истекает в ту же жидкость, находящуюся в торцевой полости, примыкающей к нему (показана пунктирной линией), где поддерживается гармонически пульсирующее по времени давление $p_1 = p_m \sin(\omega t)$.



Плоский канал, образованный двумя параллельными пластинами

Введем в рассмотрение цилиндрическую систему координат $Orz\varphi$, которую свяжем с невозмущенной срединной поверхностью пластины *1* и введем следующие безразмерные переменные и малые параметры задачи:

$$\psi=\frac{\delta_0}{R}<<1,\ \lambda^{(i)}=\frac{w_m^{(i)}}{\delta_0}<<1,\ \zeta=\frac{z-0{,}5h^{(1)}}{\delta_0},\ \xi=\frac{r}{R},\ \zeta=\frac{z}{\delta_0},\ \tau=\omega t,\ w^{(i)}=w_m^{(i)}W^{(i)},$$
$$V_z=w_m^{(2)}\omega U_\zeta,\ V_r=\frac{w_m^{(2)}\omega}{\psi}U_\xi,\ \delta=\delta_0+w_m^{(2)}W^{(2)},\ p=p_1(\tau)+\frac{\nu\rho w_m^{(2)}\omega}{\delta_0\psi^2}P,\ \mathrm{Re}=\frac{\delta_0^2\omega}{\nu}, \quad (1)$$

где $i=1,2$ для пластин *1* и *2*; $w_m^{(i)}$ – амплитуды прогибов пластин; δ_0 – средняя толщина слоя жидкости; ω – частота колебаний; V_r, V_z – компоненты скорости жидкости; ν – кинематический коэффициент вязкости жидкости; ρ – плотность жидкости.

С учётом (1) поставлена следующая задача, включающая:

– уравнения динамики тонкого слоя жидкости между пластинами (с точностью до ψ)

$$\mathrm{Re}\left[\frac{\partial U_\xi}{\partial\tau}+\lambda\left(U_\xi\frac{\partial U_\xi}{\partial\xi}+U_\zeta\frac{\partial U_\xi}{\partial\zeta}\right)\right]=-\frac{\partial P}{\partial\xi}+\frac{\partial^2U_\xi}{\partial\zeta^2},\ \frac{\partial P}{\partial\zeta}=0,\ \frac{\partial U_\xi}{\partial\xi}+\frac{1}{\xi}U_\xi+\frac{\partial U_\zeta}{\partial\zeta}=0, \quad (2)$$

– уравнения колебаний упругих круглых пластин

$$D^{(i)}R^{-4}w_m^{(i)}\left(\frac{\partial^4W^{(i)}}{\partial\xi^4}+\frac{2}{\xi}\frac{\partial^3W^{(i)}}{\partial\xi^3}-\frac{1}{\xi^2}\frac{\partial^2W^{(i)}}{\partial\xi^2}+\frac{1}{\xi^3}\frac{\partial W^{(i)}}{\partial\xi}\right)+\rho_0^{(i)}h^{(i)}\omega^2w_m^{(i)}\frac{\partial^2W^{(i)}}{\partial\tau^2}=q_{zz}^{(i)}, \quad (3)$$

где $i=1,2$ для пластин-стенок канала *1* и *2*; $E^{(i)}$ – модуль Юнга, $\mu_0^{(i)}$ – коэффициент Пуассона, $\rho_0^{(i)}$ – плотность материала пластин; $D^{(i)}=E^{(i)}(h^{(i)})^3(12(1-(\mu_0^{(i)})^2))^{-1}$; $q_{zz}^{(2)}=p_1(\tau)+\rho\nu\, w_m^{(2)}\,\omega\delta_0^{-1}\psi^{-2}P$ при $\zeta=1+\lambda^{(2)}W^{(2)}$; $q_{zz}^{(1)}=-p_1(\tau)-\rho\nu\, w_m^{(2)}\,\omega\delta_0^{-1}\psi^{-2}P$ при $\zeta=\lambda^{(1)}W^{(1)}$.

Граничные условия уравнений (2)-(3) имеют вид [4-11, 17]

$U_\xi=0, U_\zeta=\partial W^{(2)}/\partial\tau$ при $\zeta=1+\lambda^{(2)}W^{(2)}$, $U_\xi=0, U_\zeta=(w_m^{(1)}/w_m^{(2)})\partial W^{(1)}/\partial\tau$ при $\zeta=\lambda^{(1)}W^{(1)}$,

$P=0$ при $\xi=-1$, $P=0$ при $\xi=1$; $W^{(i)}=\partial W^{(i)}/\partial\xi=0$ при $\xi=\pm1$. (4)

Учитывая, что $\lambda^{(i)}=o(1)$, $w_m^{(1)}/w_m^{(2)}=O(1)$, т.к. $w_m^{(i)}<<\delta_0$, решение задачи представим в виде асимптотического разложения по малым параметрам $\lambda^{(2)}$ и $\lambda^{(1)}=\lambda^{(2)}w_m^{(1)}/w_m^{(2)}$: $P=P_0+\lambda^{(2)}P_1+O((\lambda^{(2)})^2)$, $U_\xi=U_{\xi0}+\lambda^{(2)}U_{\xi1}+O((\lambda^{(2)})^2)$, $U_\zeta=U_{\zeta0}+\lambda^{(2)}U_{\zeta1}+O((\lambda^{(2)})^2)$. В [3, 5, 9] показано, что при рассмотрении динамики взаимодействия тонких слоев вязкой жидкости с твердыми и упругими телами имеют место задачи о регулярных возмущениях, поэтому далее ограничимся первым членом разложения.

В нулевом приближении по $\lambda^{(2)}$ произведена линеаризация задачи гидроупругости, и ее решение определяем в виде гармонических функций по времени с коэффициентами, зависящими от координат $T_0=A_T\cos\tau+B_T\sin\tau$. Под T_0 понимаются P_0, $U_{\xi0}$, $U_{\zeta0}$, коэффициенты A_T, B_T для P_0 зависят только от ξ, для $U_{\xi0}$, $U_{\zeta0}$ они зависят от ξ и ζ. В результате найдено давление в ламинарном движущемся тонком слое жидкости

$$P_0=\int_1^\xi\frac{1}{\xi}\left[\int_0^\xi\xi\left(\mathrm{Re}\,\alpha\frac{\partial^2}{\partial\tau^2}\left[W^{(2)}-\frac{w_m^{(1)}}{w_m^{(2)}}W^{(1)}\right]+12\gamma\frac{\partial}{\partial\tau}\left[W^{(2)}-\frac{w_m^{(1)}}{w_m^{(2)}}W^{(1)}\right]\right)d\xi\right]d\xi \quad (5)$$

где α, γ – частотозависимые коэффициенты, совпадающие с найденными в [4, 5, 9].

Учитывая граничные условия, форму упругих прогибов, удовлетворяющих граничным условиям задачи, принимаем в виде ряда по нормальным формам колебаний

$$W^{(i)} = \sum_{k=1}^{\infty} R_k^{(i)}(\tau)\left[J_0(\beta_k \xi)/J_0(\beta_k) - I_0(\beta_k \xi)/I_0(\beta_k)\right], \qquad (6)$$

здесь J_0 – функция Бесселя нулевого порядка первого рода; I_0 – модифицированная функция Бесселя нулевого порядка; β_k – корень трансцендентного уравнения $I_1(\beta_k)/I_0(\beta_k) = -J_1(\beta_k)/J_0(\beta_k)$, (k = 1, 2,…), где $J_1(\beta_k)$, $I_1(\beta_k)$ – соответствующие функции Бесселя первого порядка. Первые пятнадцать корней β_k вычислены и приведены в [18].

Учитывая (5), (6) в (3), вычисляя интегралы и раскладывая оставшиеся члены уравнений в ряды по выбранной системе ортонормированных функций, получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений. Приравнивая в левой и правой частях данных уравнений коэффициенты при одинаковых ортонормированных функциях радиальной координаты и ограничиваясь в разложениях n членами ряда получаем систему линейных обыкновенных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами для определения $R_n^{(i)}(\tau)$. Из данной системы находим функции времени $R_n^{(i)}(\tau)$ и определяем законы изменения прогибов пластин в зависимости от закона пульсации давления на контуре. Используя найденные функции времени $R_n^{(i)}(\tau)$, а также выражения (5), (6), можно получить и размерные выражения для давления и прогибов пластин.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-01-01604а.

Список литературы

1. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. М.: Дрофа, 2003. 840 с.

2. Слезкин Н. А. Динамика вязкой несжимаемой жидкости. М.: Гостехиздат, 1955. 520 с.

3. Андрейченко К. П. Динамика поплавковых гироскопов и акселерометров. М.: Машиностроение, 1987. 126 с.

4. Могилевич Л. И. Динамика взаимодействия сдавливаемого слоя вязкой несжимаемой жидкости с упругой трехслойной пластиной // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. 2008. №5. С. 114-123.

5. Могилевич Л. И., Попов В. С., Христофорова А. В. Математические вопросы гидроупругости трехслойных элементов конструкций. Саратов: КУБиК, 2012. 123 с.

6. Динамика взаимодействия подвижных стенок плоского канала со сдавливаемым слоем жидкости, находящимся между ними / Агеев Р.В., Быкова Т.В., Могилевич Л.И., Попов В.С. // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2009. Т. 1. № 4. С. 7-13.

7. Попов В. С. Динамическая задача гидроупругости виброопоры с пластиной, подкрепленной ребрами жесткости // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2008. Т. 3. № 1. С. 7-13.

8. Могилевич Л. И., Попов В. С., Попова А. А. Динамика взаимодействия упругих элементов вибромашины со сдавливаемым слоем жидкости, находящимся между ними // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2010. №4. С. 23-32.

9. Могилевич Л. И., Попов В. С. Исследование взаимодействия слоя вязкой несжимаемой жидкости со стенками канала, образованного соосными вибрирующими дисками // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. 2011. № 3. С. 55-68.

10. Математическая модель движения пульсирующего слоя вязкой жидкости в канале с упругой стенкой / Р. В. Агеев, Е. Л. Кузнецова, Н. И. Куликов, Л. И. Могилевич, В. С. Попов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2014. № 3. С. 17-35.

11. Агеев Р. В., Могилевич Л. И., Попов В. С. Колебания стенок щелевого канала с вязкой жидкостью, образованного трехслойным и твердым дисками // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2014. № 1. С. 3-11.

12. Математическое моделирование вынужденных колебаний гильзы цилиндра двигателя внутреннего сгорания / Епишкина И. Н., Могилевич Л. И., Попов В. С., Симдянкин А. А. // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2001. № 4. С. 19-26.

13. Могилевич Л. И., Попов В. С. Динамика взаимодействия цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания и слоя охлаждающей жидкости // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2003. № 1. С. 79.

14. Могилевич Л. И., Попов В. С. Динамика взаимодействия упругого цилиндра со слоем вязкой несжимаемой жидкости // Известия РАН. Механика твердого тела. 2004. № 5. С.179-190.

15. Попов В. С. Колебания ребристой оболочки, окруженной слоем вязкой несжимаемой жидкости // Аграрный научный журнал. 2003. № 4. С. 47.

16. Могилевич Л. И., Попов В. С. Возмущающие моменты в поплавковом гироскопе с упругим корпусом поплавка, имеющим технологические ребра жесткости, на вибрирующем основании // Авиакосмическое приборостроение. 2006. № 5. С. 6-12.

17. Аэрогидроупругость конструкций / Горшков А. Г., Морозов В. И., Пономарев А. Т., Шклярчук Ф. Н. М.: Физматлит, 2000. 591 с.

18. Горшков А. Г., Старовойтов Э. И., Яровая А. В. Механика слоистых вязкоупругопластических элементов конструкций. М.: Физматлит, 2005. 576 с.

УДК 697.94:628.84

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ВОЗДУХА В ЦЕНТРАЛЬНЫХ КОНДИЦИОНЕРАХ С РЕЦИРКУЛЯЦИЕЙ ВЫТЯЖНОГО ВОЗДУХА

А. Ю. Феоктистов*, Л. А. Кущев*, Ю. Г. Овсянников*

** Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, Белгород*

Предложен метод аналитического описания процессов тепловлажностной обработки воздуха в центральных кондиционерах с рециркуляцией вытяжного воздуха. Метод позволяет аналитически определять термодинамические параметры воздуха на всех стадиях его обработки.

Ключевые слова: кондиционирование воздуха, рециркуляция, аналитическое описание

ANALYTICAL DESCRIPTION OF TREATMENT PROCESSES AIR IN CENTRAL AIR CONDITIONING WITH RECIRCULATION OF EXHAUST AIR

A. Yu. Feoktistov*, L. A. Kushchev*, Yu. G. Ovsyannikov*

** Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, Russia, Belgorod*

We propose a method of analytical description of the processes of heat and humidity in the air handling central air conditioning with recirculation of exhaust air. The method allows to analytically determine the thermodynamic parameters of the air at all stages of processing.

Keywords: central air conditioning, recirculation, analytical description

В настоящее время расчет СКВ многие авторы рекомендуют производить графоаналитическим методом при помощи I-d диаграммы, что позволяет при незначительной вычислительной сложности задачи получить требуемые параметры процесса обработки воздуха в кондиционере с допустимой для практических расчетов инженерных систем точностью. Графическое представление процесса обра-

ботки воздуха затрудняет численный анализ показателей работы СКВ при различных наружных и эксплуатационных режимах и повторяемость расчета. В связи с этим возникает потребность в аналитическом методе описания описание процессов обработки воздуха в центральных кондиционерах с рециркуляцией, основанной на аналитических зависимостях параметров обрабатываемого воздуха при различных процессах изменения свойств воздуха.

При рециркуляции части вытяжного воздуха общий объем подаваемого в помещения воздуха $L_{\text{п}}$, м³/с складывается из наружного воздуха $L_{\text{н}}$ и части удаляемого из помещения воздуха, называемого рециркуляционным $L_{\text{р}}$:

$$L_{\text{п}} = L_{\text{н}} + L_{\text{р}}. \qquad (1)$$

В зависимости от места смешения наружного и рециркуляционного воздуха различают системы с 1-й и 2-й рециркуляцией (рис. 1). В первом случае смешение происходит в приемной камере кондиционера, во втором – после калорифера первого подогрева. Наибольшее распространение получили системы с первой рециркуляцией как позволяющие снизить тепловую мощность калорифера 1-го подогрева [1]. Системы со второй рециркуляцией применяют для исключения калорифера второго подогрева в центральных кондиционерах [2].

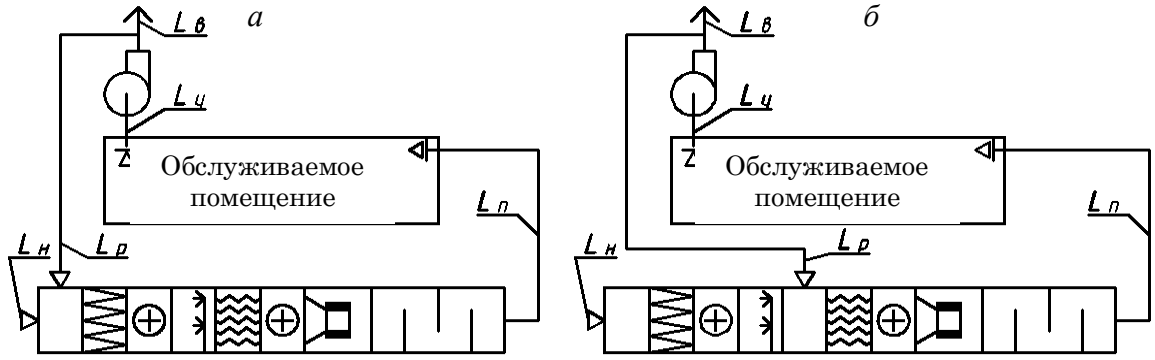


Рис. 1. Принципиальные схемы установок центральных кондиционеров с 1-й (*а*) и 2-й (*б*) рециркуляцией: $L_{\text{н}}$ – наружный воздух; $L_{\text{п}}$ – приточный воздух; $L_{\text{у}}$ – удаляемый из помещения воздух; $L_{\text{в}}$ – вытяжной воздух, выбрасываемый в атмосферу; $L_{\text{р}}$ – рециркуляционный воздух

Обозначим состояния воздуха после различных процессов тепловлажностной обработки нижними индексами: «н» – наружный воздух, «р» – рециркуляционный воздух, «с» – после смешения, а период года – верхними индексами: «ТП» – для теплого периода и «ХП» – для холодного периода.

Считаем, что расход подаваемого в обслуживаемые помещения воздуха $L_{\text{п}}$, расход подмешиваемого рециркуляционного воздуха $L_{\text{р}}$, параметры наружного воздуха для теплого и холодного периода года $t_{\text{н}}^{\text{ХП}}$, $\varphi_{\text{н}}^{\text{ХП}}$, $t_{\text{н}}^{\text{ТП}}$, $\varphi_{\text{н}}^{\text{ТП}}$ и параметры подаваемого в помещения воздуха $t_{\text{п}}^{\text{ХП}}$, $\varphi_{\text{п}}^{\text{ХП}}$, $t_{\text{п}}^{\text{ТП}}$, $\varphi_{\text{п}}^{\text{ТП}}$ определены в ходе расчета воздухообмена. Параметры рециркуляционного воздуха принимаются равными параметрам вытяжного воздуха: $t_{\text{р}}^{\text{ХП}} = t_{\text{в}}^{\text{ХП}}$, $\varphi_{\text{р}}^{\text{ХП}} = \varphi_{\text{в}}^{\text{ХП}}$, $t_{\text{р}}^{\text{ТП}} = t_{\text{в}}^{\text{ТП}}$, $\varphi_{\text{р}}^{\text{ТП}} = \varphi_{\text{в}}^{\text{ТП}}$.Термодинамические параметры воздуха (удельная энтальпия и влагосодержание) могут быть определены по [3].

Рассмотрим процесс обработки воздуха в холодный период года. При первой рециркуляции к приемной камере кондиционера происходит смешение наружного и рециркуляционного воздуха с массовыми расходами, кг/с:

$$M_{\text{н}} = \rho_{\text{н}} L_{\text{н}}$$
$$M_{\text{р}} = \rho_{\text{р}} L_{\text{р}} \quad (2)$$

где $\rho_{\text{н}}, \rho_{\text{р}}$ – плотности наружного и рециркуляционного воздуха.

В процессе смешения воздуха с различными параметрами происходит ассимиляция общего количества теплосодержания и влаги смесью. Тогда удельная энтальпия смеси может быть выражена:

$$I_{\text{с}}^{\text{ХП}} = \frac{I_{\text{н}}^{\text{ХП}} M_{\text{н}} + I_{\text{р}}^{\text{ХП}} M_{\text{р}}}{M_{\text{н}} + M_{\text{р}}}, \quad (3)$$

а влагосодержание смеси:

$$d_{\text{с}}^{\text{ХП}} = \frac{d_{\text{н}}^{\text{ХП}} M_{\text{н}} + d_{\text{р}}^{\text{ХП}} M_{\text{р}}}{M_{\text{н}} + M_{\text{р}}}. \quad (4)$$

Температура воздуха после смешения может быть определена по формуле [4]:

$$t_{\text{с}}^{\text{ХП}} = \frac{I_{\text{с}}^{\text{ХП}} - r_n \dfrac{d_{\text{с}}^{\text{ХП}}}{1000}}{c_{с.в.} + c_n \dfrac{d_{\text{с}}^{\text{ХП}}}{1000}}, \quad (5)$$

где $c_{с.в.}$ – удельная теплоемкость сухого воздуха, кДж/(кг·ºС);

c_n – удельная теплоемкость водяного пара, кДж/(кг·ºС);

r_n – удельная теплота парообразования для воды, кДж/кг.

Зная температуру воздуха после смешения, найдем давление насыщенных паров воды [3]

$$P_{\text{н.п.}} = \begin{cases} 652{,}16 e^{0{,}0621 t_{\text{с}}^{\text{ХП}}}, \text{ если } t_{\text{с}}^{\text{ХП}} \geq 0 \\ 676{,}64 e^{0{,}0975 t_{\text{с}}^{\text{ХП}}}, \text{ если } t_{\text{с}}^{\text{ХП}} < 0, \end{cases} \quad (6)$$

и влажность смеси, %, по формуле [5]:

$$\varphi_{\text{с}}^{\text{ХП}} = 100 \frac{P_{\text{атм}} d_{\text{с}}^{\text{ХП}}}{P_{н.п.} \left(622 + d_{\text{с}}^{\text{ХП}}\right)}, \quad (7)$$

где $P_{\text{атм}}$ – атмосферное давление в регионе застройки, Па.

При смешении холодного и теплого воздуха возможна конденсация части содержащихся в смеси паров воды, что графически изображено на Id диаграмме (рис. 2). Состояние смеси после конденсации определяется ее энтальпией на линии насыщения ($\varphi = 100\%$) – точка «с». Тогда для определения параметров воздуха после конденсации части водяного пара необходимо найти ее влагосодержание и температуру при энтальпии смеси $I_{\text{с}}$ и влажности $\varphi = 100\%$.

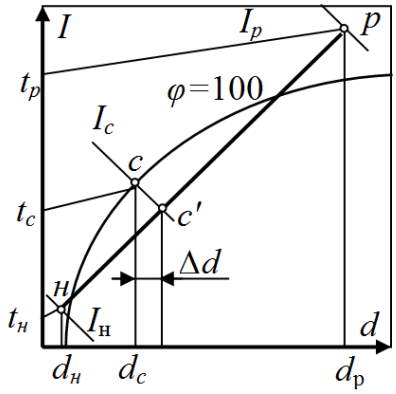


Рис. 2. Построение процесса смешения воздуха на Id диаграмме с конденсацией части влаги

Отсутствие теоретических зависимостей для определения влагосодержания воздуха на кривой насыщения в [3] решается кусочно-линейной аппроксимацией зависимости влагосодержания от энтальпии. Таким образом, влагосодержание приточного воздуха $d_{\text{с}}^{\text{ХП}}$, г/кг будет определяться соотношением [3]:

$$d_{\text{с}}^{\text{ХП}} = \frac{I_{\text{с}}^{\text{ХП}} - C}{D}, \qquad (8)$$

где C, D – эмпирические коэффициенты, приведенные в таблице.

Значения коэффициентов C и D (по данным [3])

Диапазон температур, °C	C	D
-10…0	-19	8
0…10	-9,77	5,17
10…20	-1,32	4,03
20…30	6,29	3,49
30…40	16,7	3,1

Температура воздуха при известной энтальпии и влагосодержании находится по формуле (5).

Дальнейший расчет процесса тепловлажностной обработки воздуха в холодный период года производится по методике, предложенной в [4], подставляя в качестве параметров наружного воздуха параметры смеси наружного и рециркуляционного воздуха.

Расчет процесса смешения воздуха в центральном кондиционере с частичной рециркуляцией в теплый период года производится аналогично, подставляя в формулы (2)-(7) параметры наружного и рециркуляционного воздуха для теплого периода года. Дальнейший расчет процесса тепловлажностной обработки воздуха в теплый период года также производится по методике, предложенной в [4], подставляя в качестве параметров наружного воздуха параметры смеси наружного и рециркуляционного воздуха.

Следует отметить, что использование рециркуляционного воздуха снижает затраты тепла системами кондиционирования воздуха, что может быть количественно оценено по методике [6].

Список литературы

1. Рымкевич А.А. Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха. СПб: АВОК С-З, 2003. 272 с.

2. Коченков Н.В., Шпагина М.С. Способы исключения первой рециркуляции в центральной системе кондиционирования воздуха // СтройПРОФИль. 2011. № 2/1. С. 6-11.

3. Богословский В. Н., Кокорин О. Я., Петров Л. В. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение: учеб. для вузов / под ред. В. Н. Богословского. М.: Стройиздат, 1985. 367 с.

4. Ильина Т. Н., Феоктистов А. Ю., Овсянников Ю. Г. Аналитическое описание процессов обработки воздуха в центральных кондиционерах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 1. С. 136-139.

5. Ильина Т. Н., Феоктистов А. Ю., Дегтев В. М. Прогнозирование и регулирование состояния микроклимата в замкнутом объеме со значительными тепло- и влагоизбытками // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 4. С. 121-123.

6. Пособие 9.91 к СНиП 2.04.05-91 Годовой расход энергии системами отопления, вентиляции и кондиционирования. М.: Промстройпроект, 1993. 32 с.

УДК 621.18

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОБСТВЕННЫХ ГТУ-ТЭЦ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СТРОЙИНДУСТРИИ

П. Г. Антропов*

** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов*

Предложен методический подход определения эффективности применения собственной ГТУ-ТЭЦ на промышленном предприятии с учетом ее совместной работы с действующей районной паротурбинной ТЭЦ.

Ключевые слова: ГТУ-ТЭЦ, дожигающее устройство, удельная выработка электроэнергии, промышленное предприятие, котел-утилизатор

THE ESTIMATION OF EFFICIENCY OF EMPLOYMENT OF PRIVATE GAS TURBINE POWER PLANT ON THE BUILDING INDUSTRY ENTERPRISES

P. G. Antropov*

** Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia, Saratov*

In the article was proposed methodical approach to the definition of the effectiveness of the employment of private gas turbine power plant on the production enterprise with a glance to its combine action with the functional district steam-turbine power plant.

Keywords: gas turbine power plant, reheating element, specific electric energy production, production enterprise, waste-heat recovery unit

В современных сложных условиях развития энергетики необходимо находить пути быстрейшего ввода новых генерирующих мощностей не менее 5-7 ГВт ежегодно. Это должно обеспечить энергетическую безопасность страны, восполнение снимаемого с эксплуатации устаревшего оборудования, снижение удельных расходов топлива и повышение эффективности ТЭК в целом.

Для достижения поставленных целей перевооружение энергетики должно осуществляться на базе передовых технологий мирового уровня. В этой ситуации может оказаться оправданной децентрализация теплоэнергоснабжения для ряда промышленных предприятий, сумевших скопить собственные средства и инвестировать их в создание собственных энергоисточников. Это в первую очередь относится к предприятиям топливодобычи, переработки, некоторым предприятиям строительной индустрии. Зарубежный опыт показывает, что подобные предприятия устанавливают ГТУ и ПТУ-ТЭЦ, которые покрывают в течение года электрическую и тепловую нагрузку собственных нужд производств и имеют значительный коммерческий отпуск электроэнергии в сеть.

Создание промышленной ТЭЦ с ГТУ будет выгодно в том случае, когда будет обеспечиваться системная эффективность теплоэнергоснабжения, т.е. определённый эффект должен достигаться не только на промышленном предприятии, но и на действующей районной ТЭЦ. Последняя должна получать возможность значительно сократить расходы по технологическим тепловым сетям и уменьшению конденсационной выработки за счёт более полного использования теплофикационных отборов. Значительную выгоду энергосистеме сможет принести и перепродажа избыточной электроэнергии, которую будет неизбежно вырабатывать промышленная ГТУ-ТЭЦ вследствие работы по тепловому графику, обеспечивающему максимальную экономию топлива.

Поскольку пользование «частными» КПД ТЭЦ, определёнными по различным методикам, а также раздельное применение коэффициента использования топлива ($K_{ИТ}^{ТЭЦ}$) и удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении ($у_э$) не гарантирует от ошибочных рекомендаций, был предложен комплексный показатель эффективности эксплуатации ($\Delta B_{эк}$). Он представляет собой отношение действительно достигаемой экономии топлива на ТЭЦ ($\Delta B_{эк}$) и предельно возможной ($\Delta B_{эк}^{max}$)

$$\eta_{ээ}^{ТЭЦ} = \frac{\Delta B_{эк}}{\Delta B_{эк}^{max}} = \frac{\frac{Э_{\Sigma}}{Q_{\Sigma}}\left(\frac{1}{\eta_{э}^{КЭС}} - \frac{1}{к_{ИТ}^{ТЭЦ}}\right) + \left(\frac{1}{\eta^{кот}} - \frac{1}{к_{ит}^{ТЭЦ}}\right)}{y_{э}^{max}\left(\frac{1}{\eta_{э}^{КЭС}} - 1\right) + \left(\frac{1}{\eta^{кот}} - 1\right)}, \quad (1)$$

где $э_{\Sigma} > Q_{\Sigma}$ – соответственно фактические выработки электроэнергии и отпущенной в сеть теплоты на ТЭЦ; $\eta_{э}^{КЭС}$ – электрический КПД нетто КЭС; $\eta^{кот}$ – КПД современной котельной.

Предельная экономия топлива определяется для идеальных (гипотетических) условий работы ТЭЦ, при которых потери в газовых и паровых турбинах отсутствуют ($к_{ит}$=1) и достигается максимальная удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении ($y_{э}^{КЭС}$). Отпуск теплоты в сеть принимается равным фактическому Q_{Σ}, а выработка электроэнергии на этом теплопотреблении – предельно возможной

$$Э_{пр} = y_{э}^{max} Q_{\Sigma}. \quad (2)$$

Тогда максимальную величину $у_э$ определяют как частное приведённой суммы работ газовой и паровой частей обратимого цикла ПТУ и отводимой потребителю теплоты при $к_{ит}^{ТЭЦ} = 1$:

$$y_{э}^{max} = \frac{l_{ц}^{газ} + dl_{ц}^{пар}}{q_{т}^{газ} + q_{т}^{пар}}, \quad (3)$$

где $l_{ц}^{газ}, l_{ц}^{пар}$ – соответственно работа обратимого газового и парового цикла, кДж/кг (рабочего тела); d – относительное количество пара, кг пара/кг газа; $q_{т}^{газ}, q_{т}^{пар}$ – соответственно теплота, отдаваемая потребителям от газового и парового циклов, кДж/кг газа.

Этот коэффициент достаточно чутко реагирует на отклонение режима эксплуатации от оптимального, которым в данном случае является режим без включения дожигающего устройства. Важной особенностью коэффициента $\eta_{ээ}^{ТЭЦ}$ является также и то, что не так важно его значение, как то, как и на сколько он изменяется.

Вместе с тем при использовании коэффициента эффективности эксплуатации ТЭЦ с ГТУ этот показатель нуждается в уточнении, связанном с учётом влияния температуры наружного воздуха на параметры циклов (газового и парового). Это становится возможным, если расписать максимальную удельную выработку электроэнергии ($y_э^{max}$) в виде

$$y_э^{max} = \frac{c_p^г (T_4 - T_1)(\pi^m - 1) + d(h_1 - h_2)}{c_p^г (T_4 - T_1) - h_1 - h_4 + h_2 - h_3} \qquad (4)$$

и использовать её в выражении (1). В формуле (4): T_1, T_4 – соответственно температуры воздуха на входе в компрессор и на выхлопе ГТУ, π – степень повышения давления в цикле, h, ,h_2 ,h_3 ,h_4 – соответственно энтальпии пара на входе и выходе ПТ и других характерных точках парового цикла, кДж/кг.

Уточнённый таким образом $\eta_{ээ}^{ТЭЦ}$ даёт более качественное представление об изменении эффективности эксплуатации в течение года.

Из расчётных данных видно, что в тёплое время года эффективность ТЭЦ с ГТУ заметно ухудшается (рис. 1). Это связано со значительным снижением экономичности самой ГТУ, и, соответственно, пережогом топлива в системе.

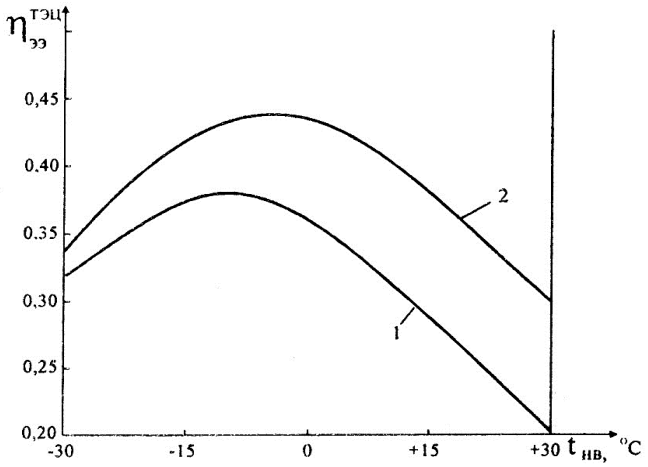


Рис. 1 Зависимость изменения $\eta_{ээ}^{ТЭЦ}$ (кривая 1), уточненного $\eta_{ээ}^{ТЭЦ}{}'$ (кривая 2) от температуры наружного воздуха для ГТУ-ТЭЦ – 70 МВт

Элементом тепловой схемы промышленной ТЭЦ с ГТУ, способным повысить экономию топлива при повышении температуры наружного воздуха, может стать паровая турбина (ПТ), работающая на избытке технологического пара (рис. 2).

Известно, что для промышленных предприятий стройиндустрии характерным является суточная равномерность теплопотребления и значительная сезонная неравномерность этого графика. Таким образом, включение паровой турбины небольшой мощности на избытке технологического пара позволит в тёплое время года: во-первых, частично восполнить падение электрической мощности ГТУ, а во-вторых, получить дополнительную выработку теплоты коммунально-бытового назначения для снабжения ближних к предприятию потребителей.

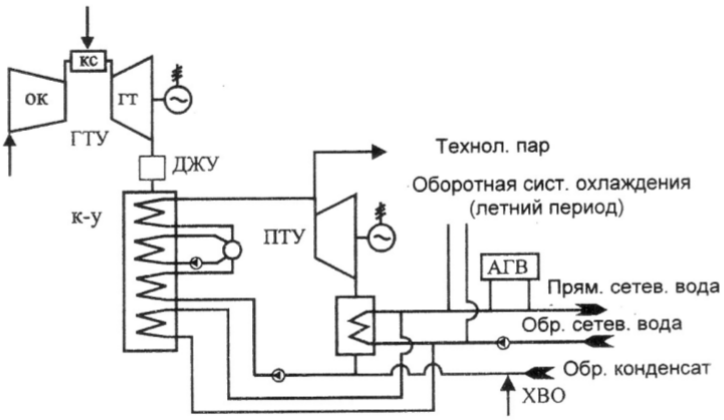


Рис.2. Принципиальная тепловая схема промышленной ГТУ-ТЭЦ
с паровой турбиной на избытке технологического пара

Кроме того, горячую воду из сетевого подогревателя ПТ промышленное предприятие может отпускать на районную ТЭЦ по относительно низким ценам, что для последней также выгодно. В период понижения температуры окружающей среды величина избытка технологического пара постепенно понижается, одновременно падает и нагрузка на ПТ, но растёт электрическая мощность самой ГТУ. Естественно, при значительном похолодании и необходимости включения дожигающего устройства КУ для поддержания отпуска технологического пара ПТ должна быть отключена.

На рис. 3 приводятся результаты расчётов изменения $\eta_{ээ}^{ТЭЦ}$ температуры наружного воздуха для ГТУ-ТЭЦ единичной мощностью 70 МВт и для этой же установки с включением в тепловую схему паровой турбины электрической мощностью 10 МВт на параметры пара $P_п$ = 3,0...3,5 МПа, $t_п$ = 450°С.

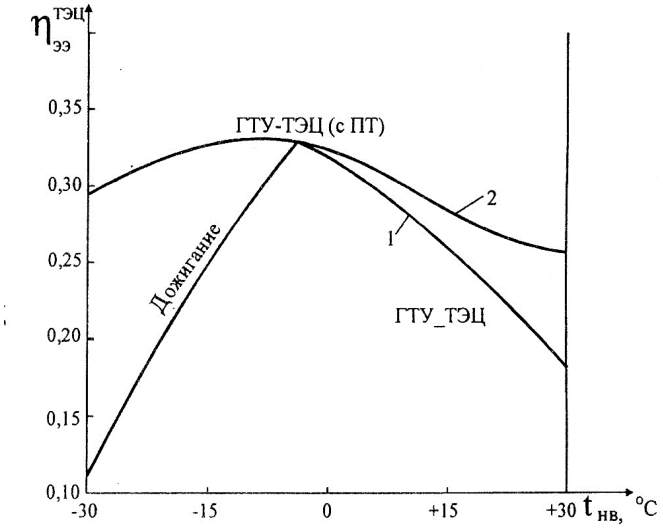


Рис. 3. Зависимость изменения $\eta_{ээ}^{ТЭЦ}$ от температуры наружного воздуха
для ГТУ-ТЭЦ -70 МВт (кривая 1) и для этой же ГТУ-ТЭЦ с паровой турбиной 10 МВт (кривая 2)

Анализ полученных результатов показывает, что $\eta_{ээ}^{ТЭЦ}$ заметно реагирует на факторы, снижающие системную экономию топлива на ТЭЦ, такие, как дополнительное включение дожигающего устройства КУ зимой и снижение КПД ГТУ с повышением $t_{нв}$.

Видно также, что использование ПТ на избытке технологического пара в тёплое время года позволяет увеличить экономию топлива тем больше, чем выше $t_{нв}$. Так, при температурах наружного воздуха +25...+30°С такая схема даёт прирост $\eta_{ээ}^{ТЭЦ}$ на 7... 10%. Необходимо также отметить, что при снижении нагрузки горячего водоснабжения сетевой подогреватель на выхлопе ПТ может использоваться как конденсатор с соответствующим подключением трубного пучка к оборотной системе охлаждения предприятия или к пруду-охладителю, если таковые имеются.

Выводы

1. Коэффициент эффективности эксплуатации ТЭЦ является объективным показателем достигаемой экономии топлива при совместной выработке на ТЭЦ электрической и тепловой энергии.

2. Применение $\eta_{ээ}^{ТЭЦ}$ для оценки качества эксплуатации стимулирует персонал к нахождению действительно лучших режимов, обеспечивающих экономию топлива в теплофикационных системах.

3. Использование в тепловой схеме промышленной ГТУ-ТЭЦ паровой турбины, работающей на избытке технологического пара, позволяет увеличить экономию топлива в тёплое время года, несмотря на снижение эффективности самой газовой турбины.

Список литературы

1. Основы выбора показателей эффективности эксплуатации ТЭЦ и тепловых сетей: сб. науч. тр. СНЦ РАН. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2000. С. 6-9.

УДК 697

РАСЧЕТ ЭКОНОМИИ ТОПЛИВА И АНАЛИЗ ЕГО ФОРМУЛ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕГЕНЕРАТИВНОЙ СТУПЕНИ ПОДОГРЕВА ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ НА ТЭЦ

Д. В. Голиков*

** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов*

Рассмотрен принцип действия регенеративной ступени подогрева питательной воды на ТЭЦ. Рассчитан энергосберегающий эффект от внедрения регенеративной ступени. Проанализированы формулы для расхода топлива при использовании регенеративной ступени и без ее использования. Показаны особенности построения формулы, раскрыта взаимосвязь величин, составляющих формулы.

Ключевые слова: регенеративная ступень, колонка деаэратора, бак деаэратора, пар отбора турбины, подогреватель высокого и низкого давления, конденсат, химочищенная вода, перегретый пар, дымовой газ, барботаж, питательная вода, котловая вода

CALCULATION OF A FUEL ECONOMY AND THE ANALYSIS OF ITS FORMULAS BY USING THE REGENERATION STEP OF HEATING THE FEED WATER ON THE THERMAL POWER PLANTS

D. V. Golikov*

** Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov*

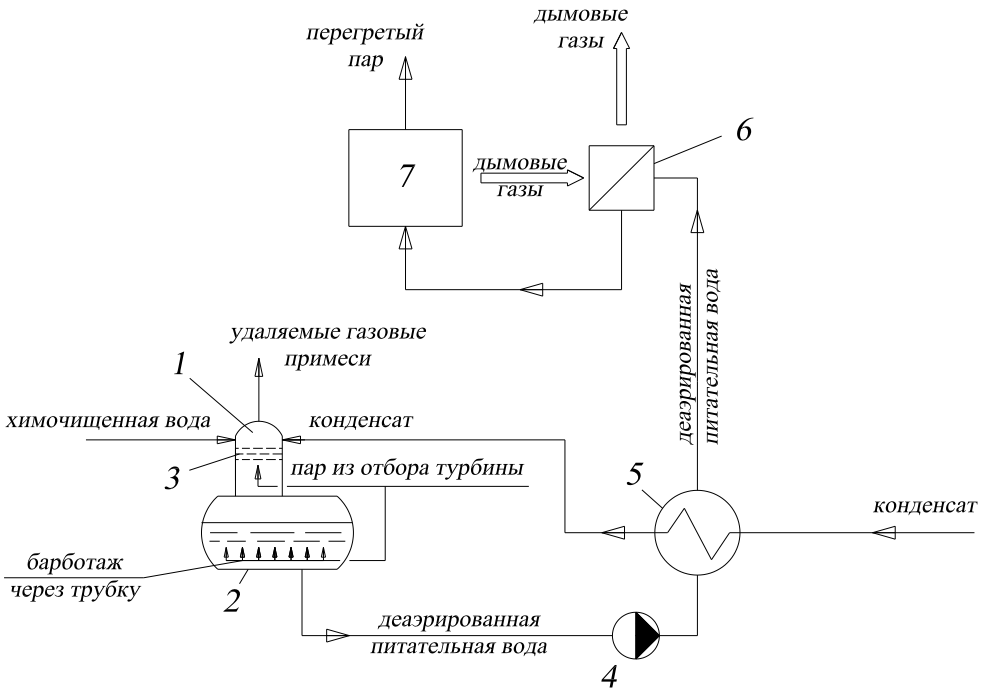
Is considered the principle of action of the regenerative stage of feed water heating on the thermal power plants. Is calculated is energy saving effect from the introduction of the regenerative stage. Are analyzed formulas for fuel consumption by using the regenerative stage and without its use. Are shows the features of the construction of the formula, opened is the interaction between variables, the components of the formula.

Keywords: regenerative stage, column of the deaerator, reservoir of the deaerator, the turbine extraction steam, heater of the high and low pressure, condensate, chemically treated water, superheated steam, flue gas, bubbling, feed water, boiler water

Для того чтобы рассчитать экономию от использования на ТЭЦ ступени регенеративного подогрева, необходимо понимать принцип построения формул, по которым рассчитывается расход топлива, с указанной ступенью и без нее, а для этого необходимо знать устройство данной ступени и принцип работы элементов, составляющих ее.

Регенеративный подогрев питательной воды используется в основном на электростанциях, в том числе на ТЭЦ.

Регенеративная ступень подогрева питательной воды действует как часть цикла ТЭЦ. Прежде всего, она состоит из деаэратора 1,2 , и двух подогревателей – низкого 5 и высокого 6 давления. Сам деаэратор, помимо основного назначения – дегазации, также выполняет роль подогревателя.



Регенеративная ступень подогрева питательной воды на ТЭЦ
1 – колонка деаэратора, 2 – бак деаэратора, 3 – тарелка, 4 – питательный насос,
5 – подогреватель низкого давления, 6 – подогреватель высокого давления, 7 – котел

После отдачи своей энергии пар конденсируется в конденсаторах и оттуда направляется в колонку деаэратора. В колонку деаэратора вводятся: вышеобозначенный конденсат, добавочная порция химочищенной воды и пар отбора турбины, под действием которого происходит дегазация в верхней части – колонке деаэратора, и барботаж с попутным подогревом воды в нижней части – баке деаэратора. Конденсат, смешавшись с химочищенной водой, проходит обработку паром, стекая по перфорированным тарелкам (в деаэраторе тарельчатого типа, изображенном на рисунке), увеличивающим поверхность соприкосновения сред, превращаясь в подготовленную питательную воду, которая имеет большую температуру за счет подогрева паром, нежели изначальный конденсат.

Далее питательная вода перекачивается насосом к котельному агрегату, по пути проходя два подогревателя. В первом по ходу движения питательной воды

теплообменнике низкого давления 5 питательная вода отдает тепловую энергию конденсату, для того чтобы во второй ступени – подогревателе высокого давления 6 разница температур между нагреваемой средой – питательной водой и нагревающей средой – дымовыми газами была больше (тем самым обеспечивается более полное использование тепловой энергии уходящих дымовых газов).

Покажем на примере экономию топлива за счет предварительного подогрева конденсата в регенеративных подогревателях.

В топке котельного агрегата происходит сжигание природного газа Саратовского месторождения. Исходные данные:

– паропроизводительность котла $D = 4,0$ *кг/с,*

– КПД котла (брутто) $\eta_к^{бр} = 87\%$

– низшая теплота сгорания газа $Q_н^р = 35799\ кДж / м^3$,

– давление перегретого пара $p_{п.п.} = 2,4$ *МПа* $= 24$ *бар,*

– температура перегретого пара $t_{п.п.} = 320°C$,

– температура конденсата $t_к = 30°C$,

– температура питательной воды после регенеративного подогревателя $t_{п.в.} = 105°C$,

– величина непрерывной продувки $P = 3\%$.

Расход топлива без регенеративного подогрева определяется по формуле

$$B_1 = \frac{D_{п.п.}((i_{п.п.} - i_{к.}) + (P/100)\cdot(i_{к.в.} - i_{к.}))}{Q_н^р \eta_к^{бр}} 100, \qquad (1)$$

где $D_{п.п.}$ – расход перегретого пара. $D_{п.п.} = D$, так как отсутствует отбор насыщенного пара;

$i_{п.п.}$ – энтальпия перегретого пара, кДж/кг;

$i_к$ – энтальпия конденсата, кДж/кг;

$i_{к.в.}$ – энтальпия котловой воды, кДж/кг;

P – величина непрерывной продувки, %.

По таблицам [1] определяем энтальпию перегретого пара и конденсата:

$i_{п.п.}$ =3059,7 кДж/кг,

$i_к$ = 127,8 кДж/кг.

По таблицам [2] определяем энтальпию котловой и питательной воды:

$i_{к.в..}$ = 951,9 кДж/кг,

$i_{п.в.}$ = 440 кДж/кг.

$$B_1 = \frac{4((3059,7 - 127,8) + (3/100)\cdot(951,9 - 127,8))}{35799 \cdot 87} 100 = 0,38 кг/с$$

Определяем расход топлива с регенеративным подогревом по формуле:

$$B_1 = \frac{D_{п.п.}((i_{п.п.} - i_{п.в..}) + (P/100)\cdot(i_{к.в.} - i_{п.в..}))}{Q_н^р \eta_к^{бр}} 100, \qquad (2)$$

где $i_{п.в.}$ – энтальпия питательной воды, кДж/кг;

$$B_2 = \frac{4((3059,7 - 440) + (3/100)\cdot(951,9 - 440))}{35799 \cdot 87} 100 = 0,338 кг/с$$

Рассчитываем экономию топлива:

$$\Delta B = \frac{B_1 - B_2}{B_1} 100 = \frac{0,38 - 0,338}{0,38} 100 = 11\%$$

Рассмотрим, проанализируем и сравним формулы (1) и (2), по которым определяется расход топлива без регенеративного подогрева и с ним.

В основном на ТЭЦ используются паровые котлы как более мощные. Рабочим телом цикла является перегретый пар – теплоноситель, имеющий энтальпию, температуру, давление и другие параметры выше, нежели вода при использовании водогрейных котлов. Поэтому возможности использования энергии, заключенной в теплоносителе пар, существенно шире, чем при теплоносителе вода, что и обозначает возможность использования энергии пара на ТЭЦ не только в тепловом цикле, но и в цикле получения электрической энергии в турбине.

Первичная энергия топлива в результате его сгорания передается через теплообменные поверхности котла теплоносителю вода, которая преобразуется в перегретый пар за счет догрева ее в дополнительном теплообменнике пламенем до испарения с последующим перегревом. Т.е. в зависимости от измеренного расхода пара мы можем прийти к расходу первичного топлива, который потребовался, чтобы этот пар нагреть. Поэтому в числителе мы формул мы видим величину расхода перегретого пара $D_{n.n.}$. Вторая часть произведения числителя состоит из двух частей:

– первая часть содержит разность энтальпий перегретого пара и конденсата.

Что такое энтальпия? Это сумма двух составляющих – внутренней, или базовой, энергии тела, основное назначение которой состоит в поддержании молекулярной структуры тела, и располагаемой работы, т.е. количества энергии, которым тело располагает и «делится» при взаимодействии. Энтальпия характеризует работоспособность системы или среды.

Энтальпии сред зависят от температуры и давления (что следует из формулы $dh = Tds + vdp$), поэтому расход топлива должен быть таким, чтобы обеспечивать необходимые параметры температуры и давления конденсата, образовавшегося в результате потребления энергии пара, и чем больше масштаб потребления, тем больше потребуется первичной энергии топлива, т.е. тем больше будет его расход. Данная связь между энтальпиями перегретого пара, конденсата и расходом топлива отражена в виде первой разности энтальпий в выражении в скобках в числителе формулы (1);

– вторая часть – разность энтальпий котловой воды и конденсата.

Котловая вода – это та же питательная вода, только находящаяся в пределах котла. Часть ее уходит на продувку. Получается питательная и соответственно питательная котловая вода из конденсата с достаточно низкими параметрами при паровом цикле ТЭЦ без использования регенеративного подогрева. Поэтому вторая часть выражения в скобках числителя формулы (1) заключает в себе разность энтальпий котловой воды и конденсата. Продувочная вода, как правило, сливается в канализацию (реже утилизируется), ввиду содержания в ней солей жесткости и прочих отложений, отловленных при продувке. Теплота, заключенная в сливаемой продувочной воде, также уходит в слив и не возвращается в систему. Таким образом, расход топлива должен учитывать не только потребителя, но и величину продувки котла, непрерывной или периодической, так как энергия продувочной воды (так же как и энергия на потребление), как правило, не возвращается обратно в цикл.

Читаем формулу (1). При цикле ТЭЦ без регенеративного подогрева расход топлива показывает, какое количество кДж перегретого пара образовалось при сгорании топлива и передаче полученной тепловой энергии через теплообменные поверхности парового котла котловой воде, с учетом величины энтальпии, отда-

ваемой паром в процессе прохождения цикла (или количества энтальпии, теряемой при преобразовании перегретого пара в конденсат), и величины разности энтальпий котловой продувочной воды и конденсата, теряемой при продувке, с учетом процента продувки в зависимости от состава газа (и, соответственно, его низшей теплоты сгорания) и КПД брутто котельного агрегата.

При использовании регенеративного подогрева в формуле (2) часть перегретого пара экономится за счет принципа работы регенеративной ступени, рассмотренного выше. Расход пара из отбора турбины через деаэратор снижается за счет процессов подогрева поступающего в деаэратор конденсата и охлаждения выходящей из него подпиточной воды, происходящих одновременно в теплообменнике низкого давления. Энергия пара используется более эффективно, и в первой части выражения в скобках числителя находится разница уже не энтальпий перегретого пара и конденсата, а энтальпий перегретого пара и питательной воды, так как энтальпия конденсата «догревается» до энтальпии питательной воды в ПНД. Аналогично, во второй части выражения в скобках, учитывающей продувку, будет фигурировать также энтальпия питательной воды. Формула (2) читается аналогично формуле (1).

Список литературы

1. Вукалович М. П., Ривкин С. Л., Александров А. А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара / Гос. служба стандартных и справ. данных. М.: Изд-во стандартов, 1969. 408 с.

2. Ривкин С. Л., Александров А. А. Термодинамические свойства воды и водяного пара: справочник. 2-е изд., перераб., и доп. М.: Энергоатомиздат, 1984, 80 с.

УДК 62-6

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТЭЦ

Л. А. Кущев*, И. В. Волабуев*, М. А. Сузикова*

** Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, Белгород*

Проведено исследование технико-экономических показателей газотурбинной ТЭЦ в различных условиях работы, при изменении рабочей нагрузки и температуры наружного воздуха, что позволяет выявить возможные пути повышения ее энергетической эффективности. Статья представляет интерес для инженерно-технических работников, занимающихся вопросами энерго- и ресурсосбережения.

Ключевые слова: энергоэффективность, исследование, производство коммунальных услуг

THE INFLUENCE OF EXTERNAL FACTORS ON TECHNICAL AND ECONOMIC PERFORMANCE OF CHP

L. A. Kuschev*, I. V. Volabuev*, M. A. Suzikova*

** Belgorod state technological University V. G. Shukhov, Russia, Belgorod*

A study of the technical and economic performance of gas turbine CHP in different conditions, as the operating load and the outside air temperature, which allows to identify possible ways to improve its energy efficiency. The article is of interest for engineering and technical personnel engaged in the issues of energy and resource saving.

Keywords: energy efficiency, research, production utilities

В настоящее время оплата коммунальных услуг является значительной статьей расходов для большинства жителей нашей страны, рост стоимости которой

вызывает определенную социальную напряженность. Отказаться от потребления коммунальных услуг в современном мире не представляется возможным.

Постоянный рост стоимости энергоносителей, а также резкое удорожание иностранного энергетического оборудования в результате падения курса рубля делают все более приоритетной задачу ресурсо- и энергосбережения, в особенности при производстве коммунальных услуг.

В России сейчас работают порядка 240 ТЭЦ общего пользования и примерно столько же ТЭЦ промышленных предприятий. Отмечая стратегическую важность централизованного теплоснабжения для России, Международное энергетическое агентство в одном из своих обзоров указало, что на него приходится около 40 % от общего энергопотребления страны, а продажи тепловой энергии в этой сфере обеспечивают 6% ВВП. С учетом роста стоимости энергоносителей последний показатель может возрасти из-за снижения эффективности производства энергии, если не принять все меры по энергосбережению и, прежде всего, сохранению доли когенерационной выработки [3].

В нашей стране за последние 10 лет широкое развитие получило комбинированное производство тепловой и электрической энергии на основе газотурбинных технологий [1]. В городе Белгороде построены и введены в эксплуатацию две газотурбинные ТЭЦ: «Белгородская» и «Луч». Белгородская ТЭЦ является одним из основных источников тепловой и электрической энергии для города Белгорода и состоит из двух параллельно работающих энергоблоков LM 2500 электрической мощностью 30 МВт и тепловой 30 Гкал каждый, с замкнутым циклом теплоснабжения. Энергоблоки имеют водяную систему охлаждения, источником воды для которой служит находящаяся рядом река Северский Донец.

При работе ГТ ТЭЦ вырабатывается вторичный энергетический ресурс, являющийся технической водой системы охлаждения, температурный потенциал которого возможно использовать в таких современных энергосберегающих аппаратах как теплонасосная установка (ТНУ).

ТНУ позволяет утилизировать тепловую энергию вторичных энергетических ресурсов и придавать ей больший температурный потенциал, пригодный для нужд отопления или горячего водоснабжения, затрачивая электрическую энергию. При этом выработка тепловой энергии с использованием ТНУ далеко не всегда является экономически целесообразной, так как электрическая и тепловая энергии не равноценны, и увеличение выработки тепловой энергии по отношению к затраченной электрической энергии в ТНУ может привести к отрицательному экономическому эффекту [2].

Экономическая целесообразность использования ТНУ при производстве тепловой и электрической энергии на ТЭЦ будет зависеть от таких технико-экономических показателей ТЭЦ, как тепловой и электрический КПД, а также стоимости отпускаемой с ТЭЦ тепловой и электрической энергии.

На показатели теплового и электрического КПД влияют такие факторы как мощностная нагрузка энергоблоков и температура наружного воздуха.

С целью определения зависимости теплового и электрического КПД от мощностной нагрузки энергоблоков и температуры наружного воздуха проведено исследование Белгородской ГТ ТЭЦ в реальных условиях работы.

Опыты проводились при температуре наружного воздуха – 6 °С, с диапазоном нагрузок 5 МВт, от холостого хода до максимальной.

Таблица 1 – Зависимость электрического и теплового КПД ГТ ТЭЦ
от мощностной нагрузки энергоблоков

Электрическая нагрузка	МВт	32,45	29,375	24,34	19,94	14,96	9,99	4,9	0
Электрический КПД	%	41,53	39,32	36,73	32,69	31,51	24,19	16,27	0
Тепловая нагрузка	Гкал/ч	30,38	28,96	27,54	26,95	21,45	20,19	15,88	11,30
Тепловой КПД	%	44,49	44,91	47,48	51,35	52,00	56,58	61,00	69,25

Таблица 2 – Зависимость теплового КПД ГТ ТЭЦ
от температуры наружного воздуха

Параметры	Температура наружного воздуха, ^{0}C							
	-35	-23	-1,9	6,4	8,0	15,0	25,7	38
Нагрузка энергоблоков, %	100							
Тепловой КПД ГТ ТЭЦ	40,95	41,72	45,43	44,66	44,43	44,04	42,50	41,72

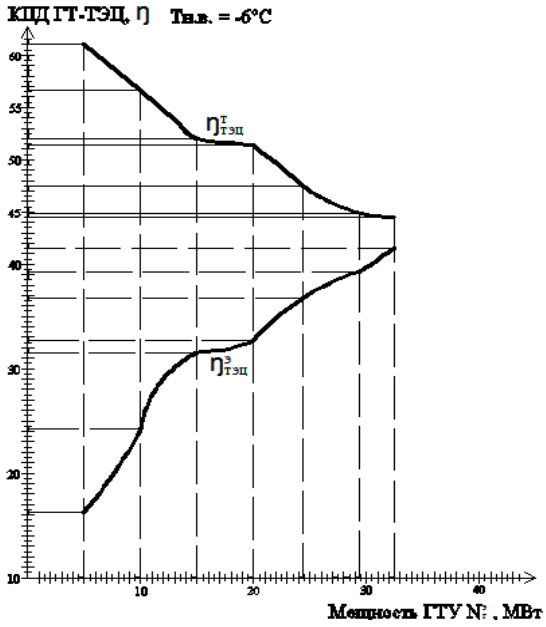


Рис. 1. Зависимость электрического и теплового КПД ГТ ТЭЦ
от мощностной нагрузки энергоблоков

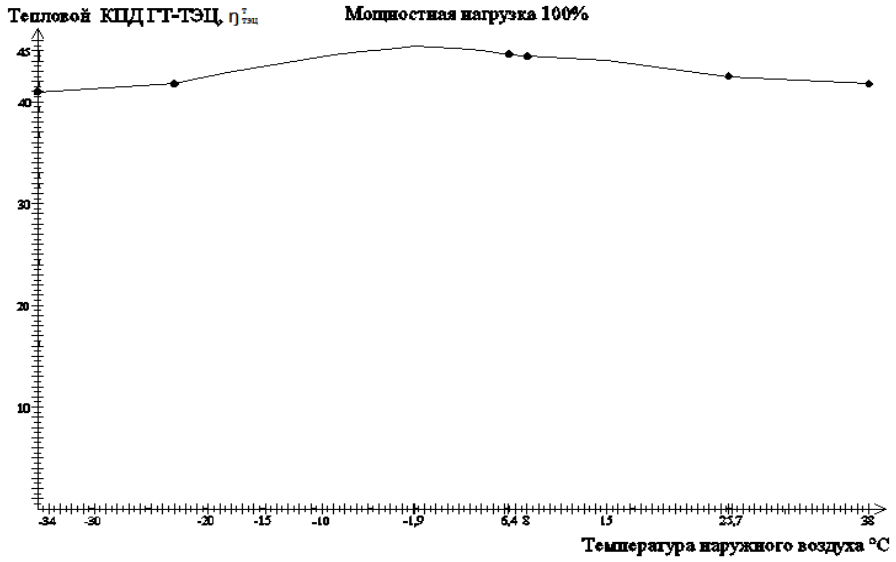


Рис. 2. Зависимость теплового КПД ГТ ТЭЦ от температуры наружного воздуха

Вывод. Получены объективные данные технико-экономических показателей работы Белгородской ГТ ТЭЦ в различных условиях работы, необходимые для выявления возможных путей повышения ее энергетической эффективности, а так же анализа экономической целесообразности применения ТНУ.

Список литературы

1. Андрющенко А. И., Николаев Ю. Е., Сизов С. В. Повышение эффективности систем теплофикации при совместной работе районных ТЭЦ, котельных и малых ТЭЦ // Промышленная энергетика. 2008. № 10. С. 19-22.

2. Волабуев И. В., Кущев Л. А., Петраков Г. Н. Разработка способа экономии газового топлива на ТЭЦ // Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 5-8 окт. 2010 г. / Белгород. гос. технол. ун-т. Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. Ч. 3. С. 53-62.

3. Сайт Производственно-Эксплуатационной Компании «ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ» http://tps3001.ucoz.ru/publ/teploehnergetika_i_opyt_syn_oshibok_trudnykh/2-1-0-4.

УДК 62-6

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОЖУХОТРУБНОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА

Л. А. Кущев*, Н. Ю. Никулин*

** Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, Россия, Белгород*

Рассмотрен один из методов повышения эффективности работы кожухотрубного теплообменного аппарата, который заключается в дополнительной турбулизации потока жидкости на теплообменной поверхности. Описан патент РФ «Кожухотрубный теплообменный аппарат», а также лабораторный стенд и программа исследования.

Ключевые слова: кожухотрубный теплообменный аппарат, патент, турбулизация, ребра криволинейного сечения, коэффициент теплопередачи

INTENSIFICATION OF PERFORMANCE SHELL-AND-TUBE HEAT EXCHANGER

L. A. Kushchev*, N. J. Nikulin*

** Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov, Russia, Belgorod*

This article contains one of the methods of intensification of performance shell-and-tube heat exchanger. It is additional turbulization water flow at the heat exchange surface. Also article states information about patent «Shell-and-tube heat exchanger», laboratory setting and research program.

Keywords: shell-and-tube heat exchanger, patent, turbulization, edge of curvilinear section, factor of heat transfer

В настоящее время широкое распространение в системах теплоснабжения получают теплообменные аппараты. Они используются в котельных, центральных и индивидуальных тепловых пунктах для приготовления теплоносителя для систем отопления и вентиляции, горячего водоснабжения и технологических нужд. В системах теплоснабжения применяются как пластинчатые, так и кожухотрубные теплообменные аппараты.

До недавнего времени в основном применялись кожухотрубные теплообменные аппараты с гладкими теплообменными трубками. Основной их недостаток заключается в малой поверхности теплообмена, а также невысоком коэффициенте теплопередачи (порядка 2000 Вт/(м^2·°С)). Поэтому проблема повышения эффек-

тивности их работы весьма актуальна. Так, ООО «Нижегородский завод теплообменного оборудования» производит подогреватели водоводяные улучшенные (ПВВУ) с дополнительной турбулизацией на теплообменных поверхностях, которые отличаются более высоким коэффициентом теплопередачи [1]. Такие ПВВУ на сегодняшний день установлены на предприятиях ЖКХ Белгородской области, в г. Магнитогорске (МП Трест «Теплофикация»), в г. Ульяновске (УМУП «Городская теплосеть») и др.

На кафедре «Теплогазоснабжение и вентиляция» БГТУ им. В.Г. Шухова (г. Белгород) проводятся исследования по повышению эффективности систем теплоснабжения, разработан кожухотрубный теплообменный аппарат с измененной геометрической поверхностью теплообмена (рис. 1, патент РФ [2]).

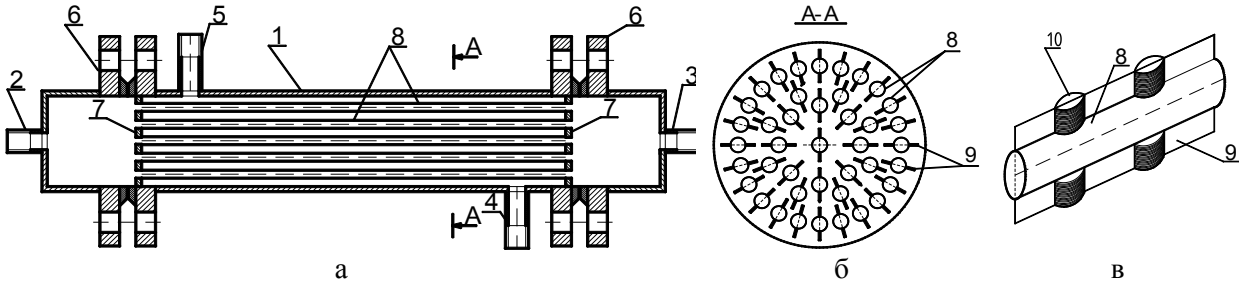


Рис. 1. Кожухотрубный теплообменный аппарат:
а – продольный разрез кожухотрубного теплообменного аппарата,
б – разрез, в – общий вид теплообменной трубки
1 – корпус, 2 – патрубок для подачи горячей жидкости, 3 – патрубок отвода охлажденной жидкости,
4 – патрубок для подачи нагреваемой жидкости, 5 – патрубок отвода нагретой жидкости,
6 – фланцевое соединение, 7 – поперечные перегородки,8 – теплообменные трубки,
9 – пластины, 10 – ребра криволенейного сечения

Приготовление горячей воды в предлагаемом аппарате происходит следующим образом. Горячая вода из котельной подается в патрубок 2, затем поступает в теплообменные трубки 8, нагревая их по всей длине. Проходя по трубкам, вода охлаждается и по окончании процесса выводится через патрубок 3. Нагреваемая вода поступает в корпус теплообменного аппарата 1 через патрубок 4, проходит, равномерно распределяясь, в межтрубном пространстве, находящемся между поперечными перегородками 7, омывая в продольном направлении теплообменные трубки 8 с пластинами 9, а также в поперечном направлении – ребра 10. Затем нагретая жидкость отводится через патрубок 5 и подается потребителю тепловой энергии.

Оснащение пластин 9 ребрами 10 криволинейного сечения позволяет увеличить теплообменную поверхность, а также создать дополнительную турбулизацию потока нагреваемой жидкости на пластинах при омывании ребер. Это приводит к повышению коэффициента теплопередачи, и в конечном итоге – к увеличению количества нагреваемой воды и снижению энергозатрат.

Рассмотрим изменения теплообменных процессов при теплоотдаче от твердого тела к жидкости с учетом дополнительной турбулизации потока (рис. 2).

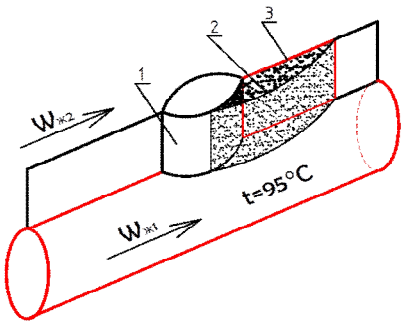


Рис. 2. Турбулизация потока жидкости ребром круглого сечения
1 – лобовая часть ребра, 2 – турбулизация в кормовой части ребра,
3 – участок плоской пластины в зоне повышенной турбулизации

При значениях числа Рейнольдса Re>>5 (что чаще всего наблюдается в условиях эксплуатации теплообменных аппаратов) ламинарный пограничный слой, образующийся в лобовой части 1 трубы, отрывается от ее поверхности, и в кормовой части 2 образуются вихри. Жидкость из-за своего вихревого движения взаимодействует с плоской пластиной (участок 3), установленной на теплообменной трубке. Вихревое движение, в свою очередь, приводит к уменьшению толщины ламинарного подслоя жидкости у пластины [3].

Важно отметить, что в ламинарном подслое перенос теплоты от стенки к жидкости (или наоборот) осуществляется теплопроводностью. И чем толще ламинарный подслой, тем меньше теплоты через него передается. Следовательно, уменьшение толщины ламинарного подслоя жидкости у пластины способствует увеличению передачи теплоты (повышению коэффициента теплоотдачи) через этот слой.

Коэффициент теплоотдачи от стенки к жидкости α , Вт/(м²·°С), определяется по формуле

$$\alpha = \frac{\lambda Nu}{l}, \qquad (1)$$

где λ – коэффициент теплопроводности тела, Вт/(м·°С), Nu – число Нуссельта, l – определяющий геометрический параметр поверхности (для пластины – длина, м).

Число Нуссельта Nu рассчитывается для турбулентного режима по формуле [4]:

$$Nu_{ж,\,l} = 0,037 \cdot \mathrm{Re}^{0,8}_{ж,\,l} \cdot \mathrm{Pr}^{0,43}_{ж,\,l} (\mathrm{Pr}_{ж,\,l} / \mathrm{Pr}_{сп})^{0,25}, \qquad (2)$$

где $\mathrm{Re}_{ж,\,l}$ – число Рейнольдса, которое повышается с появлением турбулизации потока жидкости, Pr – число Прандтля.

Из формулы (2) следует, что при увеличении чисел $\mathrm{Re}_{ж,\,l}$ и Pr увеличивается число $Nu_{ж,\,l}$. Из формулы (1) следует, что при повышении Nu растет коэффициент теплоотдачи α .

Таким образом, принятые конструктивные решения позволяют:

– повысить эффективность теплоотдачи кожухотрубного теплообменного аппарата;

– обеспечить более высокую производительность по целевому продукту (нагревание жидкости, например, воды);

– снизить гидравлическое сопротивление (энергозатраты).

Лабораторные исследования нового теплообменного аппарата проводятся на натурной установке (рис. 3).

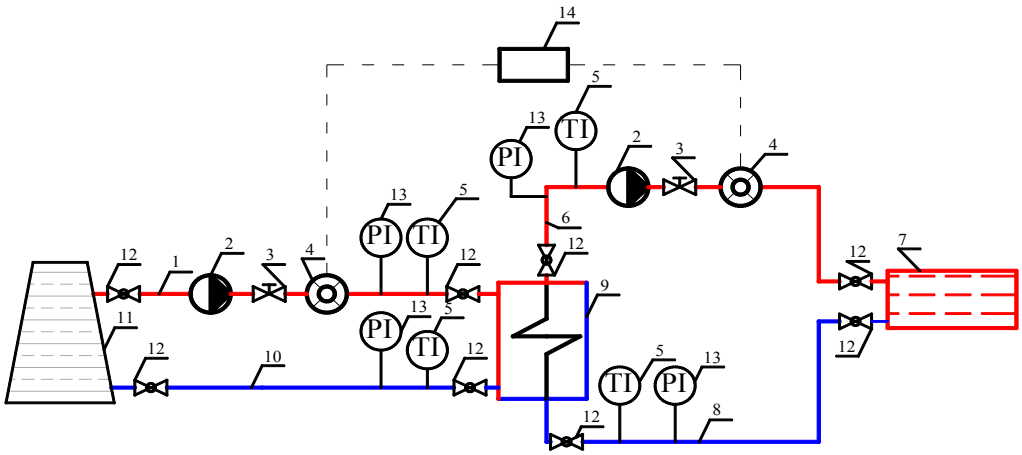


Рис. 3. Натурная установка «Модель независимой системы отопления жилого здания»

1 – подающий трубопровод от источника теплоснабжения, 2 – циркуляционный насос, 3 – регулирующее устройство, 4 – расходомер, 5 – термометр, 6 – подающий трубопровод от теплообменного аппарата, 7 – потребители системы отопления, 8 – обратный трубопровод (от системы отопления в теплообменный аппарат), 9 – теплообменный аппарат, 10 – обратный трубопровод к источнику теплоснабжения, 11 – источник теплоснабжения, 12 – отключающее устройство (шаровый кран), 13 – манометр, 14 – тепловычислитель

Ниже представлены 4 варьируемых фактора эксперимента и их значения на пяти уровнях (таблица).

Факторы эксперимента по исследованию теплообменного аппарата

Фактор	Размерность	Значение на пяти уровнях
Скорость теплоносителя трубках теплообменного аппарата $v_{тр}$	м/с	0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1
Температура в греющем контуре $T_{гк1}$	°С	70; 75; 80; 85; 90
Количество ребер круглого сечения на 1 м теплообменной трубки, n	шт	11; 14; 17; 20; 23
Скорость теплоносителя в межтрубном пространстве $v_{мп}$	м/с	0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1

Параметрами оптимизации являются: гидравлическое сопротивление межтрубного пространства (нагреваемого контура) Р, Па, и температура подающего трубопровода $T_{нк1}$,°С, в нагреваемом контуре. В результате проведения эксперимента будут построены зависимости: $T_{нк1} = f(v_{тр},\ T_{гк1},\ n,\ v_{мп})$ и $P = f(n,\ v_{мп})$.

Проведение поисковых экспериментов показало высокую эффективность предлагаемого технического решения. Расчетное снижение энергозатрат электроэнергии достигает 5%. Проведение полнофакторного эксперимента (ЦКРП ПФЭ) позволит определить радиус, рациональный шаг ребер круглого сечения, их высоту.

В конечном итоге с применением САПР будет разработан комплект чертежей кожухотрубных теплообменных аппаратов с измененной поверхностью теплообмена для различных тепловых нагрузок.

Список литературы

1. Каталог ООО «Нижегородский завод теплообменного оборудования»
2. Пат. РФ №149737. Кожухотрубный теплообменный аппарат. от 19.08.2014.

3. Нащокин В. В. Техническая термодинамика и теплоотдача: учеб. пособие для неэнергетических специальностей вузов. М.: Высш. шк., 1975.
4. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. 2-е изд., стер. М.: Энергия, 1977.
5. Львовский Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул: учеб. пособие для втузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1988. 239 с.

УДК 697

К ВОПРОСУ ОБ УЧЕТЕ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ И ВЛИЯНИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ОТПУСКА ТЕПЛОТЫ НА ТАРИФНУЮ ПОЛИТИКУ

Э. М. Малая*, Д. В. Голиков*

** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов*

Было проведено энергетическое обследование школы г. Саратова по ул. Соколовой. В результате обследования выявлен потенциал энергосбережения в размере 45 %. При внедрении энергосберегающих мероприятий необходим корректный выбор узла учета теплоносителя с учетом технико-экономических характеристик системы, сравнения технико-экономических показателей различных приборов учета и особенностей эксплуатации системы.

Ключевые слова: регулирование параметров теплоносителя, учет расхода теплоносителя, тепловая нагрузка, энергосберегающий эффект, тариф, температурный график, энергетический паспорт

TO THE QUESTION ABOUT THE FLOW OF THE HEAT AND THE INFLUENCE OF REGULATION OF HOLIDAY WARMTH ON TARIFF POLICY

E. M. Malaya*, D. V. Golikov*

** Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov*

Was conducted an energy audit of the school of Saratov on the street Sokolovaya. The survey identified that potential savings in the amount of 45%. At introduction of energy saving actions the correct choice of metering station of the heat carrier taking into account technical and economic characteristics of system, comparison of technical and economic indicators of various metering devices and features of operation of system is necessary.

Keywords: regulation of the heat carrier parameters, accounting for the flow of the heat carrier, heat load, energy saving effect, rate, temperature chart, the energy passport

Анализ режимов регулирования при проектных и фактических тепловых нагрузках на отопление и горячее водоснабжение по 6 районам г. Саратова при температурных графиках 130/70 и 100/70 показал, что при снижении температуры в подающем трубопроводе превышение расхода сетевой воды, например, в Волжском районе, при графике 100/70 расчетный расход увеличен в 2002 году в 1,49 раза, а в 2003 г. – в 1,53 раза. Было обследовано 13 центральных тепловых пунктов в Кировском районе г. Саратова [1]. На большинстве ЦТП установлены приборы учета параметров теплоносителя, с которых были сняты показания температуры и давления в подающем и обратном трубопроводах теплофикационной воды. Также были определены схемы присоединения систем отопления и горячего водоснабжения к ЦТП. У потребителей, которые присоединены к ЦТП по независимой схеме отопления и независимой схеме горячего водоснабжения, наблюдались низкие температуры в системе отопления и горячего водоснабжения, а у потребителей, подключенных по зависимой и открытой схемам, температура в системе

отопления и горячего водоснабжения наблюдалась в пределах нормы. При сравнении расчетных и фактических температур на ЦТП в подающем трубопроводе меньше в среднем на 10-15 °С, в обратном трубопроводе – на 5-8 °С, причем разность увеличивается с понижением наружной температуры. При сравнении расходов теплофикационной воды на тех же ЦТП ситуация следующая: разность между фактическими и расчетными расходами составляет 20% практически за весь отопительный период. При проектировании ТЭЦ, тепловых сетей и схем подключения потребителей к ним, закладывался в основу температурный график 130/70 °С с соответствующим расходом теплоносителя. Существующий режим не в состоянии полноценно покрыть все тепловые нагрузки, поэтому требуется либо строго соблюдать температурный график согласно паспорта, либо иметь промежуточный источник на магистрали [2].

Для эффективности финансирования вложений в энергосберегающие мероприятия в систему теплоснабжения и уменьшения тарифов необходимо для групп потребителей определить процент значения фактического теплопотребления и расход тепловой энергии после реализации энергосберегающих мероприятий. В школе г. Саратова по ул. Соколовой, количество учащихся в которой равно 300, было проведено энергетическое обследование и составлен энергетический паспорт. По результатам проведенного обследования потенциал сбережения тепловой энергии оценивается в 45 %. Основные и технические характеристики, необходимые для составления энергетического паспорта и оценки потенциала энергосбережения, приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1 – Основные характеристики зданий
Учебный корпус школы по ул. Соколовой г. Саратова

№ п/п	Характеристика здания	Размерность	Величина
1.	Год постройки	–	1968
2.	Год последнего кап. ремонта	–	–
3.	Число этажей	шт.	5
4.	Площадь здания в плане	$м^2$	5136
5.	Высота потолков	м	3,3
6.	Объем здания выше уровня земли	$м^3$	
7.	Полный объем здания	$м^3$	113847
8.	Наличие подвала	–	да
9.	Наличие чердака (технического этажа)	–	техн. этаж
10.	Наличие утеплителя на чердаке	–	да
11.	Число входов		
	- рабочих	шт.	2
	- запасных	шт.	3
12.	Наличие тамбуров на входах	–	да
13.	Наличие тепловой завесы	–	нет
14.	Количество ворот	–	–
15.	Количество окон	шт.	
16.	Состояние оконных рам		удовлетворительно
17.	Наличие вентиляции		естественная вытяжная

Таблица 2 – Технические характеристики зданий

№ п/п	Характеристика здания	Размерность	Величина
1.	Наименование здания		
2.	Геометрические характеристики здания		
	длина	м	
	ширина	м	
	высота	м	
3.	Крыша		
	материал перекрытия, толщина	м	железобетон, 0,22
	материал утеплителя, толщина	м	гравий керамзитовый, 0,15
	материал гидроизоляции, толщина	м	рубероид, 0,05
	толщина воздушной прослойки	м	-
4.	Стены		
	материал стен, толщина	м	кирпич силикатный, 0,64
	материал утеплителя, толщина	м	нет
	площадь стен	$м^2$	8383
	высота от уровня земли до верха стен первого этажа	м	4
	межэтажное расстояние (высота этажа начиная со второго)	м	3
5.	Остекление боковое		
	тип переплетов (алюминиевые, деревянные)		деревянные
	тип остекления (двойное, одинарное)		двойное
	расстояние между стеклами	м	0,08
	площадь остекления	$м^2$	2000
	высота от уровня земли до верха окна первого этажа	м	3,5
	межэтажное расстояние (высота от верха окна первого этажа до верха окна второго этажа)	м	3
6.	Двери и ворота		
	материал двери, толщина	м	дерево, 0,06
	материал ворот, толщина	м	-
	материал утеплителя ворот, толщина	м	-

Примечание: Графа «Геометрические характеристики здания» заполняется в случае, если здание имеет форму прямоугольника. В другом случае приводится вид здания в плане с указанием размеров.

Расчет с использованием методик, отличных от регламентированных в СНиП в части проектирования, реконструкции, ремонта, технического обслуживания и модернизации источников и систем инженерного оборудования зданий и сооружений [2], показал, что на первое место встает вопрос уменьшения теплоизоляции ограждающих конструкций здания и качественного остекления окон. Зачастую при расчете теплопотребления используются устаревшие типовые проекты, разработанные для потребителей жилых и общественных зданий, построенных до 1970 года и ранее, что и отражается в договорах на снабжение тепловой энергией.

Для составления корректной методики определения тепловой нагрузки и расхода теплоносителя необходим анализ энергопотребления и оплаты услуг по городам России, с выявлением недостатков и противоречий. Противоречия эти за-

ключаются в том, например, что, при укрупнении теплового источника, который может происходить только до определенных пределов, одновременно снижаются приведенные затраты на единицу мощности теплоисточника, и одновременно и возрастают приведенные затраты на транспорт теплоты ввиду увеличения диаметров теплопроводов и радиусов действия.

Требования к организации приборного учета для различных систем теплоснабжения приведены в итоговом документе РААСН, 2007 г. При выборе типа теплосчетчика необходим анализ технико-экономических характеристик системы теплоснабжения, сравнительный анализ различных типов приборов с учетом особенностей эксплуатации, а также технико-экономическое обоснование выбора.

Список литературы

1. СП 124.13330.2012 Тепловые сети (Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003).
2. Малая Э. М. Теплоснабжение: учеб. пособие. Саратов: СГТУ, 2010. 92 с.

УДК 697

РАСЧЕТ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ЭФФЕКТА В ЕДИНИЦАХ УСЛОВНОГО ТОПЛИВА ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ В ВОДЯНОМ ЭКОНОМАЙЗЕРЕ

Э. М. Малая*, Д. В. Голиков*

** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов*

По золошлакоудалительному тракту котла отводятся дымовые газы. Они имеют высокое содержание вредных веществ и высокую температуру. Утилизируют теплоту уходящих дымовых газов через теплообменные поверхности и в прочих устройствах. Определяется экономический эффект от передачи теплоты дымовых газов водяному экономайзеру для получения горячей воды. Эффективность показывается в виде сэкономленного расхода газа в единицах условного топлива.

Ключевые слова: дымовой газ, экономайзер, котельный тракт, топка, коэффициент избытка воздуха, рекуперативный, регенеративный, смесительный теплообменник, котел-утилизатор, коаксиальный газоход, сушильная установка, единица условного топлива

CALCULATION OF ENERGY SAVING EFFECT IN UNITS OF NOMINAL FUEL BY UTILIZATION OF WARMTH OF FLUE GASES IN THE WATER ECONOMIZER

E. M. Malaya*, D. V. Golikov*

** Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov*

Flue gases are discharged on the tract of saleslocation of the boiler. They have a high content of harmful substances and high temperature. Heat of the leaving flue gases is utilize through the heat exchange surface and in the other apparatus. Is determined the economic effect of the heat transfer of the flue gases to a water economizer to produce a hot water. Efficiency is shown in the form of saved flow rate of a gas in units of nominal fuel

Keywords: the flue gas, economizer, boiler tract, furnace, coefficient of air-excess, recuperative, regenerative, mixing heat exchanger, boiler-utilizer, coaxial flue, drying apparatus, units of nominal fuel

Одной из главных задач процесса снабжения потребителей тепловой энергией рабочего тела (в системе теплоснабжения рабочим телом могут быть вода, пар, воздух), а также при протекании технологического процесса является максимальная эффективность использования первичной энергии. Для теплового источ-

ника это энергия топлива, сжигаемого в котельном агрегате, преобразуемая в зависимости от вида источника в тепловую, или в тепловую и электрическую.

Поэтому котельный агрегат устраивается таким образом, чтобы тепловая энергия, образуемая за счет сжигания топлива в топке, была максимально использована. Для этого по ходу движения газа в газовом тракте котла устраиваются теплообменные поверхности, внутри которых циркулирует вода, пар или дутьевой воздух, расположенные, как правило, последовательно. Пройдя все теплообменные поверхности и отдав тепловую энергию воде, пару или воздуху, газы все еще сохраняют достаточно высокую температуру, которая, если ее не утилизировать, выбрасывается в атмосферу, попутно загрязняя ее.

В дымовых газах котельных и ТЭЦ содержится множество ядовитых веществ, основными из которых являются оксиды азота и серы. Сера содержится в мазуте, дизельном топливе, каменных углях и выбрасывается в атмосферу вместе с дымовыми газами в виде диоксида серы, который при контакте с парами атмосферной влаги может превратиться в серную кислоту. При сгорании топлива выбрасывается также оксид азота, который затем доокисляется в атмосфере до диоксида азота и при контакте с атмосферной влагой превращается в азотную кислоту. Последствия выбросов веществ, содержащихся в дымовых газах, – возникновение кислотных дождей, коррозия металлов и прочие негативные эффекты. Поэтому, помимо утилизации теплоты дымовых газов, необходимо также предусмотреть их качественную очистку перед выбросом в атмосферу в специальных очистных аппаратах, а также проводить мероприятия, уменьшающие вредные выбросы, такие как, например, переход на более чистое газовое топливо, освоение методов улавливания конкретного вещества и пр.

Использование энергии дымовых газов – одно из направлений сбережения тепловой энергии на теплоисточнике. Использоваться она может в теплообменниках различного типа – рекуперативного, регенеративного или смесительного (аппаратах контактного типа, например КТАН), коаксиальных газоходах, организованных по принципу теплообменника, котлах-утилизаторах, сушильных установках за счет интенсификации передачи теплоты технологическому процессу. При использовании теплоты теплообменники могут быть организованы в одну или несколько ступеней (например, при организации утилизации тепла дымовых газов в две ступени в теплообменнике первой ступени может нагреваться дутьевой воздух, подаваемый на горение топлива, а во второй ступени – водопроводная вода, тепловая энергия которой может идти, например, на собственные нужды котельной или потребителю.

Для того, чтобы рассчитать примерную экономию сжигаемого топлива за счет утилизации теплоты дымовых газов в экономайзере, необходимо знать состав топлива, температуру газов на входе в экономайзер и на его выходе, коэффициенты избытка воздуха в топке и за экономайзером, теплоемкость газов, расход топлива и КПД котельного агрегата.

Для того чтобы найти экономию топлива, необходимо определить количество теплоты, отдаваемое дымовыми газами водяному экономайзеру, которое зависит от среднего расхода газов через экономайзер, для определения которого, помимо изначально заданных (измеренных) параметров, необходимо знать теоретический объем воздуха для полного сгорания 1 $м^3$ газа, а также теоретический объем продуктов сгорания.

Определим экономию в единицах условного топлива при использовании теплоты, отдаваемой уходящими газами котельной водяному экономайзеру для получения горячей воды.

Исходные данные.

- топливо – природный газ Саратовского месторождения;
- состав газа, %:
  CH_4 – 94,7
  C_2H_6 – 1,8
  C_3H_8 – 1,2
  C_4H_{10} – 0,1
  N_2 – 3,0
  CO_2 – 0,2
- температура газов на входе в экономайзер $t_{вх.эк.} = 300°C$;
- температура газов на выходе из экономайзера $t_{вых.эк.} = 160\ °C$;
- коэффициент избытка воздуха в топке $\alpha_m = 1$;
- коэффициент избытка воздуха за экономайзером $\alpha_y = 1,3$;
- средняя объемная теплоемкость газов $c_{г.ср.} = 1,415$ *кДж / (кг*К)*;
- расчетный расход топлива котлоагрегата $B_p = 0,35\ м^3/с$
- КПД котельного агрегата $\eta_к = 87\%$

Определяем теоретический объем воздуха ($м^3/м^3$), необходимый для полного сгорания 1 $м^3$ нашего газа по формуле

$$V^o = 0,0478\left[0,5(CO + H_2) + 1,5H_2S + 2CH_4 + \sum (m + n/4)C_mH_n - O_2)\right]$$

$$= 0,0478\left[2 \cdot 94,7 + 3,5 \cdot 1,8 + 5 \cdot 1,2 + 6,5 \cdot 0,1\right] = 9,67 м^3 / м^3$$

Определяем теоретический объем продуктов сгорания:

$$V_г^o = V_{с.г.}^o + V_{H_2O}^o = V_{RO_2} + V_{N_2}^o + V_{H_2O}^o$$

$$V_{RO_2} = 0.01\left[CO_2 + CO + H_2S + \sum mC_mH_n\right] =$$

$$= 0.01\left[0.2 + 94,7 + 2 \cdot 1,8 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1\right] = 0,995 м^3 / м^3$$

$$V_{N_2}^o = 0,79V^o + N_2 / 100 = 0.79 \cdot 9.67 + 3 / 100 = 7.67 м^3 / м^3$$

$$V_{H_2O}^o = 0,01\left[H_2S + H_2 + \sum (n/2)C_mH_n + 0.124d_г\right] + 0.0161V^o =$$

$$= 0,01\left[2 \cdot 94,7 + 3 \cdot 1,8 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1\right] + 0,0161 \cdot 9,67 = 2,12 м^3 / м^3,$$

где $d_г$ – влагосодержание газообразного топлива, отнесенное к 1 $м^3$ сухого газа, $d_г = 10$ г/$м^3$.

$$V_г^o = 0,995 + 7,67 + 2,12 = 10,795 м^3 / м^3$$

Определяем расход уходящих газов из котельной перед экономайзером по формуле

$$V_г = nB_p\left[V_г^o + (\alpha_y - 1)V^o\right] \times \left[(t_{вх.эк.} + 273) / 273\right],$$

где n – количество котлоагрегатов,
B_p – расчетный расход топлива, $м^3$/с,
α_y - коэффициент избытка воздуха за экономайзером,
$t_{вх.эк.}$ - температура газов на входе в экономайзер.

$$V_г = 0,35\left[10,795 + (1,3 - 1) \cdot 9,67\right] \times \left[(300 + 273) / 273\right] = 10,06 м^3 / с$$

Определяем расход уходящих газов за экономайзером по формуле:

$$V_г^{'} = nB_p\left[V_г^o + (\alpha_y - 1)V^o\right] \times \left[(t_{вых.эк.} + 273)/273\right]$$

где $t_{вых.эк.}$ – температура газов на выходе из экономайзера.

$$V_г^{'} = 0{,}35\left[10{,}795 + (1{,}3-1)\cdot 9{,}67\right] \times \left[(160+273)/273\right] = 7{,}6 м^3/с$$

Средний расход уходящих газов при их охлаждении в экономайзере от $t_{вх.эк.}$ до $t_{вых.эк.}$:

$$V_{г.ср.} = (V_г + V_г^{'})/2 = (10{,}06 + 7{,}6)/2 = 8.83 м^3/с$$

Находим количество теплоты, отдаваемой уходящими котельными газами водяному экономайзеру:

$$Q_т = V_{г.ср.} c_{г.ср.} (t_{вх.эк.} - t_{вых.эк.}) = 8{,}83 \cdot 1{,}415(300-160) = 1749 кДж/с$$

Определяем экономию условного топлива (кг/с) за счет использования теплоты дымовых газов:

$$B_{эк} = \frac{Q_т}{29300\eta_к}$$

где *29300 кДж/кг* – теплота сгорания условного топлива,
$\eta_к$ – КПД котельного агрегата, %

$$B_{эк} = \frac{1749}{29300 \cdot 0{,}87} = 0{,}0686 кг/с = 247 кг/ч$$

В целом энергосберегающий эффект от использования теплоты дымовых газов будет зависеть, помимо характеристик самих газов, от типа утилизатора, его конструкции, формы, площади и материала теплообменной поверхности. Чем меньше температура уходящих дымовых газов перед выбросом в атмосферу, тем эффективнее процесс утилизации. Для увеличения эффективности схемы утилизации отходящего тепла организуют в несколько ступеней.

УДК 696.48-62

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ СИСТЕМА ПРИ УСТАНОВКЕ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ УЧРЕЖДЕНИИ ГТУ

Э. М. Малая*, И. М. Бычкова*

** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов, e.m.malaya@mail.ru,bychkovaim@mail.ru*

Приводится расчет образовательного учреждения после энергосберегающего теплового пункта ГТУ. Экономия финансовых затрат составляет порядка 40 %.

Ключевые слова: газотурбинная установка (ГТУ), тепловой пункт, узел учета, компоновка оборудования, энергосбережение, образовательное учреждение

ENERGY SAVING SYSTEM WHEN INSTALLED IN AN EDUCATIONAL INSTITUTION GTU

E. M. Malaya*, I. M. Bychkova*

** Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov, e.m.malaya@mail.ru,bychkovaim@mail.ru*

Here is the calculation of the educational institution after the energy-saving thermal point GTU. Financial cost savings is about 40%.

Keywords: gas turbine unit (GTU), heating unit, metering, equipment layout, energy saving, educational institution

Газотурбинная установка (ГТУ) – энергетическая установка: конструктивно объединённая совокупность газовой турбины, электрического генератора, газовоздушного тракта, системы управления и вспомогательных устройств (пусковое устройство, компрессор, теплообменный аппарат или котёл-утилизатор для подогрева сетевой воды для промышленного снабжения).

Газотурбинная установка состоит из двух основных частей: силовая турбина и электрический генератор, которые размещаются в одном корпусе. Поток газа высокой температуры воздействует на лопатки силовой турбины (создает крутящий момент). Использование тепла посредством теплообменника или котла-утилизатора обеспечивает увеличение общего КПД установки.

В настоящее время газотурбинные установки начали широко применяться в малой энергетике.

ГТУ предназначены для эксплуатации в любых климатических условиях как основной или резервный источник электроэнергии и тепла для объектов производственного или бытового назначения. Области применения газотурбинных установок практически не ограничены: нефтегазодобывающая промышленность, промышленные предприятия, муниципальные образования.

Блочно-модульное исполнение ГТУ обеспечивает высокий уровень заводской готовности газотурбинных электростанций. Степень автоматизации газотурбинной электростанции позволяет отказаться от постоянного присутствия обслуживающего персонала в блоке управления. Контроль работы станции может осуществляться с главного щита управления, дистанционно.

Тепловой пункт представляет собой комплекс технологического оборудования, которое используется в процессе теплоснабжения, вентиляции и горячего водоснабжения потребителей (жилых и производственных зданий, строительных площадок, объектов социального назначения). Главное назначение тепловых пунктов – это распределение тепловой энергии от тепловой сети между конечными потребителями (на примере обследования школы с общежитиями и спортивными комплексами) [1].

Все тепловые пункты полностью автоматизированы, что сводит к минимуму эксплуатационные и трудовые затраты. Работа пунктов ТП заключается в водоподготовке, регулировании параметров теплоносителя, его распределении и контроле требуемых параметров, отключении и защите систем теплопотребления в случае аварийных ситуаций, учете расхода теплоносителя и получаемой энергии.

Тепловые пункты образовательных учреждений могут иметь разные тепловые схемы, типы систем теплопотребления и характеристики используемого оборудования, что зависит от индивидуальных требований заказчика. Комплектация ТП определяется на основе технических параметров тепловой сети:

- тепловые нагрузки на сеть;
- температурный режим холодной и горячей воды;
- давление систем тепло- и водоснабжения;
- возможные потери давления;
- климатические условия и т.д.

В открытой системе теплоснабжения вода для работы теплового пункта поступает непосредственно из теплосетей. Водозабор может быть полным или частичным. Объем воды, забранный для нужд теплового пункта, восполняется поступлением воды в теплосеть [2]. Следует отметить, что водоподготовка в таких системах осуществляется только на входе в теплосеть. Из-за этого качество воды, поступающей потребителю, оставляет желать лучшего.

Открытые системы, в свою очередь, могут быть зависимыми и независимыми.

В зависимой схеме подключения теплового пункта к тепловой сети теплоноситель из теплосетей попадает непосредственно в систему отопления. Такая система достаточно проста, так как в ней отсутствует необходимость установки дополнительного оборудования. Хотя эта же особенность ведет к существенному недостатку, а, именно к невозможности регулирования подачи тепла потребителю.

Независимые схемы подключения теплового пункта характеризуются экономической выгодой (в частности, в образовательном учреждении до 40% финансовых затрат по образовательному учреждению, включающему 4 учебных корпусов и 7 общежитий), так как в них между оборудованием конечных потребителей и источником теплоэнергии установлены теплообменники тепловых пунктов, которые регулируют количество подаваемого тепла. Также неоспоримым преимуществом является повышение качества подаваемой воды.

Список литературы

1. Малая Э. М. Теплоснабжение: учеб. пособие. Саратов: СГТУ, 2012. 92 с.

2. Малая Э. М., Осипова Н.Н. Городские и поселковые системы теплоснабжения: учеб. пособие. Саратов: СГТУ, 2012. 132 с.

3. СП 124.13330.2012. Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003. 2013. 78 с.

УДК 621.6

СНИЖЕНИЕ РЕСУРСОЕМКОСТИ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Н. Н. Осипова*, О. А. Спасскова*

** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов*

Приводятся результаты исследований выбору оптимальных параметров систем кондиционирования воздуха с учетом минимизации денежных ресурсов и металлоемкости.

Ключевые слова: система кондиционирования воздуха, операционный блок, капитальные вложения, оптимальная скорость движения воздуха, эксплуатационные расходы

THE REDUCTION OF RESOURCE INTENSITY OF AIR CONDITIONING SYSTEMS

N. N. Osipova*, O. A. Spasskova*

** Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia, Saratov*

The article presents the results of studies choice of optimal parameters of air conditioning systems with a view to minimizing financial resources and metal.

Keywords: the air conditioning system, an operating unit, capital investments, optimal air speed, operating costs

Для обеспечения оптимальных параметров внутренней среды в зданиях и сооружениях медицинского назначения обязательно устраиваются системы вентиляции и кондиционирования воздуха [1, 2].

Однако, как показывает опыт проектирования систем вентиляции и кондиционирования воздуха, подбор диаметров производится на основе допустимых скоростей движения воздуха в воздуховодах, которая в большинстве случаев приводит к необоснованно завышенным значениям поперечных сечений участков, что увеличивает материалоемкость и соответственно стоимость системы.

Увеличение скорости движения воздуха в воздуховодах при заданной величине его расхода приведет к уменьшению диаметров, а значит, и вложений в систему вентиляции и кондиционирования воздуха. В то же время, возрастает напор, развиваемый вентилятором и как следствие, количество электроэнергии, расходуемой на перемещение воздуха. Таким образом, мы имеем рост общих расходов по эксплуатации вентиляционной установки.

В этом случае, оптимизация параметров принимаемой системы определяется в соответствии с целевой функцией задачи:

$$З_{скв} = \sum_{i=1}^{n} З_i = f(\sum_{i=1}^{n} К_i(d, v_{opt}, l); c_э; \tau; P_i; L; \eta) = \min, \quad (1)$$

где $\sum_{i=1}^{n} З_i$ – суммарные затраты по участкам системы руб./год; d – диаметр участка, м; v_{opt} – оптимальная скорость движения воздуха в воздуховодах, м/с; L– расход перекачиваемой среды, $м^3/с$.; l – длина участка воздуховода, м; P – потеря давления в воздуховодах, численно равная напору, развиваемому нагнетателем, Па; τ – число часов работы установки в году, ч/год; $c_э$ – удельная стоимость электроэнергии, руб/кВт·ч; η – КПД установки, равный произведению КПД вентилятора и электродвигателя при работе на номинальном режиме.

При ограничениях целевой функции:

$$0.1 \text{ м} < d < d_{max};\ 4.0 \text{ м/с} < v_{opt} < 8.0 \text{ м/с} \quad (2)$$

Данные ограничения вводятся для конкретного объекта проектирования, исходя из назначения, конфигурации здания и его планировки, требований к уровням шума в помещениях.

Рассмотрим вариант системы кондиционирования операционного блока (рис. 1).

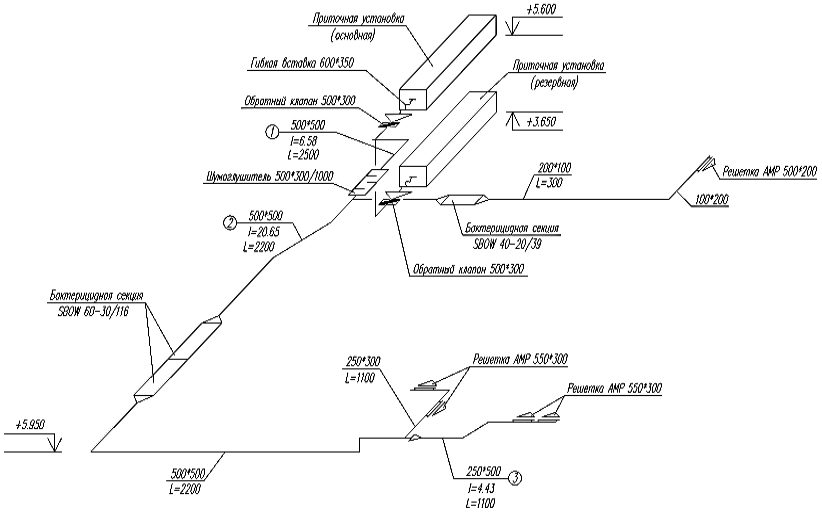


Рис. 1. Схема системы кондиционирования операционного блока

Реализация задачи производилась при следующих исходных данных:

1. Расчетный расход воздуха L_1=2500 м^3/ч, L_2=2200 м^3/ч, L_3=1100 м^3/ч.
2. Длина воздуховода l_1=6.58 м, l_2=20.65 м, l_3=4.43 м.
3. КПД вентиляционной установки η=0,8.
4. Общее число часов работы системы в году τ=3168 ч.
5. Удельная стоимость электроэнергии $c_э$=4.95 руб./(кВт ч).
6. Доля годовых отчислений на эксплуатацию воздуховода 0,16 1/год.
7. Максимально допустимая скорость движения воздуха по требованиям акустики v_{max}=8,0 м/с.
8. Ограничение по диаметру воздуховода d<360 мм (с учетом высоты помещения).

Сравнивая полученные затраты по исследуемым вариантам между собой, выявляем их минимальное значение. Минимальной величине приведенных затрат $З_{min}$ соответствует оптимальное значение скорости воздуха в воздуховоде v_{opt} [3]. Результаты решения задачи приведены на рис. 2.

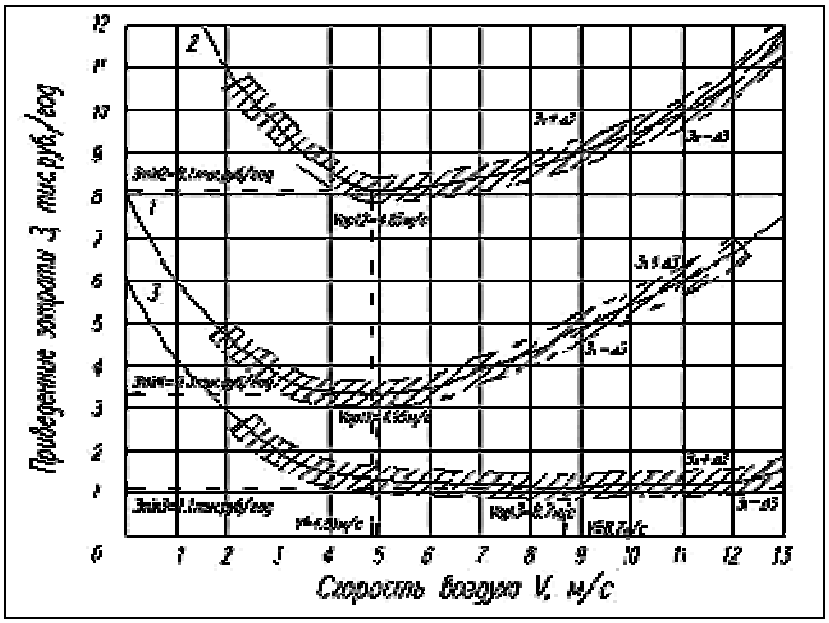


Рис. 2. К выбору оптимальной скорости движения воздуха на участках системы

Как видно из рис. 2, наличие зоны экономической неопределенности ($\Delta З=\pm 3\%$) обусловливает диапазон равноэкономичных скоростей от V′=4.85 м/с до V″=8.7 м/с. В соответствии с принятыми ограничениями по допустимой скорости движения диапазон равноэкономичных скоростей принимается от V′=4.85 м/с до V″=8.0 м/с.

Согласно нормативной сетке диаметров, указанному диапазону скоростей соответствует по несколько стандартных диаметров воздуховодов на каждом участке исследуемой системы:

1 участок – 450 мм (скорость воздуха 4.4 м/с), 400 мм (скорость воздуха 5.5 м/с), 355 мм (скорость воздуха 7.0 м/с);

2 участок – 400 мм (скорость воздуха 4.85 м/с), 315 мм (скорость воздуха 7.74 м/с);

3 участок – 250 мм (скорость воздуха 6.2 м/с), 225 мм (скорость воздуха 7.6 м/с).

В соответствии с принятыми ограничениями (2), были определены затраты по уравнению целевой функции (1).

Приведенные затраты в систему вентиляции с учетом оптимизации скоростей

$$З_{скв} = \sum_{i=1}^{3} З_i = 3{,}36 + 8{,}1 + 1{,}1 = 12{,}56 \text{ тыс. руб./год.} \quad (3)$$

Затраты в указанную систему при задании допустимых скоростей движения воздуха в воздуховоде

$$З_{скв}^{норм} = \sum_{i=1}^{3} З_i = 6{,}14 + 11{,}11 + 1{,}25 = 18{,}5 \text{ тыс. руб./год.} \quad (4)$$

Как показывают проведенные исследования, применение на практике технико-экономического обоснования принимаемых решений обеспечивает экономию материальных ресурсов более 30 %.

Дополнительные исследования по изменению ресурсоемкости системы показывают, что учет оптимизации скоростей движения воздуха в воздуховодах обусловливает снижение общей массы системы кондиционирования воздуха на 14%.

Список литературы

1. СП 118.13330.2012 «СНиП 31-06-2009 Общественные здания и сооружения».

2. СанПиН 2.1.3.2630-10 Санитарно-эпидемиологические требования к организациям, осуществляющим медицинскую деятельность.

3. Курицын Б. Н. Технико-экономическая оптимизация систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха: учеб. пособие. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2009. 72 с.

4. Краснов Ю. С. Системы вентиляции и кондиционирования. Рекомендации по проектированию для производственных и общественных зданий. М.: Техносфера; Термокул, 2006. 288 с.

УДК 332.05

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ ПРИ ПОМОЩИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

В. А. Кузьмина*, С. Н. Данилова*

** Саратовский социально-экономический институт Российского экономического университета имени Плеханова Г.В., Россия, Саратов, ler1808@yandex.ru*

Рассматривается энергоэффективность зданий как возможное решение широкого спектра проблем как экономического, так и экологического характера. Особое внимание уделено возобновляемым источникам энергии (их различным типам) и новым техникам в энергосбережении, прежде не используемым.

Ключевые слова: строительство, энергоэффективность, энергосбережение, экология, энергетика, возобновляемые источники энергии, солнечная энергия

ENERGY EFFICIENCY INCREASING IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY USING RENEWABLE ENERGY SOURCES

V. A. Kuzmina*, S. N. Danilova*

** Saratov Socio-Economic Institute, branch of Plekhanov G. V. State Economic University, Russia, Saratov, ler1808@yandex.ru*

The article highlights the energy efficiency of buildings, as a possible solution to a wide range of problems such as economic and environmental. Special attention is paid to renewable energy sources (different types) and to new techniques in energy conservation, not applied before.

Keywords: construction, energy efficiency, energy conservation, ecology, energy, renewable energy, solar energy

Энергия, используемая в зданиях, составляет большую долю от общего конечного потребления энергии [1]. Энергоэффективное здание обеспечивает не только благоприятный микроклимат внутри помещения, но и при его возведении учитываются различные экологические аспекты. Для экологии проблемы энергоэффективности зданий и вопросы использования возобновляемых источников энергии являются одними из важнейших, однако есть ряд других вопросов, которые также следует рассмотреть, а именно использование земельного участка, расположение здания, уменьшение загрязнений во время строительства, увеличение потенциального срока службы здания и использование экологически безопасных материалов.

Нельзя не учитывать и большой народнохозяйственный потенциал энергосбережения в строительном секторе. По сведениям московского фонда «Институт экономики города», только на отопление зданий в России расходуется более 400 млн тонн условного топлива ежегодно, а это 25% годовых энергоресурсов страны. Данные об оплате отопления в типичном 10-этажном доме проекта свидетельствуют, что расход тепла на квадратный метр жилой площади превышают почти в 2 раза расходы тепла 1 на $м^2$ в год в таких холодных странах Европы как Швеция и Финляндия.

Энергоэффективность зданий в значительной степени зависит от систем вентиляции и кондиционирования. Энергопотребление здания определяется также структурой ограждающей конструкции, выбранной системы ОВК (Отопление, Водоснабжение, Кондиционирование) и их технической эксплуатации. Материал, из которого сделаны оконные системы, и качество самой установки также имеют немаловажное значение при проектировании здания.

Солнечное затенение является одним из вопросов, где архитекторы могут значительно повлиять на качество строительства и энергоэффективность [2]. При хорошей защите от солнца потребность в охлаждении может быть уменьшена до 40-50 Вт/этаж-$м^2$. Необходимость повышения энергоэффективности зданий требует серьезного подхода к решению вопроса о системах вентиляции и кондиционирования, которые будут использованы при строительстве (например, системы низкой температуры нагрева и высокой температуры охлаждения, полного кондиционирования здания, вытесняющей вентиляции и др.). Энергоэффективность решений заключается в том, что для каждой отдельной зоны используется особая система охлаждения, например система полного кондиционирования в зонах основных тепловых нагрузок от людей (актовый зал), тогда как в офисной среде более экономичным для

передачи тепловой энергии является использование воды. Поэтому при проектировании необходимо разработать решения, которые могут быть применены при различных температурных условиях в помещениях в течение всего срока эксплуатации здания, и использования материалов, способных адаптироваться к различным условиям и предназначенных для создания комплексных решений. Таким образом, благоприятный микроклимат помещения может быть обеспечен с меньшими затратами энергии, если выбрана система, позволяющая оптимизировать энергоэффективность охлаждения и отопления. Также уменьшение потребности в охлаждении и отоплении позволит более эффективно использовать возобновляемые источники энергии, такие как тепловые насосы типа «Грунт-вода», наружный воздух (естественное охлаждение), солнечные батареи, биоэнергия, ветер и т.д.

Использование возобновляемых источников энергии может быть пассивным или активным [3]. Пассивная система возобновляемой энергии используется как альтернатива классическим способам отопления или охлаждения, а активные системы преобразуют энергию, например, от солнца или ветра.

Для того чтобы здание нагревалось от солнечной энергии, стекла должны быть расположены таким образом, чтобы захват солнечного света и тепла был оптимальным. Когда здание теплоизолировано и энергоэффективно, пассивной солнечной энергии достаточно для обеспечения значительной доли спроса на тепло даже в условиях холодного климата. Так как здание получает разное количество солнечной энергии как в течение года, так и в течение дня, конструкция должна сохранять баланс солнечной энергии. Зданию, получающему слишком много тепла, может потребоваться охлаждение, что нейтрализует повышение эффективности пассивного отопления. Для пассивного солнечного отопления зданий требуются особые методы балансировки отопления отдельных зон для создания благоприятного микроклимата во всем здании.

В пассивных системах охлаждения могут быть использованы природные ресурсы, способные уменьшить потребность в охлаждении зданий (вода или земля). При использовании таких систем необходимо учитывать разность дневных и ночных температур и другие факторы. Еще раз отметим, что для обеспечения возможности использования естественной вентиляции в крупных постройках требуется особый подход еще на этапе проектирования. Как правило, это достигается разработкой специальной формы здания и отдельных его элементов. Пассивное охлаждение и вентиляция могут существенно сократить энергопотребление, но в настоящее время в РФ существуют определенные сложности, связанные с введением новых стандартов строительства.

В активных системах использования возобновляемых источников энергии она активно преобразуется в тепло, холод или электричество, и используется в качестве элемента энергопитания, который поступает от невозобновляемых источников, таких как системы вентиляции и кондиционирования, часто интегрированных в корпус здания. Солнечные водонагреватели являются одним из наиболее перспективных возобновляемых энергоресурсов, поскольку в них вода нагревается за счет солнца и тепла; кроме того, они способны длительное время сохранять накопленную энергию. Подобные системы могут использоваться для обогрева здания, но в случае, когда они являются единственным способом отопления, еще

больше актуализируется необходимость экономного использования и сохранения энергии, иногда даже до следующего «солнечного» сезона.

Фотоэлектрическая система (ФЭ) является еще одним примером активного использования солнечной энергии в зданиях, так как позволяет преобразовать солнечную энергию в электрическую. В отличие от системы солнечных водонагревателей, в ФЭ энергия может трансформироваться прямо на охлаждение и использоваться в качестве источника охлаждения. Кроме того, она не нуждается в аккумулировании большого количества энергии, так как производит энергию лишь при необходимости. Другие возобновляемые источники энергии в здании могут быть представлены небольшими встроенными ветряными генераторами или системами, использующими биомассу или отходы от зданий. Также для увеличения количества получаемой из возобновляемых источников энергии могут быть использованы тепловые насосы.

Таким образом, возобновляемые источники энергии могут стать главным фактором повышения энергоэффективности зданий [4]. Экономия энергии и ресурсов, повышение энергосберегающего потенциала зданий, увеличение потенциального срока службы зданий, решение отдельных экологических проблем, снижение выброса углерода в строительной отрасли – все это выгодно для национальной экономики страны с макроэкономической точки зрения.

Несмотря на очевидную выгоду использования современных технологий энергосбережения, проблемой остается реальность внедрения возобновляемых источников энергии в строительство, поскольку это требует крупных финансовых вложений со стороны заказчиков строительства. Однако последние должны учитывать, что срок окупаемости энергоэффективных технологий в строительстве может составлять несколько лет при постоянном снижении затрат, связанных с энергией, то есть данные технологии являются инвестиционно привлекательными.

Таким образом, инвестирование в повышение энергоэффективности поможет решить ряд весомых проблем как экономического, так и экологического характера. Поэтому необходимы, прежде всего, экономические стимулы, поощряющие внедрение энергоэффективных технологий. Разумное государственное вмешательство помогло бы сломать не только организационно-управленческие и нормативные барьеры, но и существующие стереотипы, и предубеждения против инновационных решений в жилищном и коммерческом строительстве.

Список литературы

1. Lautsen J. Energy efficiency requirements in building codes, energy efficiency, policies for new buildings [Электронный ресурс] // International Energy Agency: [official website]. URL: http: //www.iea.org/ publications /freepublications /publication/energy-efficiency-requirements-in-building-codes-policies-for-new-buildings.html

2. Lehmann S. Energy-efficient building design: towards climate-responsive architecture [Электронный ресурс] // URL: http://www.eolss.net/

3. Site of the Horizon 2020 Work Programme 2014–2015 [Электронный ресурс] // URL: http: //ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/secure-clean-and-efficient-energy#Article

4. Обозов А. Дж., Ботпаев Р. М. Возобновляемые источники энергии. Бишкек: Изд-во Кыргыз. техн. ун-та, 2010. 224 с.

УДК 697.34

КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

С. Г. Культяев*, Э. М. Малая*

** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов, svyatoslav@kultyaev.ru, e.m.malaya@mail.ru*

Предложена модель гидравлической и температурной оптимизации распределительных тепловых сетей. По полученным результатам проведено моделирование процесса снижения температуры теплоносителя распределительными тепловыми сетями для жилого микрорайона в Ленинском районе г. Саратова. Результаты моделирования сравнены с фактическими значениями температур теплоносителя для данного микрорайона

Ключевые слова: теплоснабжение, моделирование, теория графов, матрица Якоби, тепловая сеть, оптимизация, теплоноситель, расход, температура

COMPLEX METHODS OF OPTIMIZATION CENTRALIZED THERMAL NETWORKS

S. G. Kultyaev*, E. M. Malaya*

** Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov, svyatoslav@kultyaev.ru, e.m.malaya@mail.ru*

The article describes a model hydraulic and thermal optimization of heat distribution networks. According to the results simulated process to reduce the flow temperature heat distribution networks for residential neighborhood in the Leninsky district of Saratov. The simulation results are compared with the actual values of temperature for a given

Keywords: heat supply, simulation, graph theory, the Jacobi matrix, thermal network, optimization, coolant, flow, temperature

Разработка схем теплоснабжения и наладка системы теплоснабжения представляют собой сложную задачу. Важными этапами наладки тепловых сетей являются разработка и внедрение комплекса технических и организационных мероприятий, обеспечивающих расчетные температуры внутри отапливаемых помещений и подачу расчетного количества теплоносителя в каждую систему теплопотребления, а также существенное сокращение теплопотерь участками трубопроводов. Поэтому немаловажным становится расчет оптимального режима функционирования тепловых сетей. Целью проведения этих расчетов являются создание оптимальных гидравлических и тепловых режимов в тепловых сетях, которые позволят осуществить рациональное распределение теплоносителя между потребителями в строгом соответствии с их тепловой нагрузкой.

Для разработки был использован участок закольцованной тепловой сети (рис. 1), соединяющий 7 потребителей тепловой энергии с источником теплоты (в нашем случае – центральный тепловой пункт (ЦТП).

Для создания математической модели воспользуемся теорией графов. В этом случае трубопроводы системы теплоснабжения являются дугами графа, а абоненты и тепловые камеры – вершинами графа (рис. 2). Данный граф является связным, ориентированным и имеет 3 контура, при котором каждые два соседних ребра имеют общую вершину, и никакое ребро не встречается более одного раза; начало и конец пути связаны с вершиной 1 (источник теплоты).

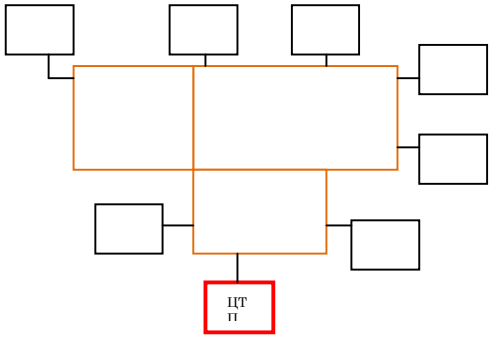


Рис. 1. Схема участка закольцованной тепловой сети

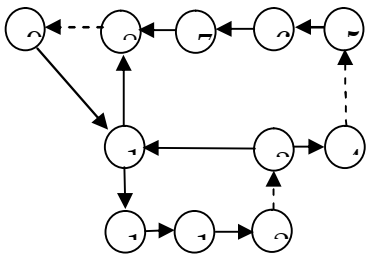


Рис. 2. Граф тепловой сети

Для удобства изображения графа тепловой сети воспользуемся матрицами $A = (a_{ij})$ *и* $B = (b_{ij})$

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

$$B = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Матрица A описывает связь каждой вершины графа с соседними ребрами, матрица B описывает ориентацию ребер в каждом контуре.

Для описываемой системы применимы следующие законы:

• Закон сохранения массы: общий объем поступившего теплоносителя в рассматриваемый узел равен сумме объемов теплоносителей вышедших из него:

$$A\vec{\dot{V}} = \vec{0}, \quad (3)$$

где вектор потока $\vec{\dot{V}} = \{\dot{V}_1, \dot{V}_2, ..., \dot{V}_{11}\}$

• Закон сохранения энергии: сумма перепадов давления на краях одного контура равно 0:

$$B\vec{\Delta p} = \vec{0}, \quad (4)$$

где вектор разницы давлений $\vec{\Delta p} = \{\Delta p_1, \Delta p_2, ..., \Delta p_{11}\}$

Столбцы матрицы B описывают распределение потока теплоносителя по сечению трубы согласно выражению

$$\vec{\dot{V}} = B^T \vec{\dot{V}}_l, \quad (5)$$

где вектор потока $\vec{\dot{V}}_L = \{\dot{V}_1, \dot{V}_2, ..., \dot{V}_{11}\}$

Уравнение (3) уменьшает количество неизвестных до трех.

Каждый участок трубы имеет свое гидравлическое сопротивление, которое пропорционально скорости потока теплоносителя, проходящего через данный участок

$$\Delta p = R_{уч} \cdot V^2, \tag{6}$$

$R_{уч}$ зависит от коэффициента гидравлического сопротивления, плотности жидкости, длины и диаметра рассматриваемого участка. Если $R_{уч}$ найден для всех участков трубопровода, то уравнение сохранения энергии примет вид

$$B \cdot f(\vec{V}) = \vec{0}; \quad f : \Re^n \to \Re^n, \tag{7}$$

или

$$B \cdot f(B^T \cdot \vec{V}_L) = F(\vec{V}_L) = \vec{0}, \tag{8}$$

с применением вектор-функции

$$F = f \cdot B^T, \tag{9}$$

Данная нелинейная система уравнений решается с помощью итерационного метода Ньютона, который может быть описан в следующем порядке:

— устанавливается начальное значение $\vec{V}_L$

— $F(\vec{V}_L)$ рассчитывается по формулам помощью (8) и (6)

— рассчитывается матрица Якоби JF используя $JF = B \cdot diag(f') \cdot B^T$ и $f' = \frac{\partial f_i}{\vec{V}_i}$

— решается система линейных уравнений $JF \cdot \Delta\vec{V}_l = -F(\vec{V}_l)$ путем применения стандартных численных методов (например, метод исключения Гаусса или метод квадратных корней)

— вычисляется $\vec{V}_l = \vec{V}_l + \Delta\vec{V}_l$

Последние четыре процедуры повторяются до тех пор, пока значение $\left\|\vec{V}_l\right\|$ не станет достаточно малым (в пределах 10^{-3} л/ч). Остальные значения расходов могут быть впоследствии рассчитаны с использованием (5) и проверяются с помощью (3).

Рассмотрим подробнее систему теплораспределения между абонентами теплотрассы. Каждая труба теплотрассы состоит из конечного числа единичных участков с диаметром D и длиной dx. Обозначим через $\dot{Q}_o$ потери тепла участком трубопровода из-за конвективного теплообмена, а через $d\dot{Q}_i$ – потери тепла лучистым теплообменом. Введем следующие обозначения: m – масса, c_p – удельная теплоемкость, h – энтальпия, k – коэффициент теплопередачи от поверхности трубы окружающей среде (земле) , T – температура теплоносителя, $T_{ок}$ – температура окружающей среды.

Применим для единичного участка трубы первый закон термодинамики:

$$\frac{\partial(m,h)}{\partial t} = \dot{Q}_o - \dot{Q}_o(x+dx) - d\dot{Q}_i, \tag{10}$$

Разложим выражение $\dot{Q}_o(x+dx)$ в ряд Тейлора

$$\dot{Q}_o(x+dx) = \dot{Q}_o(x) + \frac{\partial \dot{Q}_o(x)}{\partial x} dx, \tag{11}$$

получим

$$\frac{\partial(m,h)}{\partial t} = -\frac{\partial \dot{Q}_o(x)}{\partial x}dx - d\dot{Q}_i, \tag{12}$$

Если предположить, что следующие два уравнения верны:

$$\frac{\partial \dot{Q}_o(x)}{\partial x} = \frac{\partial(\dot{m}_x h)}{\partial x} = \dot{m}_x c_p \frac{\partial T}{\partial x}, \tag{13}$$

$$d\dot{Q}_i = k \cdot dx \cdot (T - T_{окр}), \tag{14}$$

получим

$$mc_p \frac{\partial T}{\partial t} = -\dot{m}_x c_p \frac{\partial T}{\partial x}dx - k \cdot dx \cdot (T - T_{окр}), \tag{15}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{\dot{m}_x}{\rho D}\frac{\partial T}{\partial x} - \frac{k}{\rho D \cdot c_p} \cdot (T - T_{окр}), \tag{16}$$

Последнее выражение описывает распределение температуры в единичном сегменте трубы. Для приближенного и последовательного решения уравнения применим метод конечных разностей

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial x} = \frac{T(x,t) - T(x-dx,t)}{dx}, \tag{17}$$

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \frac{T(x,t) - T(x,t-dt)}{dt}, \tag{18}$$

Подстановка выражений (18) и (17) в (16) позволяет рассчитать $T(x,t)$ на основе значений $T(x-dx,t)$ и $T(x,t-dt)$. Решение уравнений в частных производных (16) для суммы всех единичных элементов трубопроводов (то есть для всей системы) означает определение распределение температур теплоносителя по всей длине теплотрассы после dt с. Для каждого интервала времени dt должны выполняться условия: разделение одной длинной трубы на конечное число участков с известными диаметрами и длинами. Расчет для каждого участка трубы значений $\frac{\partial T}{\partial x}$ и $\frac{\partial T}{\partial t}$ по уравнениям 17 и 18. Для расчета для каждого элемента трубы в качестве начального условия принимается значение температуры теплоносителя в начале участка трубы, оценивание теплопотерь ведется по значению температур в начале и конце участка.

Изменение температуры теплоносителя внутри трубы происходит постоянно: через каждый малый отрезок времени dt, теплоноситель проходит участок трубы длиной dx, при этом его температура снижается на dT. Таким образом, для каждого последующего участка трубы начальными условиями являются конечные условия предыдущего участка. То есть если теплоноситель в трубу 1 поступает из труб 2 и 3, то справедливо выражение

$$T_1 = \frac{\sum \dot{m}_i \cdot T_{кон,i}}{\sum \dot{m}_i} = \frac{\dot{m}_2 \cdot T_{кон,2} + \dot{m}_3 \cdot T_{кон,3}}{\dot{m}_2 + \dot{m}_3}. \tag{19}$$

Таким образом, для определения снижения температуры внутри системы трубопроводов производятся:

– задание начальной температуры в начале расчетного участка

– расчет падения температуры dT на единичном участке трубопровода dx за время dt Расчет температуры в узле производится по правилу (4) Общее сниже-

ние температуры теплоносителя внутри системы трубопроводов находится как сумма падений температуры dT на всех единичных участках трубопровода dx.

Ввиду большого количества итерационных расчетов по определению падения температуры на каждом единичном участке, был создан программный комплекс.

Моделирование процесса снижения температуры теплоносителя распределительными тепловыми сетями производилось для жилого микрорайона в Ленинском районе г. Саратова при помощи разработанного программного комплекса, работающего по вышеизложенным математическим моделям. Проверка модели производилась на основе трех параметров, измеренных приборами: температуры теплоносителя, уходящего от источника, температуры теплоносителя, поступившего к абонентам, температуры теплоносителя, ушедшего от абонентов, и температуры возвращаемого теплоносителя на источник, скорость движения теплоносителя в системе. По фактическим температурам в подающих и обратных трубопроводах можно судить о фактических теплопотерях трубопроводами.

Расчетные потери тепла составляют 9,8 % и характеризуются тепловой энергией, переданной с поверхности трубы грунту. Это меньше, чем реальные составляющие, около 11,2%. Разница между расчетной и измеренной величиной может быть объяснена следующим образом. Смоделированная сеть имеет общую длину труб 8,65 км (в однотрубном исполнении). Для остальных (неучтенных участков) теплопотери были определены согласно уравнению

$$Q_{i,r} = \int_{18окт}^{10апр} k_a L_r (T_{труб} - T_{окр}) dt \,, \qquad (20)$$

где $Q_{i,r}$ – потери тепла оставшимися (не учтенными) участками труб, k_a – средний коэффициент теплопередачи труб, $T_{труб}$ – температура воды в подающих и обратных трубопроводах.

Рис. 3 показывает хорошее совпадение расчетных и измеренных значений.

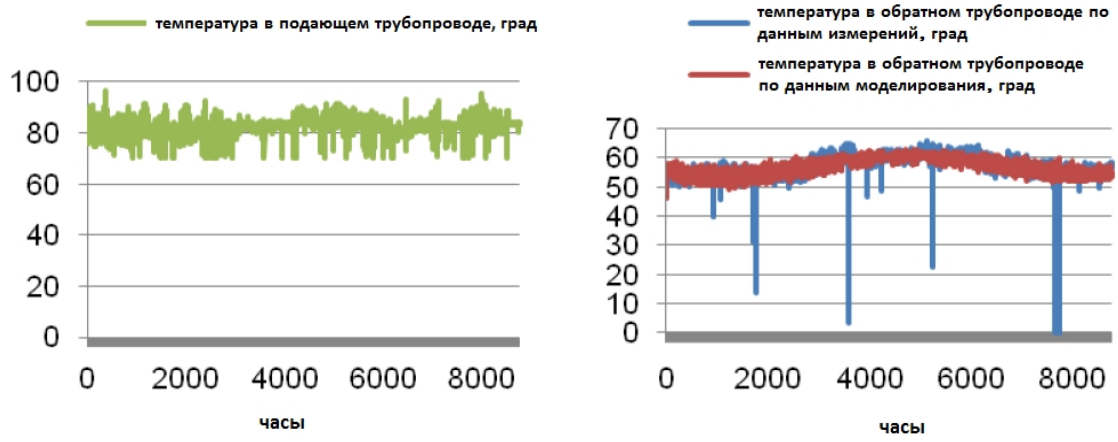


Рис. 3. Температура теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах

Список литературы

1. Шаргут Я., Петелла Р. Эксергия / пер. с польск.; под ред. В.М. Бродянского. М.: Энергия, 1968. 280 с.

2. Янтовский Е. И. Потоки энергии и эксергии. М.: Наука, 1988. 44 с.

3. СП 124.13330.2012 Свод правил Тепловые сети Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003. М.: Минрегион России, 2012.

УДК 621.6

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОВОГО ТОПЛИВА В СИСТЕМАХ СНАБЖЕНИЯ СЖИЖЕННЫМ ГАЗОМ С КОМБИНИРОВАННОЙ РЕГАЗИФИКАЦИЕЙ

Б. Н. Курицын*, Н. Н. Осипова*, С. С. Кузнецов*

** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов, osnat75@mail.ru*

Приводятся результаты исследований по эффективности использования газового топлива в условиях комбинированной регазификации сжиженного углеводородного газа. Результаты исследований показывают, что фракционный характер испарения СУГ не влияет на взаимозаменяемость газов при комбинированной регазификации.

Ключевые слова: схема комбинированной регазификации, сжиженный углеводородный газ, приведенное число Воббе, теплотворная способность газов

ENERGY EFFICIENCY USING GAS AS FUEL IN THE SUPPLY CHAIN WITH A COMBINED LNG REGASIFICATION

B. N. Kuritsin*, N. N. Osipova*, S. S. Kuznetsov*

** Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia, Saratov, osnat75@mail.ru*

The results of studies on the effectiveness of the use of gas fuel in a combined regasification of liquefied petroleum gas. The results show that the fractional nature of evaporation of LPG does not affect the interchangeability of gas in combined regasification.

Keywords: scheme combined regasification of liquefied petroleum gas, given the Wobbe index, calorific value of gas

Сжиженные углеводородные газы (СУГ) получили широкое распространение в отечественной и зарубежной практике газоснабжения потребителей, удаленных от магистральных газопроводов природного газа. Снабжение потребителей сжиженным газом осуществляется преимущественно на базе индивидуальных или групповых резервуарных установок с искусственной регазификацией СУГ.

Недостатком искусственной регазификации СУГ является ее энергоемкость за счет привлечения промежуточных теплоносителей при работе испарителей.

Важным резервом снижения энергоемкости процесса регазификации СУГ является перевод резервуарных установок на режим комбинированной регазификации [1]. Однако, как показывают исследования, отбор паровой фазы из расходного резервуара вызывает изменение его фракционного состава практически от пропана (в начальной стадии эксплуатации резервуарной установки) до бутана (в конечной стадии эксплуатации резервуарной установки). Как следствие, в газовые приборы поступает газовая смесь переменного состава, которая оказывает определенное влияние на эффективность его использования.

Следует отметить, что системы газоснабжения в комбинированном режиме работы обладают свойством саморегулирования. В начальный период эксплуатации в газовые приборы поступает низкокалорийная газовая смесь (пропан), но при повышенном давлении, в конце эксплуатации – высококалорийная газовая смесь (бутан), но при пониженном давлении. Указанное обстоятельство стабилизирует тепловые нагрузки и не оказывает заметного влияния на КПД газовых приборов.

Приведенные соображения реализует математическая модель тепловой эффективности использования газового топлива в системах газоснабжения с комбинированной регазификацией СУГ.

В общем виде она представляет собой следующую систему уравнений:

– уравнение для приведенной тепловой нагрузки газового прибора (число Воббе):

$$W_o^{пр} = \frac{Q_р^н \sqrt{P_{вых}}}{\sqrt{\rho}}; \quad (1)$$

– уравнения для физических параметров газовой смеси:

$$Q_р^н = Q_{р,пр}^н \psi_{пр}^п + Q_{р,б}^н \left(1 - \psi_{пр}^п\right), \quad (2)$$

$$\rho = \rho_{пр}^п \psi_{пр}^п + \rho_Б^п (1 - \psi_{пр}^п), \quad (3)$$

$$P_{вых} = -10{,}3G + 48Pвх + 322; \quad (4)$$

где G – расход сжиженного газа, $м^3/ч$; $P_{вых}$ – давление сжиженного газа на выходе из регулятора, даПа; $P_{вх}$ – давление сжиженного газа на входе в регулятор, МПа (изб.), [2];

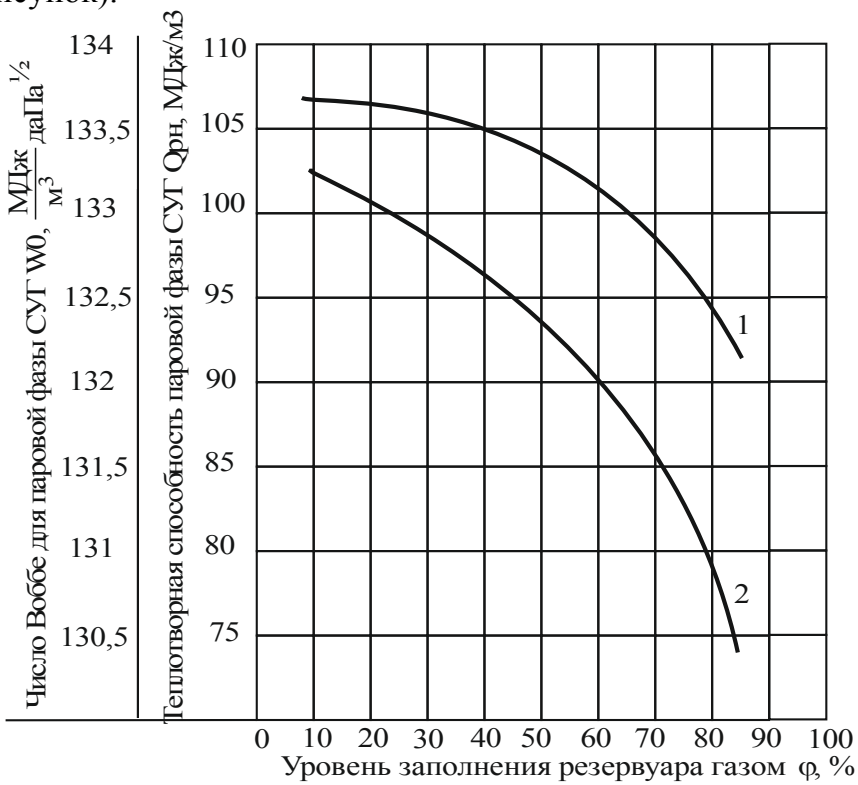
– уравнения термодинамического равновесия паровой и жидкой фаз в расходном резервуаре:

$$\psi_{пр}^п = \psi_{пр}^ж \frac{P_{пр}}{P_{вх}}, \text{где } P_{вх} = P_{пр}\psi_{пр}^ж + P_б\left(1 - \psi_{пр}^ж\right); \quad (5)$$

$$P_{пр} = 10\,\frac{A_{пр} - B_{пр}}{c_{пр} - t_ж};\; P_б = 10\,\frac{A_б - B_б}{c_б - t_ж}, \quad (6)$$

где $t_ж$ – температура жидкой фазы СУГ в резервуаре [2].

Реализация математической модели (1)-(6) позволила оценить динамику теплотворной способности газа и тепловых нагрузок газовых приборов (числа Воббе). Графическая интерпретация результатов исследования представлена на графиках (рисунок).



Динамика параметров паровой фазы СУГ при комбинированной регазификации:
1 – изменение теплотворной способности паровой фазы СУГ;
2 – изменение числа Воббе паровой фазы СУГ

Как видно из графиков (рисунок), несмотря на изменения уровня заполнения резервуара СУГ в процессе эксплуатации резервуарной установки (от 85 до 10%) благодаря саморегулированию системы газоснабжения, тепловая нагрузка газового прибора и соответствующее ей число Воббе изменяются в достаточно узком диапазоне: от 130,4 (МДж/м³)даПа$^{1/2}$ в начале эксплуатации резервуарной установки до 133,3 (МДж/м³)даПа$^{1/2}$ в конце эксплуатации резервуарной установки. Указанные колебания тепловой нагрузки составляют 2,3% и полностью отвечают требованиям действующих стандартов к взаимозаменяемости горючих газов.

Список литературы

1. Курицын Б. Н., Осипова Н. Н., Кузнецов С. С. Резервуарные системы снабжения сжиженным газом с комбинированным отбором жидкой и паровой фаз // Вестник строительства и архитектуры. Орел: ОрелГАУ, 2010. С. 352-356.

2. Курицын Б. Н., Осипова Н. Н., Кузнецов С. С. Разработка математической модели комбинированной регазификации сжиженного углеводородного газа // Вестник СГТУ. 2011. № 4 (59). С. 218-224.

УДК 621.646.4 – 696.2

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА РЕГУЛЯТОРАМИ ПКФ «ЭКС-ФОРМА»

И. Б. Кучмин*, А. Б. Костерин**, В. И. Тарасенко**

** ООО ПКФ «ЭКС-ФОРМА», Россия, Саратов*

*** Владимирский государственный университет, Россия, Владимир*

Рассматривается проблема рационального регулирования давления газа в сетях СГРГП. Предложены перспективные модели регуляторов газа производства ПКФ «ЭКС-ФОРМА».

Ключевые слова: газоснабжение, система газораспределения и газопотребления (СГРГП), регулятор давления газа (РДГ)

MAIN FEATURES OF GAS PRESSURE AUTOMATIC CONTROL BY THE MEANS OF PTC «EX-FORM» REGULATORS

I. B. Kuchmin*, A. B. Kosterin**, V. I. Tarasenko**

** PTC «EX-FORM» LLC, Russia, Saratov*

*** Vladimir State University, Russia, Vladimir*

We consider the problem of a rational gas regulation in gas distribution and consumption system. There are offer some prospective models of gas regulators producing by PTC “EX-FORM”.

Keywords: gas supply, gas distribution and consumption system (GDCS), gas regulator (GR)

Перед предприятиями и организациями по газоснабжению и газификации стоят большие задачи по обеспечению бесперебойности, надежности и безопасности газоснабжения. Главным и вместе с тем наиболее трудновыполнимым требованием, предъявляемым к системе газораспределения и газопотребления (СГРГП), является поддержание давления газа в газоиспользующем оборудовании на заданном значении при произвольных изменениях расхода в сети в широких пределах. При повышении давления газа от номинального нарушаются режимы работы газоиспользующего оборудования, а при понижении давления – уменьшаются его КПД и производительность. В различных технологических процессах, включая

работу городской СГРГП, возникает необходимость поддерживать тот или иной режим работы системы. Поддержание нужного режима осуществляется с помощью систем автоматического регулирования, исполнительными органами которых являются автоматические регуляторы давления газа (РДГ).

Регулятор, воспринимая отклонение регулируемых параметров от заданных значений, т.е. отзываясь на нарушение заданного режима регулируемого объекта, приводит в действие регулирующий орган и тем самым вновь восстанавливает равновесный режим.

В СГРГП регуляторы служат для снижения давления газа и автоматического поддержания выходного давления газа на заданном уровне независимо от отбора газа потребителями и колебаний входного давления. Это достигается путем автоматического изменения степени открытия дросселирующего органа регулятора, благодаря чему автоматически изменяется гидравлическое сопротивление потоку газа. При увеличении гидравлического сопротивления дросселирующего органа (прикрывание затвора) перепад давления на нем возрастает, что приводит к снижению давления за регулятором, а при понижении гидравлического сопротивления (открывание затвора) перепад давления уменьшается и давление за регулятором увеличивается, но не более чем до значения давления перед регулятором.

Поскольку процесс регулирования давления газа осуществляется за счет потерь энергии потока в дросселирующем органе РДГ, давление за регулятором будет всегда ниже, чем перед регулятором, поэтому регуляторы давления используются для двух целей – для снижения давления и его поддержания на заданном уровне.

При работе РДГ в системе автоматического регулирования он отрабатывает тот или иной вид выходного сигнала, используемого для регулирующего воздействия, которое обычно называют законом регулирования. В зависимости от характера закона регулирования регуляторы подразделяются на следующие типы [1, 2]:

- релейные – отрабатывающие релейный закон регулирования;
- статические – отрабатывающие пропорциональный закон регулирования;
- пропорционально-дифференциальные – отрабатывающие пропорционально-дифференциальный закон регулирования;
- астатические – отрабатывающие интегральный закон регулирования;
- изодромные – отрабатывающие пропорционально-интегральный закон регулирования;
- пропорционально-интегрально-дифференциальные – отрабатывающие пропорционально-интегрально-дифференциальный закон регулирования.

В газовом хозяйстве получили распространение в основном регуляторы, отрабатывающие релейный, пропорциональный и пропорционально-интегральный законы регулирования. Регуляторы, отрабатывающие релейный закон регулирования, применяются обычно в котловой автоматике.

При пропорциональном законе регулирования изменение проходного сечения дроссельного отверстия пропорционально разности давлений. К статическим регуляторам относятся мембранные регуляторы с пружинной нагрузкой. Эти регуляторы отличаются тем, что в установившемся режиме работы регулируемая величина не может оставаться на заданном значении, а меняется с изменением нагрузки объекта.

При интегральном законе регулирования скорость изменения проходного сечения дроссельного отверстия пропорциональна разности между выходным текущим и расчетным значениями давления. В установившемся режиме работы одному и тому же положению регулирующего органа могут в различное время соответствовать разные значения регулируемой величины, и, наоборот, одно и то же значение регулируемой величины может иметь место при разных положениях регулирующего органа. При отклонении регулируемой величины от заданной регулирующий орган будет перемещаться до тех пор, пока регулируемая величина не восстановится на заданном значении, т.е. значение регулируемой величины в установившемся режиме поддерживается этим регулятором на заданном уровне независимо от нагрузки регулируемого объекта, и при этом статическая неравномерность отсутствует, что является их положительной особенностью.

Сравнение регуляторов с пропорциональным и интегральным законами регулирования показывает, что первые обладают преимуществом по динамическим свойствам и обеспечивают лучший переходный процесс регулирования, а преимущества вторых обусловлены отсутствием статической неравномерности, т.е. лучшими статическими свойствами в установившемся режиме. Поэтому в практике применяются регуляторы с пропорционально-интегральным законом регулирования, которые известны под названием регуляторов с упругой обратной связью или изодромными. При отклонении текущего значения регулируемой величины от задания регулятор этого типа в начальный момент времени переместит регулирующий орган на величину, пропорциональную величине отклонения, однако если при этом регулируемая величина не придет к заданному значению, регулирующий орган будет перемещаться до тех пор, пока регулируемая величина не достигает своего заданного значения.

Основная трудность при подборе РДГ состоит в том, что регулируемые объекты различны по своим динамическим свойствам. Они могут иметь участки с «бесконечно» большими объемами, например при питании многочисленных сетей, до совершенно коротких участков с объемом в несколько кубометров и менее, например, подвод к горелкам топок водогрейных и паровых котлов с относительно высоким потреблением газа. Регулятор должен не только стабильно работать в широком диапазоне нагрузок от минимального потребления газа (для розжига) до полной нагрузки, но и быстро реагировать на резкую смену нагрузки в этих пределах.

Способы придания системам автоматического регулирования достаточного запаса устойчивости разнообразны. Современным способом решения поставленной задачи является правильный выбор регулятора давления для того или иного объекта регулирования на базе автоматизированной системы синтеза объекта регулирования. В качестве первого шага к реализации программы синтеза предлагается формирование базы данных современных регуляторов на основе перспективных РДГ производства ПКФ «ЭКС-ФОРМА», особенности которых мы кратко опишем.

Регуляторы давления газа, поставляемые ООО ПКФ «ЭКС-ФОРМА», предназначены для редуцирования давления газа и автоматического поддержания выходного давления в заданных пределах независимо от изменения входного давления и расхода газа. На их базе разработаны и выпускаются газорегуляторные установки и газорегуляторные пункты различных модификаций, характерной осо-

бенностью которых являются малые габариты, современный дизайн, широкий диапазон параметров, способный удовлетворить запросы любого потребителя.

Особенности регуляторов давления газа производства ПКФ «ЭКС-ФОРМА»:

- прямоточные или комбинированные;
- пропускная способность до 10^5 м^3/ч;
- диапазон входных давлений 0,025…1,2 МПа;
- РТИ фирмы EFFBE, дроссельные и соединительные элементы Camozzi.

Номенклатура выпуска регуляторов давления газа производства ПКФ «ЭКС-ФОРМА»:

- регуляторы давления газа РДУК;
- регуляторы давления газа РДНК;
- регуляторы давления газа РДГ;
- регуляторы давления газа РДБК;
- бытовые регуляторы EKB;
- бытовые регуляторы VF;
- бытовые регуляторы RF-10/25;
- бытовые регуляторы FE-10/25;
- бытовые регуляторы РДГК-10.

Список литературы

1. Ревин А. И., Адинсков Б. П., Щуркин Е. П. Регулирующее и предохранительное оборудование для современных систем газоснабжения: монография. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1989. 136 с.

2. Надежность и качество процессов регулирования современных систем газоснабжения: монография / под общ. ред. В. С. Седака; Харьк. нац. акад. город. хоз-ва. Харьков, 2011. 226 с.

3. ЭКС-ФОРМА. Каталог продукции 1991–2015 гг. Кн. 1: Регуляторы давления газа [Электронный ресурс]. Электрон. каталог. [Б. м.], 2015. Режим доступа: http://www.exform.ru/download/regulator.pdf.

УДК 621.6.036

ВЫЯВЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПАРИТЕЛЕЙ СЖИЖЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ

А. В. Рулев*, П. В. Копытин*

** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов, nautech@inbox.ru*

Предложены технические решения и аналитические зависимости по достижению технико-экономического эффекта от применения промышленных испарителей на базе электрического испарителя с твердотельной промежуточной теплопередающей средой по сравнению с существующими аналогами. Расчет экономической эффективности промышленных испарителей показал экономию денежных затрат 58,9 млн. рублей в год в расчете на каждые 100 испарителей.

Ключевые слова: сжиженные углеводородные газы, испаритель, теплопередающая среда, пропан-бутан, экономический эффект, сравнение, энергоноситель

IDENTIFICATION OF THE ECONOMIC EFFECT OF APPLYING INDUSTRIAL VAPORIZERS LIQUEFIED PETROLEUM GAS

A. V. Rulev*, P. V. Kopytin*

** Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov, nautech@inbox.ru*

Proposed technical solutions and analytic depending on the achievement of technical and economic benefits from the use of industrial evaporators based electric evaporator with a solid intermediate heat transfer medium in comparison with existing analogues. Calculation of economic efficiency of industrial evaporators showed cost savings cost 58,9 million Rubles per year per every 100 evaporators.

Keywords: liquefied petroleum gases, evaporator, heat transfer medium, propane, butane, economic effect, comparison, energy source

В настоящее время в мировой практике газоэнергоснабжения промышленных объектов, которые удалены от основных источников энергоснабжения, все более широко используются децентрализованные системы газоэнергоснабжения потребителей, снабжаемые пропан-бутановыми смесями сжиженного углеводородного газа (СУГ) от резервуарных установок.

При использовании СУГ в системах резервуарного газоснабжения он подвергается искусственному испарению в электрических промышленных трубных испарителях (ПТИ) с жидкой промежуточной теплопередающей средой (ПТС) в условиях ее естественной конвекции.

С целью проверки технико-экономической эффективности предлагаемых промышленных электрических испарителей СУГ с твердотельной промежуточной теплопередающей средой были проведены соответствующие расчеты.

1. В качестве *базового* (первого) используется вариант ПТИ на основе наиболее совершенного аналога – огневого испарителя с жидкой промежуточной теплопередающей средой на основе диэтиленгликоля.

2. В качестве *предлагаемого* (второго) используется вариант ПТИ на базе электрического испарителя с твердотельной промежуточной теплопередающей средой из алюминия.

Экономический эффект от применения *предлагаемого* варианта ПТИ на базе электрического промышленного трубного испарителя с твердотельной промежуточной теплопередающей средой из алюминия достигается путем:

– значительного повышения интенсивности теплообмена от нагревателя к промежуточной теплопередающей среде и, как следствие, за счет уменьшения размеров теплообменного оборудования, металло- и капиталовложений в это оборудование;

– увеличения срока службы нагревателей промежуточной теплопередающей среды, автоматики безопасности и регулирования;

– повышения надежности промышленного трубного испарителя за счет того, что из конструкции испарительной установки исключены газогорелочные устройства, в которых часто происходят задувание пламени горелки и неустойчивая ее работа в ветреную погоду, что требует сооружения отдельного дорогостоящего помещения;

– уменьшения объема и стоимости автоматики безопасности и регулирования.

Величина экономического эффекта от применения варианта ПТИ на базе электрического испарителя с твердотельной ПТС по сравнению с существующим аналогом, согласно [1], определяется

$$Э = З_1 - З_2 = \{\sum_{t=1}^{T} a_t \cdot C_{1t} \cdot Q_{п1.} \cdot \tau / \eta_{1t} + \sum_{f=1}^{F} a_f \cdot (\sum_{p=1}^{P=P_К} К_{р.1} + J(t=0) \cdot \varphi_{1м} \cdot \sum_{p=1}^{P=P_К} К_{р.1})$$

$$+ \sum_{t=1}^{T} a_t \cdot J(t) \cdot \sum_{m=1}^{m=3} \varphi_{1э} (\sum_{p=1}^{P=P_к} К_{р1} + J(t=0) \cdot \varphi_{1м} \cdot \sum_{p=1}^{P=P_К} К_{р1})\} - \{\sum_{t=1}^{T} a_t \cdot C_{2t} \cdot Q_{п2.} \cdot \tau / \eta_{2t} + \sum_{f=1}^{F}$$

$$a_f \cdot (\sum_{p=1}^{P=P_К} К_{р.2} + J(t=0) \cdot \varphi_{2м} \cdot \sum_{p=1}^{P=P_К} К_{р.2}) + \sum_{t=1}^{T} a_t \cdot J(t) \cdot \sum_{m=1}^{m=3} \varphi_{2э} (\sum_{p=1}^{P=P_к} К_{р2} + +J(t=0) \cdot \varphi_{2м}$$

$$\sum_{p=1}^{P=P_К} К_{р2})\}; \quad (1)$$

$$a_t = (1 + E)^{-t}; \; a_f = (1 + E)^{-ft_р}, \quad (2)$$

где t, T – расчетный год эксплуатации и срок службы ПТИ, лет; T принимается равным сроку службы резервуарной установки $T_{сл}$ =25 лет; C_{1t}, C_{2t} – удельная стоимость энергии в пункте отпуска энергоносителя в первом и втором вариантах ПТИ, в момент времени t, руб./МВт·ч; $Q_{п1,}$ $Q_{п1}$ – общее годовое потребление энергоносителя, полезно используемого в первом и втором вариантах ПТИ, МВт; τ – число часов работы ПТИ в течение года, ч; f – количество замен р-го элемента в течение срока службы ПТИ, $f=T/t_р$; $t_р$ – срок службы р-го элемента промышленного трубного испарителя, год; E – норма дисконта, $1/год$; принимается равной 0,12, то есть средней кредитной ставке банка; $К_{р1}$ – капвложения в изготовление р-го элемента первого варианта ПТИ, руб.; $К_{р2}$ – капвложения в изготовление р-го элемента второго варианта ПТИ, руб.; J(t=0) – коэффициент изменения цен, учитывающий увеличение стоимости топливно-энергетических ресурсов при их переводе в мировые цены и характеризующий неопределенность конвертирования цен, для года сооружения ПТИ при t = 0 (2015 г.); J(t) – коэффициент, определяющий изменение цен для текущего года эксплуатации t, учитывающий увеличение стоимости топливно-энергетических ресурсов при их переводе в мировые цены и характеризующий неопределенность конвертирования цен для середины срока эксплуатации ПТИ; $\varphi_{1м}$, $\varphi_{2м}$ – доля отчислений от $К_{р1}$ и $К_{р2}$ на монтаж в первом и втором вариантах ПТИ, 1/год; $\varphi_{1э}$, $\varphi_{2э}$ – доля годовых отчислений от от $К_{р1}$ и $К_{р2}$ на эксплуатацию р-го элемента в первом и втором вариантах ПТИ, 1/год.

Годом сооружения всех сравниваемых промышленных трубных испарителей являлся 2015 год. Срок эксплуатации конкурирующих вариантов, учитывая моральный и физический износ, принят равным T = 25 лет.

Расчетная цена на i -й энергоноситель C_{it} учитывалась во временной динамике согласно: рыночному механизму формирования стоимости [2, 3], определится

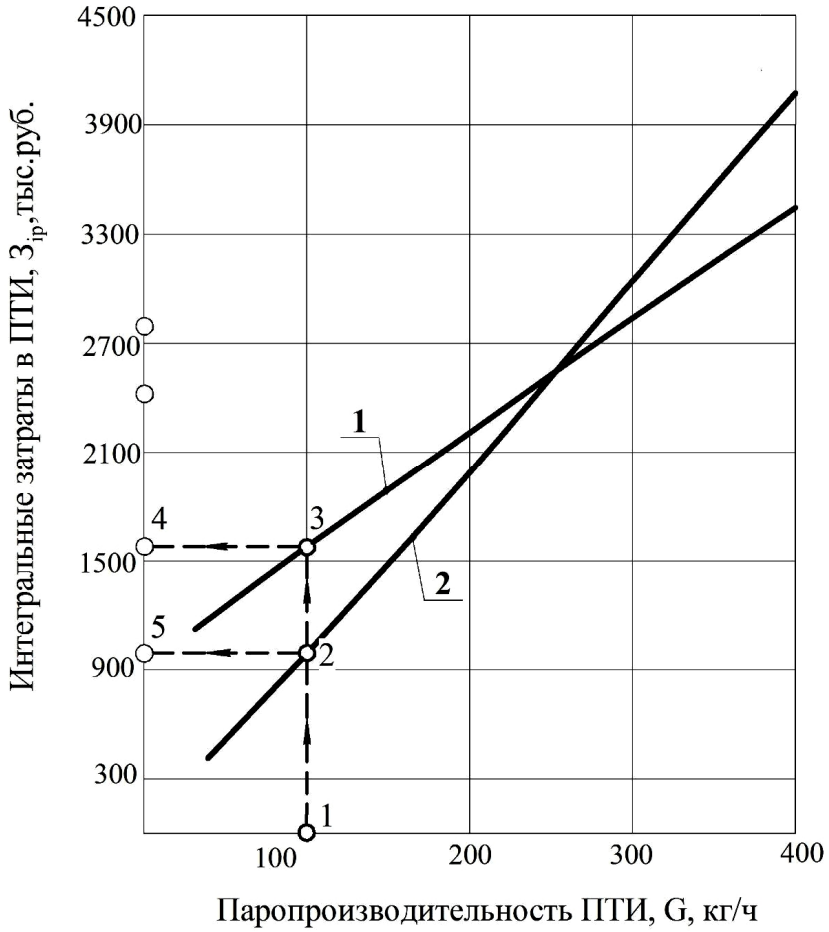
$$C_{itп} = C_{ito} B_1 B_2 \prod_{t}^{T} k_{ct}, \quad (3)$$

где C_{ito} – оптовая цена на энергоносители в пункте отпуска промышленному испарителю из системы энергоснабжения в момент времени t, не учитывая сезонную неравномерность и гарантированность поставок энергоносителей, руб./МВт×ч); B_1, B_2 – коэффициенты, учитывающие соответственно сезонность поставки энергоносителя при неравномерной его поставке в течение года, B_1 =1,25, и надежность поставки энергоносителя путем создания резервов в системе их снабжения; существуют три категории уровня надежности поставки энергоносителя: с высо-

кой (B_2=1,3), средней (B_2=1,15) и низкой (B_2=0,98) степенью надежности; K_{ct} – коэффициент, который учитывает перспективное увеличение стоимости энергоносителей в t-м году эксплуатации промышленного трубного испарителя без учета инфляционной составляющей.

В качестве сравниваемых вариантов были взяты промышленные испарительные установки с паропроизводительностью от 32 до 600 кг/ч.

В целях получения количественных результатов были проведены соответствующие расчеты. Результаты аналитических исследований, проводимых в соответствии с (1) и (2), представлены на графике (рисунок).



Зависимость интегральных затрат в базовый и предлагаемый варианты ПТИ СУГ
1, 2 – прямые затрат в конкурирующие варианты

Расчет экономической эффективности ПТИ, проведенный на основе формулы (1), показал экономию денежных затрат 58,9 млн. рублей в год в расчете на каждые 100 испарителей.

Список литературы

1. Методические рекомендации по оценке эффективности проектов: утв. Мин. экономики России № 477 от 21.06.99. М.: Экономика, 2000. 340 с.

2. Единая система газоснабжения. Проблемы перехода к рынку / под ред. Ю.И. Боксермана, В.А. Смирнова. М.: ИЭН. РАН Энергоцентр, 1993. 224 с.

3. AGA. Tera Demand /Market place Model. DY/YR: 11.20.92. 35 p.

УДК 662.61.001.2

БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИ МОНТАЖЕ ПОДЗЕМНОГО ГАЗОПРОВОДА

П. М. Бакутин*, Д. В. Сапожников*

** Саратовский архитектурно-строительный колледж, Россия, Саратов, gaz-ser.2000@mail.ru*

Предложены технические решения и анализ опасностей, которые могут привести к нежелательным последствиям, нанести ущерб различным ресурсам, выявлен наиболее опасный элемент: при проведении монтажных, погрузочно-разгрузочных, сварочных работ, пневматических и гидравлических испытаний оборудования и трубопроводов необходимо предусматривать мероприятия по предупреждению воздействия на работников следующих опасных и вредных производственных факторов, связанных с характером работы.

Ключевые слова: подземный газопровод, безопасность, элементы технологического процесса, опасности, вредные факторы

SAFETY OF TECHNOLOGICAL PROCESS AT INSTALLATION OF THE UNDERGROUND GAS PIPELINE

P. M. Bakutin*, D. V. Sapozhnikov*

Proposed technical solutions and analysis of hazards that may lead to undesirable consequences, damage the various resources, identify the most dangerous element: Rigging, welding, pneumatic and hydraulic testing equipment and piping necessary to provide measures to prevent exposure of workers to the next dangerous and harmful factors related to the nature of the work.

Keywords: underground pipeline safety, process components, the dangers of harmful factors

При строительстве объектов должны быть приняты меры по предупреждению воздействия на работников опасных и вредных производственных факторов. При их наличии безопасность труда должна обеспечиваться на основе решений, содержащихся в организационно-технологической документации (ПОС, ППР и др.), по составу и содержанию соответствующих требованиям.

До начала строительства объекта генподрядная организация должна выполнять подготовительные работы по организации стройплощадки, необходимые для обеспечения безопасности строительства, включая:

– устройство ограждения территории стройплощадки при строительстве объекта в населенном пункте или на территории организации;

– освобождение строительной площадки для строительства объекта (расчистка территории, снос строений), планировка территории, водоотвод (при необходимости понижение уровня грунтовых вод) и перекладка коммуникаций;

– устройство временных автомобильных дорог, прокладка сетей временного электроснабжения, освещения, водопровода;

– завоз и размещение на территории стройплощадки или за ее пределами инвентарных санитарно-бытовых, производственных и административных зданий и сооружений;

– устройство крановых путей, мест складирования материалов и конструкций.

В случае возникновения на объекте опасных условий, вызывающих реальную угрозу жизни и здоровью работников, генподрядная организация должна

оповестить об этом всех участников строительства и предпринять необходимые меры для вывода людей из опасной зоны.

При проектировании подземного газопровода следует уделять особое внимание безопасности при монтажных и эксплуатационных работах. Система научных знаний, охватывающих теорию и практику защиты от опасных и вредных факторов (опасностей), позволяет обезопасить человека в техносфере.

Производственные факторы подразделяются на опасные, воздействия которых на работающих в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному ухудшению здоровья, и вредные, воздействия которых на работающих приводят к заболеванию или снижению работоспособности.

Рабочее место – пространственная зона, оснащенная необходимыми средствами, в которых трудится человек или группа людей.

Опасные и вредные производственные факторы подразделяются на 3 класса:

Физические – шум, освещенность, параметры микроклимата (температура, влажность, скорость движения воздуха), тепловые излучения.

Химические – по характеру воздействия на организм через: органы дыхания, желудочно-кишечный тракт, кожные покровы и слизистые оболочки.

Биологические – психофизические – физические перегрузки. Статические и диалектические, нервно-психические, умственные напряжения, перенапряжение анализаторов, монотонность труда. Эмоциональные перегрузки.

Опасности, создаваемые элементами технологического процесса, приводим в табл. 1.

Таблица 1

Операции и элементы технологического процесса	Опасности, создаваемые элементами технологического процесса
1. Стадия строительства	
а) Подготовка объекта к монтажу систем (устройство временных зданий и сооружений, ограждение стройплощадки, разбивка трассы, срезка растительного слоя, разработка грунта под газопровод, устройство основания, складирование труб, сварка труб в звенья, устройство электрического оборудования и освещения, временных сооружений и коммуникаций.	Физические – шум (пневмо-, электроинструмент, машины, механизмы), тепловые излучения (люди, машины, механизмы), параметры микроклимата (работа на улице, эксплуатация временных сооружений), опасность поражения электрическим током (электроинструмент, сварочные работы, устройство и эксплуатация временных коммуникаций), травматизм (при погрузоразгрузочных работах, земельных работах, установке оборудования, устройство и эксплуатация временных коммуникаций, использование герметичных систем, находящихся под давлением, при эксплуатации грузоподъемных машин, плохая освещенность, стесненные условия, перепад по высоте более 1,3 м), вибрация (пневмо-, электроинструмент, машины, механизмы), пожарная опасность. Химические: повышенное пылевыделение, вредные воздействия при сварочных работах и эксплуатации техники. Биологические: психофизические – физические перегрузки, нервно-психические и умственные напряжения, перенапряжение анализаторов, монотонность труда, эмоциональные перегрузки.
б) Монтаж газопровода, монтаж ж/б элементов, укладка звеньев труб, сварка неповоротных стыков, работа на кранах, устройство колодцев, монтаж задвижек.	Физические – шум (электроинструмент, машины, механизмы), тепловые излучения (люди, машины, механизмы), параметры микроклимата (работа на улице, эксплуатация временных сооружений), опасность поражения электрическим током (электроинструмент, эксплуатация временных ком-

	муникаций), травматизм (при работе с подъемными механизмами и подаче грузов, работа с перепадом высоты более 1,3 м в стесненных условиях, переноске и установке оборудования, эксплуатация временных коммуникаций), вибрация (пневмо-, электроинструмент, машины, механизмы), пожарная опасность, плохая освещенность), пожарная опасность. Химические: вредные воздействия при сварочных работах и эксплуатации техники; Биологические: психофизические – физические перегрузки, нервно-психические и умственные напряжения, перенапряжение анализаторов, монотонность труда, эмоциональные перегрузки.
в) Испытание газопровода: продувка и гидравлическое испытание трубопровода, устройство гидроизоляции трубопроводов, колодцев, обратная засыпка траншеи газопровода, уплотнение грунта.	Физические – шум (пневмо-, электроинструмент, машины, механизмы, шанцевый инструмент), тепловые излучения (люди, машины, механизмы), параметры микроклимата (работа на улице и не обустроенном помещении, эксплуатация временных сооружений), опасность поражения электрическим током (электроинструмент, сварочные работы, эксплуатация временных коммуникаций), травматизм (при переносе и установке оборудования, эксплуатация временных коммуникаций, использование герметичных систем, находящихся под давлением при эксплуатации грузоподъемных машин, плохая освещенность, изоляция систем), вибрация (пневмо-, электроинструмент, машины, механизмы), пожарная опасность. Химические: вредные воздействия эксплуатации техники, окраска оборудования; Биологические: психофизические – физические перегрузки, нервно-психические и умственные напряжения, перенапряжение анализаторов, монотонность труда, эмоциональные перегрузки.
г) Наладку и регулирование систем; сдачу систем в эксплуатацию	Физические – шум (пневмо-, электроинструмент, машины, механизмы, шанцевый инструмент), тепловые излучения (люди, машины, механизмы), параметры микроклимата (работа на улице и не обустроенном помещении, эксплуатация временных сооружений), опасность поражения электрическим током (эксплуатация временных коммуникаций), травматизм (эксплуатация временных коммуникаций, испытание систем под давлением, плохая освещенность), вибрация (машины, механизмы), пожарная опасность. Биологические: психофизические – физические перегрузки, нервно-психические и умственные напряжения, перенапряжение анализаторов, монотонность труда, эмоциональные перегрузки.
2. Стадия эксплуатации	
Газорегуляторные пункты	Физические: освещенность, параметры микроклимата, травматизм, пожарная опасность. Химические: отравление продуктами сгорания.
Газовые колодцы	Физические: освещенность, параметры микроклимата (повышенная температура, влажность), травматизм, стесненные условия. Химические: загазованность воздуха

Таблица 2 – Декомпозиция технологического процесса

Операции ТП и элементы ТП	Опасности, создаваемые ТП
Монтажные работы	
Строительные работы на открытом воздухе, работа на кранах, экскаваторах и т.д. - работа вблизи перепада по высоте 1,3 м и более; - повышенное напряжение в электрической цепи.	Неудовлетворительный микроклимат на рабочих местах (систематическое перегревание, простудные факторы), поражение электрическим током, травматизм при работе с краном.
Сварочные работы	
- электросварочные и газосварочные работы - сварочная машина МПТ-75 - высокая температура - сварочная аэрозоль	Поражение электрическим током, повреждение глаз, кожных покровов, отравление. Систематическое воздействие лучистой энергии повышенной интенсивности
Устройство колодцев	
- Виброуплотнение бетонной смеси, - работа с применением пневматических и электрических инструментов ударного действия, - работа на кранах.	Вибрация и сотрясения (с параметрами, превышающими установленные нормы), поражение электрическим током, травматизм при работе с кранами.
Изоляционные работы	
- работа вблизи перепада по высоте 1,3 м и более, - пыль, - острые кромки и заусенцы, - пониженная освещенность.	Поражение кожных покровов, падение вышерасположенных материалов, инструмента, высокое напряжение глаз, проникновение пыли в дыхательные пути.
Испытание оборудования и газопроводов	
- высокое давление, - пыль, - шум и вибрация.	Разрушение конструкций, проникновение пыли в дыхательные пути, шумовое и вибрационное воздействие.

Разбиваем весь технологический процесс на следующие элементы: монтажные работы; сварочные работы; окрасочные работы; изоляционные работы; испытание оборудования и трубопроводов; работа с электричеством.

Анализируя табл. 2, выделим опасности, которые могут привести к нежелательным последствиям, т.е. нанести ущерб различным ресурсам.

Наиболее опасными являются следующие элементы:

– проведение монтажных, погрузочно-разгрузочных, сварочных работ, пневматических и гидравлических испытаний оборудования и трубопроводов необходимо предусматривать мероприятия по предупреждению воздействия на работников следующих опасных и вредных производственных факторов, связанных с характером работы:

– разрушающиеся конструкции;

– повышенная загазованность воздуха рабочей зоны;

– повышенное напряжение в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;

– падение незакрепленных грузов, конструкций и инструментов.

Организация строительной площадки должна начинаться с ограждения земельных участков, отведенных под строительство объекта, которые за два месяца до начала строительных работ должны быть обеспечены проектом организации строительства (ПОС) и проектом производства работ (ППР). Без технической документации строительно-монтажные работы запрещаются.

Вопросы по созданию условий безопасности и безвредности производства работ на стройплощадке, по санитарно-гигиеническому обслуживанию работающих, по нормальному освещению площадки, проходов и проездов решаются в ПОС и ППР.

В первую очередь на площадке возводятся санитарно-бытовые помещения, устройство обогрева и регламентированного отдыха, для сушки, обезвреживания, обеспыливания спецодежды, гардеробные, умывальные, душевые, уборные, здравпункты, пункты питания и др., выполненные и оборудованные в соответствии с указаниями СН 276-74. Санитарно-бытовые помещения размещаются в соответствии с нормами на расстоянии не менее 50 м от объектов, выделяющих вредные производственные факторы, с учетом направления ветров, на незатопляемых местах вблизи входов на стройплощадку.

Организация стройплощадки для создания безопасных условий труда и предупреждения травматизма сводится к благоустройству и к инженерной подготовке территории строительства. Предварительно всю территорию площадки ограждают, отводят поверхностные воды, а при необходимости удаляют или понижают грунтовые воды.

Рабочие места, проезды, проходы и складские территории, размещаемые на стройплощадке, в темное время суток освещаются в соответствии с «Указаниями по проектированию электрического освещения строительных площадок» (СН 81-70). Кроме того, на площадке должно быть аварийное и охранное освещение.

На внутриплощадочных полигонах и складских площадках для работающих кранов проводка электролиний должна размещаться в складских каналах с устройством специальных пунктов подключения. Устройство открытых воздушных линий не допускается.

Проезды, проходы и крановые пути на стройплощадке запрещается загромождать стройматериалами, деталями и конструкциями. Их необходимо регулярно очищать от мусора и производственных отходов, а в летнее время поливать водой.

Расположение постоянных и временных дорог, сетей энергоснабжения, общего и аварийного освещения, водоснабжения и других коммуникаций, кранов, механизированных установок, складских площадок, санитарно-бытовых помещений, производственных предприятий и других устройств должно соответствовать строительному генеральному плану.

При возникновении на стройплощадке опасных условий (оползни грунта, осадки оснований под строительными лесами, скопления снега, обрыв проводов электрических сетей и т.п.) люди должны быть немедленно выведены из опасных мест, а эти места ограждены и обозначены сигнальными знаками.

Список литературы

1. Анализ аварий и несчастных случаев на трубопроводном транспорте России: учеб. пособие для вузов / под ред. Б.Е. Прусенко, В.Ф. Мартынюка. М.: Анализ опасностей, 2003. 351 с.

2. Андриянова М.А. Управление риском эксплуатации потенциально опасных объектов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Тула: ТулГУ, 1999.

3. Арсеньев Ю.Н., Бушинский В.И., Фатуев В.А. Принципы техногенной безопасности производств и построения систем управления риском. Тула: ТулГУ, 1994. 111 с.

4. Исследование влияния управления персоналом на безопасность жизнедеятельности человека: монография / Бушинский В.И., Охинько В.А., Смолин С.А., Кузьмина Н.В. Воронеж, 1999. 310 с.

УДК 621.6.036

АВТОНОМНОЕ ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ЕГО РОЛЬ В ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИИ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

С. А. Кондаков*, Л. Б. Шаврина*

** Техникум отраслевых технологий и финансов Саратовского социально-экономического института Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова*

Рассмотрено автономное газоснабжение коттеджей на основе резервуаров-газгольдеров. Описаны преимущества автономного газоснабжения, его основные элементы, простота в монтаже и эксплуатации.

Ключевые слова: автономное газоснабжение, газгольдер, монтаж, преимущества

AUTONOMOUS GAS SUPPLY AND ITS ROLE IN ENERGY SETTLEMENTS

S. A. Kondakov*, L. B. Shavrina*

** College of industry technology and finance Saratov socio-economic Institute of Russian economic university named after G. V. Plekhanov*

This article deals with autonomous gas supply houses on the basis of tanks of gas tanks. The advantages of autonomous gas supply, its main elements, ease of installation and operation.

Keywords: hot gas, gas tank, installation, advantages

Основной и весьма серьезный недостаток размещения дома вдали от благ цивилизации – полное отсутствие привычных коммуникаций. Электроэнергии, газоснабжения, водоснабжения и канализации в экологически чистой провинции нет и в помине. И если два последних вида коммуникаций как-то можно еще организовать за счет колодца и туалета с септиком, то качественная жизнь и отдых без электричества и газа просто невозможны – слишком уж мы привыкли к ним. Тут могут быть два варианта решения задачи – установка ветрогенератора (правда, он не сможет обеспечить уровень комфорта на 100 % или обойдется слишком дорого) или комплекс автономного газоснабжения. В этом нет какой-то сенсации – многие населенные пункты не оборудованы газопроводом по сей день. Единственным вариантом сэкономить при приготовлении пищи на электричестве были и есть баллоны со сжиженным пропаном-бутаном – заключался договор на обслуживание, приобретались 50- или 80-литровые газовые баллоны, и по мере их опустошения специально оборудованный грузовик привозил из газонаполнительной станции полный баллон, взамен забирая пустой.

Если потребность в газе возникает лишь для приготовления пищи, если служба доставки баллонов с газом обслуживает данный район без проблем, то такой «баллонный» способ газоснабжения вполне подходит. Для приготовления пищи в небольшой семье (2-3 человека) содержимого 50-литрового баллона хватит на пару месяцев. В этом варианте газообеспечения нужно иметь в доме два заполненных газом баллона – один присоединенный к газовой плите, второй – запасной (пригодится между сменами первого пустого баллона на полный).

Но как быть, если дом настолько удален от населенных пунктов, что доставка полного баллона с газом обойдется дороже стоимости самого баллона и газа в нем?

Если газ необходим для отопления помещений и для получения электроэнергии? Решением здесь будет более серьезная система автономного газоснабжения – ее емкость для газа не транспортируема, сжиженный газ транспортируется в нее!

Вместительный прочный резервуар (газгольдер) зарывают в землю недалеко от дома. Газгольдер – это емкость для хранения газа. Они бывают различного объема. Газгольдер нужно выбирать в зависимости от площади загородного дома. От горловины к дому протягивают трубопровод, от которого делают отводы в котельную и на кухню и к другим приборам, потребляющим газовое топливо.

Автономное газоснабжение коттеджей на основе газгольдера обладает целым рядом преимуществ, которые сделали автономное газоснабжение дома приоритетным выбором для многих частных домовладельцев Москвы и Санкт-Петербурга. Ведь автономное газоснабжение с успехом решает не только проблему отопления и горячего водоснабжения: система автономного газоснабжения дома способна стать источником питания для аварийного электроснабжения при условии наличия газового генератора. Система автономного газоснабжения коттеджей привлекает быстротой монтажа оборудования, помогает быстрее вводить в объект в эксплуатацию.

Основными элементами автономного газоснабжения являются: резервуар-газгольдер; газопровод, выдерживающий высокое давление; испаритель (доводит давление газа в газопроводе до атмосферного); газопровод низкого давления (по нему парообразный газ поступает к потребляющим его приборам).

Каждый газгольдер оборудуется редукционной головкой или горловиной, входящей в обязательный комплект импортных емкостей, в отечественных зачастую реализуемой отдельно. Редукционная головка предохраняет оснастку контроля и управления газгольдера; клапаны сбросный и предохранительно-запорный, уровнемер и регулятор давления, датчик (сигнализатор) уровня заправки и устройство заземления автогазовоза, редуктор и манометр.

Монтаж системы автономного газоснабжения происходит в следующей последовательности: отрывается котлован под газгольдер, а также траншеи под газопровод глубиной ниже зоны промерзания грунта. В подготовленный котлован укладывается бетонная плита – она послужит основанием для емкости газгольдера и воспрепятствует его смещению при подвижках грунта. На плиту устанавливается газгольдер. По окончании установки газгольдера проводится его освидетельствование на техническую пригодность – до проведения этого испытания закачку сжиженного газа производить нельзя. Монтируются молниеотвод контура заземления, замеряется его сопротивление. При необходимости устанавливается испарительная установка. В нижней точке газопровода устанавливается сборник конденсата – в него будут поступать неиспарившиеся фракции пропана-бутана, прогреваться за счет естественного тепла грунта и вновь поступать в газопровод. Выполняется укладка газопровода до точки ввода в дом – гибкая полиэтиленовая труба проектного диаметра длиной 10-15 м. Перед укладкой на дно траншеи засыпается песок. Выполняется ввод газопровода – от цокольного узла до точек потребления газа в здании, устанавливаются контроллеры загазованности, срабатывающие автоматически. Очередь теста системы автономного газопровода на качество монтажных работ – компрессором закачивается воздух под давлением 5 кгс/см^2. Спустя сутки и по результатам испытательных работ емкость газгольдера и газопровод засыпаются песком (песок – отличный проводник тепла), поверх

слоем в 100 мм до уровня земли засыпается грунт. Закачанный воздух удаляется путем прокачки системы азотом.

Монтаж завершен. При первой закачке СУГ присутствие представителя монтажной организации обязательно!

Достоинства системы автономного газоснабжения:

Автономность. Независимость от падений давления газа в трубе, как у систем магистрального газоснабжения.

Экономичность. За год экономия от использования сжиженного газа по сравнению с соляркой составляет около 40-60 руб. на 1 $м^2$ площади дома.

Экологичность газового отопления. Нет золы и проблем с ее удалением (как в случае с углем), нет сажи и запаха окислов серы (как от дизельного топлива).

Долговечность. Правильно смонтированная система автономного газоснабжения весьма надежна и имеет срок службы 20-30 лет. А ее возгорание или взрыв могут возникнуть только в результате злонамеренных действий.

Список литературы

1. http://gt7.ru/catalog-stat/rezervuary_dlya_avtonomnoy_gazifikatsii
2. http://gazovik-gaz.ru
3. http://fas.su
4. Ионин А. А. Газоснабжение: учеб. / под ред. А. А. Широковой. 4-е изд., перераб. и доп. Репринтное воспроизведение издания 1989 г. М.: ЭКОЛИТ, 2011. 440 с.

УДК 697.34:621.6:338.5

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПГ В ЛОКАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

М. С. Доронин*, В. Д. Доронина*, Илмарс Боде**

** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов*

*** Акционерное общество «Латвияс Газе», Латвия, Рига*

Дан краткий анализ проблем локальных систем теплоснабжения России. Рассмотрены вопросы газификации, использования СПГ взамен твердого и жидкого топлива для производства тепловой энергии. Показана возможность снижения себестоимости производства тепловой энергии после реконструкции систем теплоснабжения с заменой твердого и жидкого топлива на СПГ.

Ключевые слова: теплоснабжение, реконструкция, сжиженный природный газ, себестоимость, эффективность

EFFECTIVE USE OF LNG IN LOCAL HEAT SUPPLY SYSTEMS

M. S. Doronin*, V. D. Doronina*, Ilmars Bode**

** Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov*

*** Akciju Sabiedriba «Latvijas Gāze», Rīga, Latvija*

A brief analysis of the problems of local heat supply system of Russia. Considered the issues of gas supply, the use of LNG instead of solid and liquid fuels for heat production. The possibility of reducing the cost of production of thermal energy after the reconstruction of heat supply systems with the replacement of solid and liquid fuel to LNG.

Keywords: heating, reconstruction, liquefied natural gas, the cost, efficiency

В настоящее время уровень газификации России природным газом превышает 64 % и продолжает расти. Однако низкая плотность населения во многих регионах страны не позволяет осуществлять коммерчески эффективную газификацию сетевым газом из-за высокой стоимости прокладки газопроводов. Во многих случаях решение проблемы лежит в использовании для газификации сжиженного природного газа (СПГ). Расчеты показывают, что инвестиции в создание предприятий по сжижению газа, систем транспортировка СПГ и установок по хранению и регазификации значительно ниже, чем затраты в сооружение газораспределительной сети. Очевидно, что для конечного потребителя тариф на СПГ будет выше тарифа на сетевой газ, однако выгоды от использования природного газа в сфере теплоснабжения взамен твердого и жидкого топлива существенны. Это связано с тем, что локальным, особенно маломощным системам теплоснабжения присущи следующие проблемы:

– значительная физическая и моральная изношенность основного оборудования котельных и тепловых сетей;

– низкая энергетическая эффективность производства и транспорта тепловой энергии;

– неэффективная и в ряде случаев неоправданная централизация систем теплоснабжения;

– существенная величина топливной составляющей в затратах на производство тепловой энергии, в том числе из-за низких КПД и высокой стоимости топлива;

– значительная составляющая затрат на оплату труда в себестоимости тепловой энергии из-за высокой трудоемкости обслуживания большого количества мелких котельных, работающих на низкосортном топливе;

– высокая стоимость тепловой энергии, отпускаемой потребителям от котельных.

Перечисленные проблемы превалируют среди прочих и в целом обусловливают высокий уровень затрат на производство тепловой энергии и, как следствие, размер тарифов на неё.

В составе оборудования котельных велика доля котлов устаревших конструкций типа «Универсал», «Энергия», КВЖ, ДКВР, КЕ и т.д., значительное количество которых сооружены 45-60 лет назад. КПД котлов при использовании в качестве топлива угля по оптимистической оценке не превышает 60 %, а с учетом низкого качества используемого твердого топлива он фактически не достигает и 40 %.

В угольных и мазутных котельных до 10 % вырабатываемого тепла вынужденно расходуется на собственные нужды, так как поддержание мазутного хозяйства котельных в работоспособном состоянии требует разогрева системы топливоснабжения до 100 °С и более.

Изношенность и ветхость тепловых сетей обусловливают высокие потери тепловой энергии при транспорте теплоносителя. По отдельным объектам теплоснабжения нормативные потери тепла превышают 50 %, а фактические – более 2/3 от выработки тепловой энергии.

Подобные данные свидетельствуют о крайне низкой энергетической эффективности централизованных систем теплоснабжения с использованием твердого и жидкого топлива.

Анализ себестоимости производства тепловой энергии в котельных показывает, что при использовании угля велика доля затрат на оплату труда и отчислений на

социальные нужды, а топливная составляющая не достигает 40 %. В структуре же себестоимости мазутных котельных превалируют затраты на топливо (до 90%), а затраты на оплату труда и отчисления на социальные нужды не превышают 5%.

Указанные различия в структуре себестоимости при работе котельных на разных видах топлива – результат влияния двух определяющих факторов:

– стоимость угля существенно ниже, чем мазута;

– численность персонала угольной котельной, как правило, в 2,0-2,5 раза больше, чем мазутной.

Перевод котельных с угля и мазута на природный газ, как правило, сопровождается ощутимым удешевлением производства тепловой энергии в результате уменьшения топливной и зарплатной составляющих. При этом одним из путей снижения затрат на эксплуатацию систем теплоснабжения является экономически обоснованный переход от централизованной к децентрализованной схеме теплоснабжения на базе использования природного газа. Такой переход позволит повысить надежность обеспечения теплом, уменьшить расход топлива на компенсацию потерь при транспорте и в итоге снизить тарифы на тепловую энергию.

Определение целесообразности реконструкции систем теплоснабжения с переходом от централизованных к децентрализованным (или индивидуальным) и обоснование рациональной степени централизации должны базироваться на всестороннем анализе и учете влияния множества взаимосвязанных факторов.

Технико-экономическая эффективность применения перехода на СПГ при одновременной децентрализации теплоснабжения проиллюстрирована на примере одной из систем теплоснабжения, для которой в таблице представлены относительные показатели производственно-финансовой деятельности по двум вариантам:

– при существующем положении, когда в котельных в качестве топлива используются твердое и жидкое, а для распределения выработанной тепловой энергии применяются, как правило, централизованные схемы теплоснабжения;

– при перспективном развитии с переходом на СПГ и частичной децентрализацией теплоснабжения.

Относительное изменение показателей производственно-финансовой деятельности системы теплоснабжения при реконструкции с переходом на использование СПГ и децентрализации

Наименование показателя	Отношение показателя после реконструкции к показателю до реконструкции, %
Установленная тепловая мощность котельных	53,7
Полезный отпуск тепла потребителям	100,0
Выработка тепловой энергии	78,0
Расход тепла на собственные нужды	5,0
Потери тепловой энергии при транспорте	25,0
Расход топлива (в условном исчислении)	61,7
Затраты на топливо	50,6
Затраты на оплату труда и отчисления на социальные нужды	25,0
Энергия на технологические нужды	25,0
Прочие затраты в себестоимости	50,0
Итого себестоимость	**43,0**

В расчетах приняты следующие исходные данные:

– КПД теплогенераторов при работе на СПГ – 93 %;

– расход тепловой энергии на собственные нужды котельных при использовании СПГ – 0,5 %;

– снижение потерь тепловой энергии на транспорт при частичной децентрализации – в четыре раза;

– снижение расхода электроэнергии на технологические нужды – в четыре раза;

– снижение численности эксплуатационного персонала при использовании автоматизированных газовых котельных – в четыре раза.

Из таблицы видно, что при принятых в расчетах исходных данных себестоимость производства тепловой энергии в реконструированных системах теплоснабжения может составить до 43% от исходной величины.

Возможное удорожание природного газа, несомненно, в будущем может снизить эффективность использования СПГ в сфере теплоснабжения, но в целом она останется положительной, если будут существенно уменьшены потери тепловой энергии при транспорте теплоносителя.

Газификация с использованием СПГ открывает потенциальные возможности для применения в локальных системах теплоснабжения когенерационных установок, прежде всего, на базе высокоэффективных газотурбинных и газопоршневых двигателей, в том числе на базе котельных. Создание на базе котельных мини-ТЭЦ позволит увеличить эффективность использования достаточно дорогого природного газа, а также будет способствовать повышению надежности электроснабжения потребителей.

УДК 621.644.8

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ПОТОКА ОТКАЗОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

В. Ю. Демчук*, М. С. Доронин*, Илмарс Боде**

** ОАО «Гипрониигаз», Россия, Саратов*

*** Акционерное общество «Латвияс Газе», Латвия, Рига*

В качестве критерия оценки технического состояния газопровода предлагается соотношение величин риска отказов, изменяющихся на протяжении жизненного цикла газопровода. Риск возникновения отказов оценивается путем прогнозирования потока отказов с использованием величины балльной оценки технического состояния газопровода, комплексно учитывающей различные сочетания (комбинации) влияющих факторов.

Ключевые слова: сети газораспределения, техническое состояние, критерий оценки, риски отказов, параметр потока отказов, прогнозирование

INNOVATIVE APPROACHES TO PREDICTING FAILURE FLOW OF GAS DISTRIBUTION PIPELINES

V. Y. Demchuk*, M. S. Doronin*, Ilmars Bode**

** Giproniigaz PLC, Russia, Saratov*

*** Akciju Sabiedriba «Latvijas Gāze», Rīga, Latvija*

As a criterion for assessing the technical condition of the pipeline proposed to risk failure ratio values, which vary over the life cycle of the pipeline. The risk of failure is estimated by predicting the flow of failures using the value of scoring a technical condition of the pipeline, which takes into account various combinations of complex (combination) of influencing factors.

Keywords: network timing, technical condition, the evaluation criteria, the risks of failure, failure flow parameter, prediction

1. В настоящее время поддержание необходимого уровня безопасности сетей газораспределения достигается сочетанием двух основных методов эксплуатации:

– метода периодического технического обслуживания с проведением превентивных мероприятий независимо от технического состояния;

– метода эксплуатации «по техническому состоянию», по результатам мониторинга которого определяются объём и периодичность работ.

Начата практическая реализация перехода от теории абсолютной надёжности системы газораспределения к управлению рисками её функционирования с выполнением расчётов рисков и определением их приемлемости по результатам оценки технического состояния газопроводов.

2. В ОАО «Гипрониигаз» по результатам проведённых исследований предложено в качестве одного из показателей, объективно характеризующих текущее техническое состояние как конкретного газопровода, так и совокупности газопроводов, входящих в сети газораспределения, использовать осреднённый параметр потока отказов ω.

3. К основным отказам, приводящим к нарушению работоспособного состояния газопроводов и обусловленным техническим состоянием последних, целесообразно относить отказы, указанные в таблице. Возможен дополнительный учёт других видов характерных отказов.

Основные отказы, обусловленные техническим состоянием распределительных газопроводов

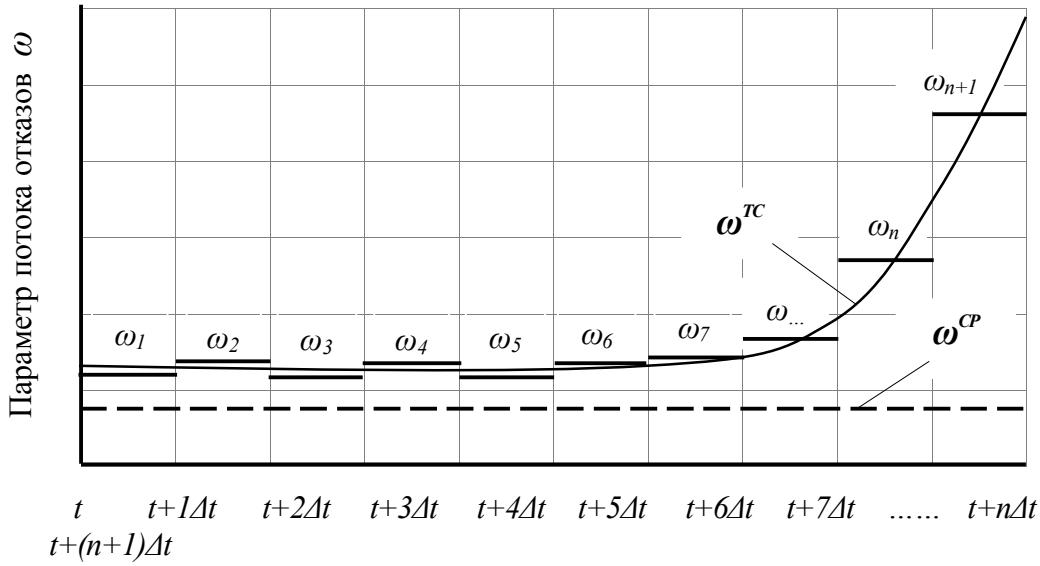
Газопроводы	Признаки нарушения работоспособного состояния газопровода	Обозначение параметра потока отказов
Стальные подземные газопроводы	Сквозные коррозионные повреждения (СКП) металла трубы газопровода	$\omega_{СКП}^{ТС}$
	Повреждения изоляционного покрытия (ПИП) газопровода	$\omega_{ПИП}^{ТС}$
Полиэтиленовые газопроводы	Сквозные повреждения (СП) труб (кроме механических повреждений труб при проведении земляных работ в охранной зоне газопровода)	$\omega_{СП}^{ТС}$
	Дефекты сварных соединений (ДСС) газопровода	$\omega_{ДСС}^{ТС}$
Надземные стальные газопроводы	Коррозионные повреждения газопровода (КПГ) – на поверхности трубы, на участках опирания на опоры, в местах входа и выхода из земли	$\omega_{КПГ}^{ТС}$
	Повреждения газопровода и опор (ПГО) – вибрации, сплющивания, смещения газопровода относительно проектного положения по вертикали и/или горизонтали; просадка, изгиб и повреждения опор	$\omega_{ПГО}^{ТС}$

4. Среднестатистические значения параметра потока отказов ω^{CP}, рассчитываемые ежегодно для использования в отчётных материалах в масштабах России, ОАО «Газпром газораспределение» или отдельной газораспределительной организации (ГРО), формируются на основе сбора и систематизации большого объёма данных об обнаруженных отказах и характеризуют в целом уровень технического состояния сетей газораспределения.

5. Отличие параметра потока отказов ω^{TC}, возникающих на конкретном газопроводе, от среднестатистического параметра потока отказов на сетях газораспределения ω^{CP} обусловлено:

– во-первых, фактическим техническим состоянием конкретного газопровода, условиями его эксплуатации, влияющими факторами, выявленными на данном газопроводе дефектами и повреждениями;

– во-вторых, изменением ω^{TC} на протяжении жизненного цикла газопровода (см. рисунок).



ω^{CP} – среднестатистическое значение параметра потока отказов, возникших на газопроводах сетей газораспределения;

ω^{TC} – параметр потока отказов, обусловленных фактическим техническим состоянием конкретного газопровода;

$\omega_{1...}\ \omega_n$ – осреднённые параметры потока отказов газопровода в интервалах между очередными плановыми оценками его технического состояния;

t – срок первого после ввода в эксплуатацию планового проведения оценки технического состояния газопровода;

Δt – периодичность последующих плановых проведений оценки технического состояния газопровода

Динамика изменения параметра потока отказов ω
на протяжении жизненного цикла газопровода

6. На рисунке отражены качественные соотношения параметров потоков отказов на протяжении жизненного цикла газопровода.

Среднестатистическое значение параметра потока отказов ω^{CP}, характерное, например, для отдельной ГРО, на протяжении многих лет может не претерпевать

заметных изменений (пунктирная линия на рисунке). Постоянство значений параметра потока отказов ω_i при эксплуатации конкретного газопровода свидетельствует о сохранении его работоспособного состояния.

Возникновение частично неработоспособного состояния газопровода сопровождается ростом значений параметра потока отказов ω_i.

Значительный рост ω_i по сравнению с предыдущими годами эксплуатации отражает переход газопровода в предельное состояние.

7. Предлагаемая процедура проведения оценки технического состояния газопровода предусматривает поэтапное продление эксплуатации с учётом риска возникновения отказов, обусловленных техническим состоянием газопровода. С этой целью прогнозные значения параметров потоков *i*-х отказов ω_i^{TC}, *отказ/(км·год),* в интервалах между плановыми оценками технического состояния газопровода предлагается определять по формуле

$$\omega_i^{TC} = \omega_i^{CP} \cdot \frac{B_{ГП}^{CB}}{B^{CP}},$$

где ω_i^{CP} – среднестатистическое значение параметра потока *i*-х отказов, обнаруженных на сетях газораспределения, *отказ/(км·год);*

$B_{ГП}^{CB}$ – величина балльной оценки технического состояния газопровода с учётом различных сочетаний (комбинаций) влияющих факторов;

B^{CP} – средняя балльная оценка технического состояния газопроводов сетей газораспределения.

8. Подобный подход к прогнозированию значений параметров потоков отказов ω_i^{TC} используется для определения критерия оценки технического состояния газопровода, в качестве которого принято соотношение величин риска отказов, рассчитанных для двух вариантов эксплуатации газопровода:

– с продолжением эксплуатации на срок до очередной оценки технического состояния газопровода и проведением при этом технического обслуживания и текущих ремонтов;

– с возобновлением эксплуатации после проведения капитального ремонта (или реконструкции) газопровода (или его участка).

9. Апробация предлагаемых методических подходов, проведённая на конкретных газопроводах в большом числе газораспределительных организаций России, наглядно продемонстрировала перспективность оценки технического состояния распределительного газопровода на основе учёта динамики изменения параметра потока отказов, систематически отслеживаемой на протяжении жизненного цикла газопровода.

УДК 536.6

МЕТОД РЕШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТНОЙ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕПЛОФИЗИКЕ

Н. В. Пилипенко*, Д. А. Гладских*

** Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, pilipenko38@mail.ru, gladskih@gmail.com*

Рассмотрен метод определения теплового сопротивления ограждающих конструкций зданий и сооружений с помощью параметрической идентификации с применение фильтра Калмана. Особенностью метода является низкая погрешность определения теплового сопротивления в нестационарном режиме при наличии неопределенности в начальных и граничных условиях.

Ключевые слова: тепловой поток, параметрическая идентификация, температура, дифференциально-разностная модель, ограждающие конструкции

A METHOD FOR SOLVING OF THE INVERSE HEAT CONDUCTION PROBLEM IN BUILDING THERMAL PHYSICS

N. V. Pilipenko*, D. A. Gladskikh*

** Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Russia, St. Petersburg*
pilipenko38@mail.ru,gladskih@gmail.com

The paper considers a method of determining the thermal resistance of building envelopes and structures using parametric identification with the use of the Kalman filter. Low error in the determination of the thermal resistance in the transient regime with an uncertainty in the initial and boundary conditions is the feature of the method.

Keywords: heat flow, parametric identification, temperature, differential-difference model, building envelope

Сопротивление теплопередаче элементов ограждающих конструкций (ОК) зданий определяет их эксплуатационные характеристики – внутренний микроклимат, тепловые потери, влажностный режим ограждения. Для определения данного параметра в натурных условиях возможно использовать стационарный либо нестационарный подход. Нестационарный подход не требует соблюдения строгих условий в ходе проведения испытаний (наличия периода длительностью от 1 суток с отклонением средней температуры наружного воздуха не более 1,5 °С), что значительно упрощает проведение энергетического обследования, снижает его время и стоимость. В качестве примера использования нестационарного метода предлагается метод решения коэффициентной обратной задачи теплопроводности (ОЗТ). Основные сложности решения ОЗТ в строительной теплофизике – отсутствие данных о начальных условиях (распределении температуры по толщине ОК в момент начала измерений) и высокая погрешность определения граничных условий.

Граничные условия на наружной поверхности стенки либо определяются путем измерения теплового потока с помощью приемника теплового потока, либо рассчитываются на основании уравнения $q = \alpha \times \Delta T$, где q – удельный тепловой поток, $\frac{Вт}{м^2}$; α – коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности, ΔT – перепад температур между наружной поверхностью ОК и окружающим воздухом. При измерении теплового потока на внешней поверхности ОК следует учитывать, что

его величина будет составлять в лучшем случае несколько десятков ватт на квадратный метр, и существующие приборы для проведения измерений имеют низкую точность при таких значениях. Расчет коэффициента теплоотдачи на внешней поверхности ОК тоже может быть выполнен лишь приблизительно, т.к. он зависит от очень многих факторов (облачность, скорость ветра, температура окружающей среды, высота над землей, взаимное расположение зданий и т.д.).

Определение начальных условий также может быть выполнено с большой погрешностью из-за невозможности измерения температуры внутри ОК.

Проблема определения граничных условий может быть преодолена с помощью решения комбинированной обратной задачи теплопроводности (ОЗТ), в которой одновременно решаются граничные и коэффициентные ОЗТ. Влияние погрешности определения начальных условий может быть существенно снижено при выборе правильной методики решения таких ОЗТ. В данной работе описано решение с помощью параметрической идентификации дифференциально-разностной модели (ДРМ) теплопереноса с использованием фильтра Калмана [1, 2].

В зависимости от постановки задачи ОК может быть представлена разными моделями. В данной работе рассматриваются модели плоской стенки и полуограниченного тела, которые представлены на рис. 1 и 2.

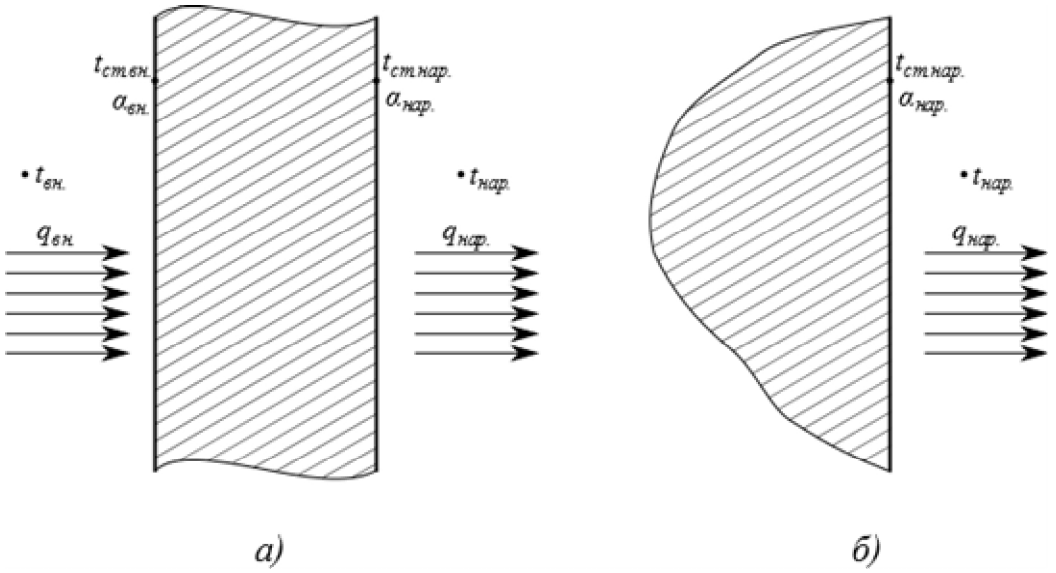
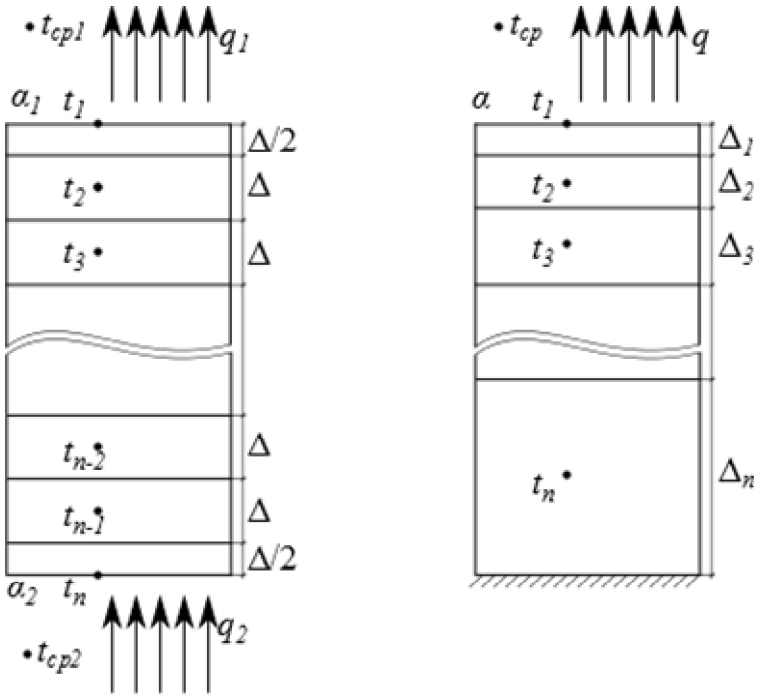


Рис. 1. Принципиальная схема а) плоской стенки, б) полупространства

В векторно-матричном виде ДРМ имеет вид $\frac{d}{d\tau}\vec{T}(\tau) = \mathbf{F}\vec{T}(\tau) + \mathbf{G}\vec{U}(\tau)$, где $\vec{T}$ и $\vec{U}$ – векторы состояния и управления; **F** и **G** – матрицы обратных связей и управления. Информация об измеряемых температурах, их погрешностях отражаются в уравнении $\vec{Y}(\tau) = \mathbf{H}\vec{T}(\tau) + \vec{\varepsilon}(\tau)$, где $\vec{Y}(\tau)$ – $(m \times 1)$ – вектор измерений, $\vec{\varepsilon}(\tau)$ – $(m \times 1)$ – вектор случайных погрешностей. Подробное описание составления ДРМ приведено в [1, 2], ограничимся описанием входящих в уравнения ДРМ матриц и векторов.



а б

Рис. 2. Тепловая схема а) плоской стенки, б) полупространства

Ниже приведены составляющие ДРМ для плоской однородной стенки при измерении тепловых потоков на внутренней и внешней поверхностях ОК и температуры внешней поверхности ОК.

$$\mathbf{F}=\begin{vmatrix} \frac{-2a}{\Delta^2} & \frac{2a}{\Delta^2} & 0 & & & & \cdots \\ & & \cdots & & & & \\ \cdots & 0 & \frac{a}{\Delta^2} & \frac{-2a}{\Delta^2} & \frac{a}{\Delta^2} & 0 & \cdots \\ & & & \cdots & & & \\ \cdots & & & & 0 & \frac{2a}{\Delta^2} & \frac{-2a}{\Delta^2} \end{vmatrix};\ G=\begin{vmatrix} \frac{1}{c\rho\Delta} & 0 \\ 0 & 0 \\ \vdots & \vdots \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{c\rho\Delta} \end{vmatrix};\ H=\begin{vmatrix} 1 & 0 & \cdots \end{vmatrix};\ U=\begin{vmatrix} q_1(\tau) \\ q_2(\tau) \end{vmatrix};$$

$$\vec{Y}(\tau)=T_1(\tau),$$

где a – коэффициент температуропроводности, c – удельная теплоемкость, ρ – плотность материала ОК, Δ – толщина элемента разбиения в ДРМ.

ОЗТ решается методом параметрической идентификации на основе алгоритма оптимального цифрового фильтра Калмана [3, 4]. Задача одновременного восстановления ГУ и теплофизических характеристик ОК сводится к последовательному получению оптимальных оценок $\hat{Q}_{z,l}$ вектора искомых параметров $Q_z=\begin{vmatrix} Q_{q,z} & Q_{\lambda,z} \end{vmatrix}^T$. На рис. 3 и 4 показано восстановление коэффициента теплопроводности при одновременном уточнении граничных условий (теплового потока) на внешней поверхности ОК по результатам математического моделирования. В связи с особенностями задачи результатом уточнения теплового потока является его среднее значение на интервале аппроксимации.

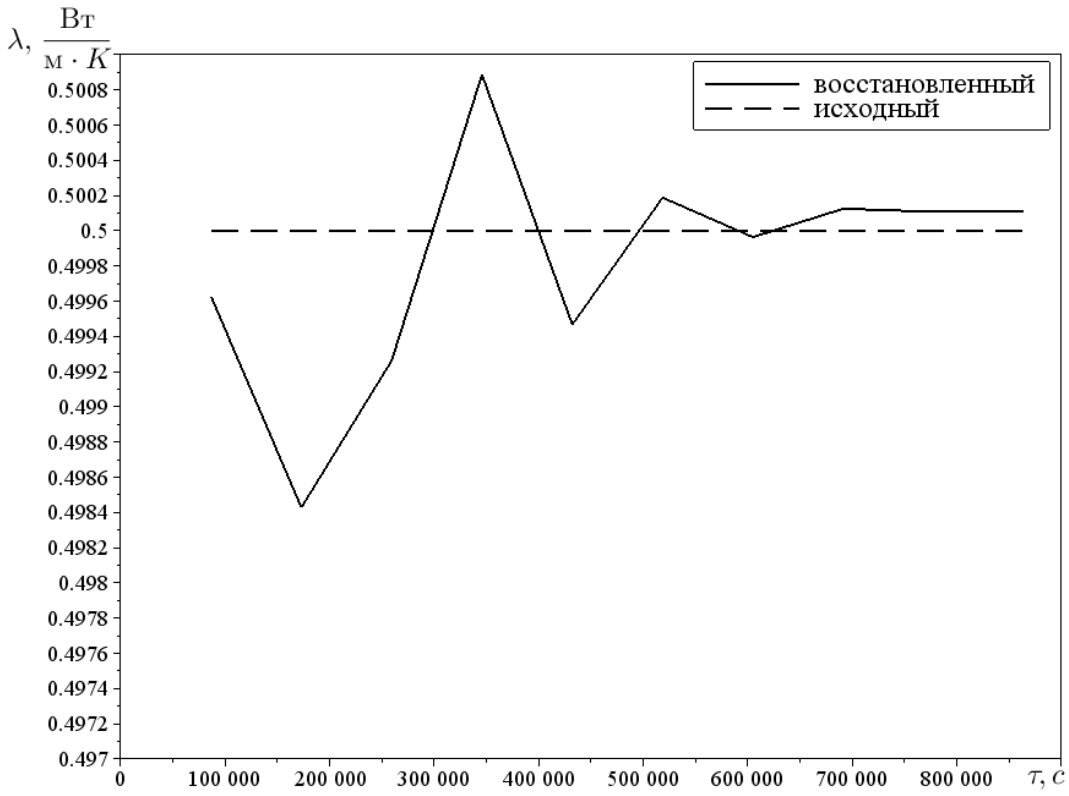


Рис. 3. Восстановление коэффициента теплопроводности ОК

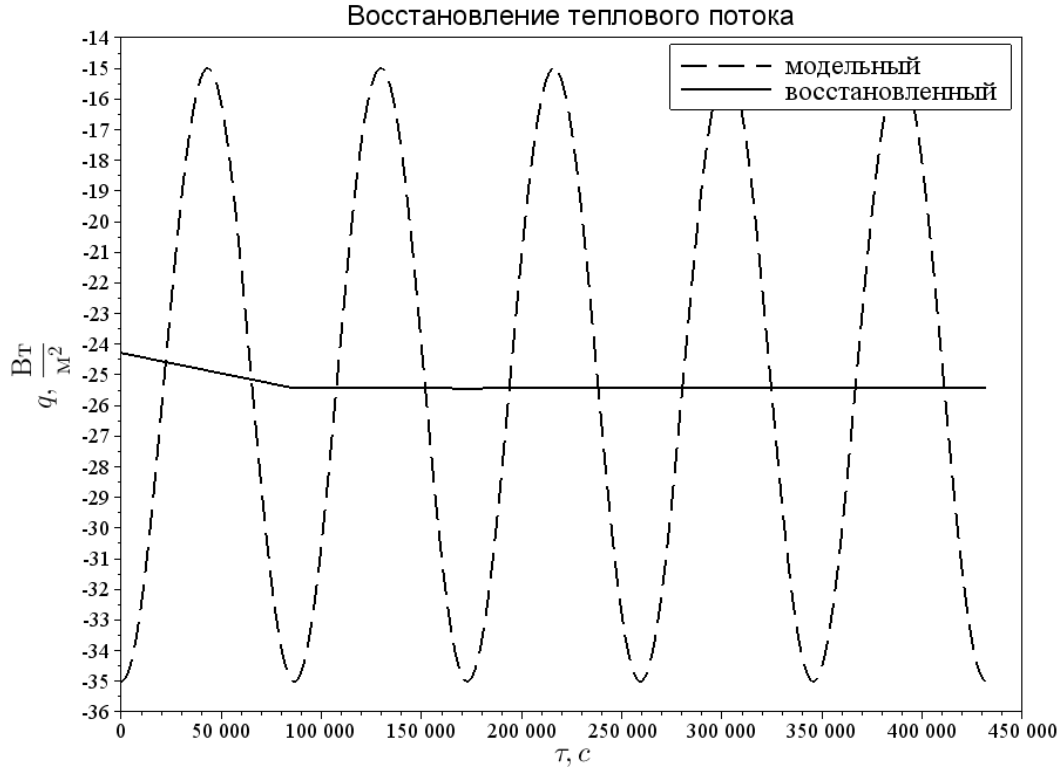


Рис. 4. Уточнение теплового потока на внешней поверхности ОК

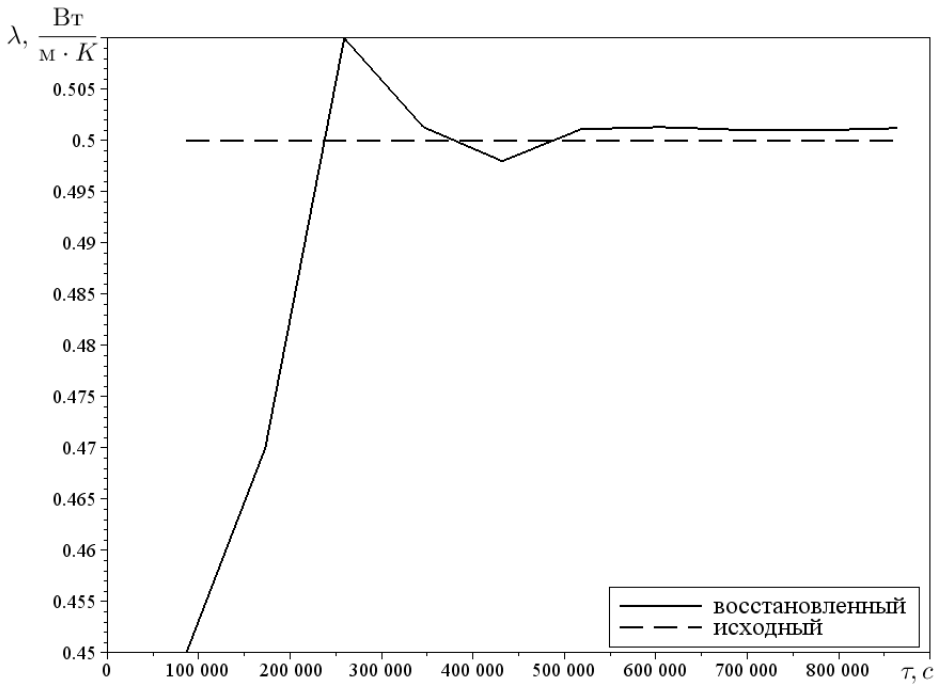


Рис. 5. Влияние ошибки определения НУ на восстановление коэффициента теплопроводности ОК

Как было отмечено выше, информация о начальном распределении температуры по толщине ОК в ходе проведения неразрушающего обследования отсутствует, поэтому при расчетах можно сделать лишь оценку этого распределения по данным температур наружной и внутренней поверхностей. При использовании указанного метода в ходе расчетов влияние ошибки определения начальных условий нивелируется тем сильнее, чем дольше проходит эксперимент. На рис. 5 показан пример влияния ошибки определения начальных условий на точность восстановления коэффициента теплопроводности. Для моделирования такого влияния был рассмотрен установившийся гармонический процесс (см. рис. 4), однако начальное распределение температуры в ходе решения ОЗТ было заменено на линейное. Как видно, существенная ошибка расчета коэффициента теплопроводности сохраняется только первые трое суток.

Таким образом, рассмотрен перспективный нестационарный метод уточнения граничных условий и теплофизических характеристик ОК. Для решения поставленной задачи использовался метод параметрической идентификации на основе алгоритма оптимального цифрового фильтра Калмана. Приведены результаты математического моделирования через ОК, рассмотрено влияние определения начальных условий на результат решения ОЗТ.

Список литературы

1. Пилипенко Н.В. Методы параметрической идентификации в нестационарной теплометрии. Ч. 1 // Известия вузов. Приборостроение. 2003. № 8. Т. 46. С. 50-54.

2. Пилипенко Н.В. Сенсоры нестационарной теплометрии и их математические модели // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2011. № 5. С. 53-56.

3. Пилипенко Н.В., Сиваков И.А. Метод определения теплового потока и теплопроводности путём параметрической идентификации // Измерительная техника. 2011. № 3. С. 48-51.

4. Пилипенко Н.В., Гладских Д.А. Нестационарная теплометрия зданий и сооружений // Изв. вузов. Приборостроение. 2011 Т. 54. № 12. С. 74-77.

Научное издание

РЕСУРСОЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ

Сборник научных трудов
по материалам III Международной научно-практической конференции

Том 1

Редактор Л.А. Скворцова

Компьютерная верстка Т.В. Семеновой

Подписано в печать 30.09.15 Формат 60×84 1/16
Бум. офсет. Усл. печ. л. 21,0 Уч.-изд. л. 19,5
Тираж 100 экз. Заказ 171 С 64
Саратовский государственный технический университет
410054, Саратов, Политехническая ул., 77
Отпечатано в Издательстве СГТУ. 410054, Саратов, Политехническая ул., 77
Тел.: 24-95-70; 99-87-39, e-mail: izdat@sstu.ru